

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



Materials Science & Technology

Jura-Cement-Fabriken AG
TCC Technical Competence Center
Talstrasse 13
5103 Wildegg

Prüfbericht Nr. 5214'010'311/3

Prüfauftrag:	Mauerwerksprüfungen
Auftraggeber:	Jura-Cement-Fabriken AG, TCC, 5103 Wildegg
Prüfobjekt:	Backsteinmauerwerk mit Mauermörtel JURA KUBO (M15) der Transportbeton AG Luzern, Kantonsstrasse 143, 6048 Horw
Kundenreferenz:	Frau Judith Kohler
Ihr Auftrag vom:	17.8.2015
Eingang des Prüfobjektes:	19.8.2015 (Backsteine), 8.9.2015 (Mörtel)
Ausführung der Prüfung:	6.10.2015
Anzahl Seiten:	10
Beilagen:	1

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dübendorf, 2. November 2015

Prüfleiter:
Dr. Christoph Czaderski

Abteilungsleiter:
Prof. Dr. Masoud Motavalli



Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der
blosse Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichens bedürfen der Genehmigung der Empa (vgl. Merkblatt). Bericht und
Unterlagen werden 10 Jahre aufbewahrt. Angaben zur Messunsicherheit können beim Labor angefordert werden.

Einleitung

Im Auftrag der Jura-Cement-Fabriken AG, Technical Competence Center (TCC), in Wildegg, ermittelte die Abteilung Ingenieur-Strukturen der Empa die Druckfestigkeit von Mauerwerkskleinkörpern aus Backstein nach SN EN 1052-1:1998 „Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit“. Die Abteilung Beton/Bauchemie der Empa ermittelte ausserdem die Steindruckfestigkeit.

Die Mauerwerkskleinkörper wurden von einem Mitarbeiter der Empa an der Empa aufgemauert. Die Backsteine und der Mauermörtel wurde vom Auftraggeber geliefert. Gemäss Angaben des Auftraggebers wurde der Mauermörtel mit der Bezeichnung JURA KUBO (M15) von der

Transportbeton AG Luzern, Kantonsstrasse 143, 6048 Horw

hergestellt.

Herstellung der Mauerwerkskleinkörper

Es wurden drei Prüfserien à je drei Mauerwerkskleinkörper mit drei verschiedenen Mörteln hergestellt und geprüft. In diesem Prüfbericht wird die dritte Prüfserie (3.1 bis 3.3) mit dem Mörtel JURA KUBO (M15) der Firma Transportbeton AG Luzern, 6048 Horw, beschrieben. Die drei Mauerwerkskleinkörper wurden am 8. September 2015 von einem Mitarbeiter der Empa in der Prüfhalle der Empa aufgemauert. Ein Foto des Aufmauerns der ersten Prüfserie ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Mauerwerkskleinkörper bestanden jeweils aus zwei Steinen in Längsrichtung und aus fünf Lagen, siehe Abbildung 2.

Als Unterlage für die Mauerwerkskleinkörper dienten Stahlplatten. Die Mauerwerkskleinkörper wurden nach dem Aufmauern einige Tage oberflächlich leicht mit Wasser besprüht. An der Oberseite der Mauerwerkskleinkörper wurde eine Mörtelschicht aufgebracht.

Die Mauerwerkskleinkörper wurden bis zur Prüfung in der Prüfhalle der Empa gelagert.



Abbildung 1: Aufmauern eines Mauerwerkskleinkörpers der ersten Prüfserie.



Abbildung 2: Mauerwerkskleinkörper während der Lagerung (drei Prüfserien à drei Mauerwerkskleinkörper).

Versuchsdurchführung

Für die Druckversuche wurden die Mauerwerkskleinkörper zusammen mit den Stahlplatten in die Prüfmaschine gestellt (Abbildung 3). Es wurde die 5'000 kN Druck-Prüfmaschine (LOG Nr. 60.240) der Empa verwendet.

An der Oberseite der Mauerwerkskleinkörper (d.h. auf der Mörtelschicht) wurde zur verbesserten Kraftübertragung jeweils eine Gipsschicht aufgebracht (Abbildung 4).

Die Versuche wurden kraftgesteuert (Maschinenkraft) durchgeführt. Die Kraftgeschwindigkeit betrug etwa 0.7 kN/s, so dass der Bruch zwischen 15 und 30 Minuten nach Belastungsbeginn stattfand.

Die Versuche wurden am 6.10.2015, d.h. 28 Tage nach dem Aufmauern, 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 Anordnung der Wegmessungen ist in Abbildung 4 sichtbar. Die Messlängen (L_0) der Wegmessungen betragen 400 mm. Die Wegmessungen erfolgten mit 2 mm-Compac-Wegaufnehmern. Pro Probekörper wurden vier Wegmessungen durchgeführt (zwei pro Seite).



Abbildung 3: Mauerwerkskleinkörper 3.1 in der 5'000 kN Druck-Prüfmaschine eingebaut.



Abbildung 4: Mauerwerkskleinkörper mit zwei Wegaufnehmern. Auf der anderen Seite waren ebenfalls zwei Wegaufnehmer angeordnet.

Die Stauchungen (ε) wurden durch Division der Wegmessungen (d) durch die Messlänge $L_0 = 400$ mm berechnet:

$$\varepsilon = \frac{d}{400}$$

Die Abmessungen der Mauerwerkskleinkörper wurden mit einem Zollstab gemessen. Die Stein- und somit auch Mauerbreite lag etwa bei 145-147 mm, die Mauerwerkslänge variierte etwa zwischen 576 und 582 mm. Die Abmessungen wurden einfachheitshalber nominell zu 145x580 mm festgelegt. Die

Druckspannungen (σ) wurden durch Division der elektronisch gemessenen Druckkräfte (Maschinenkraft) durch die nominellen Abmessungen der Mauerwerkskleinkörper ermittelt, siehe die folgende Gleichung:

$$\sigma = \frac{F}{145 \times 580}$$

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. $145 \times 580 \text{ mm}^2$):

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

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 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 v wie folgt ermittelt:

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

Versuchsergebnisse

Steinprüfungen

Die Backsteine wurden vom Auftraggeber am 19. August 2015 an die Empa angeliefert. Die Steindruckfestigkeit wurde von der Abteilung Beton/Bauchemie der Empa ermittelt. Das Prüfprotokoll kann der Beilage 1 entnommen werden. Die Steine wurden parallel geschliffen 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 (ohne Berücksichtigung eines Formfaktors):

Mittelwert der Steindruckfestigkeit	$f_b =$	29.3 MPa.
Standardabweichung	$s =$	3.8 MPa
Variationskoeffizient	$v =$	13.0%

Mauerwerksprüfungen

In Abbildung 5 bis Abbildung 10 sind Bruchbilder der geprüften Mauerwerkskleinkörper dargestellt. Die ermittelten Druckspannungs-Stauchungsdiagramme der drei Versuche können Abbildung 11 bis Abbildung 13 entnommen werden. In Abbildung 14 sind ausserdem die Mittelwerte der Druckspannungs-Stauchungsdiagramme der drei Versuche zum Vergleich in einem Diagramm abgebildet.

Die maximal erreichten Druckkräfte und die entsprechenden Druckspannungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Zusätzlich sind die Variationskoeffizienten der Druckspannungen und die Elastizitätsmoduli angegeben.



Abbildung 5: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3.2 nach Versuch. Keine Schäden sichtbar.



Abbildung 6: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3.2 nach Versuch. Zwei sichtbare Risse an der Stirnseite (links und rechts).



Abbildung 7: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3.1 nach Versuch. Sichtbare vertikale Risse. „Vorderseite“.



Abbildung 8: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3.1 nach Versuch. Sichtbare vertikale Risse. „Rückseite“.



Abbildung 9: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3.3 nach Versuch.



Abbildung 10: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3.3 nach Versuch. Nach Abbau der Weggeber und aus der Prüfmaschine herausgefahren.

Probekörper	Kraft max kN	Druckspannung max MPa	Elastizitätsmodul MPa
2.1	709.8	8.44	6'214
2.2	724.8	8.62	6'386
2.3	806.1	9.59	7'323
Mittelwerte		$f_x = 8.88$	$E_x = 6'641$
Variationskoeffizienten		6.9%	9.0%
Charakteristische Werte		$f_{xk} = 7.4 \text{ MPa}$	$E_{xk} = 6'600 \text{ MPa}$

Tabelle 1: Übersicht der Mauerwerksversuche (Versuche am 5./6. Oktober 2015, d.h. 28/29 Tage nach dem Aufmauern).

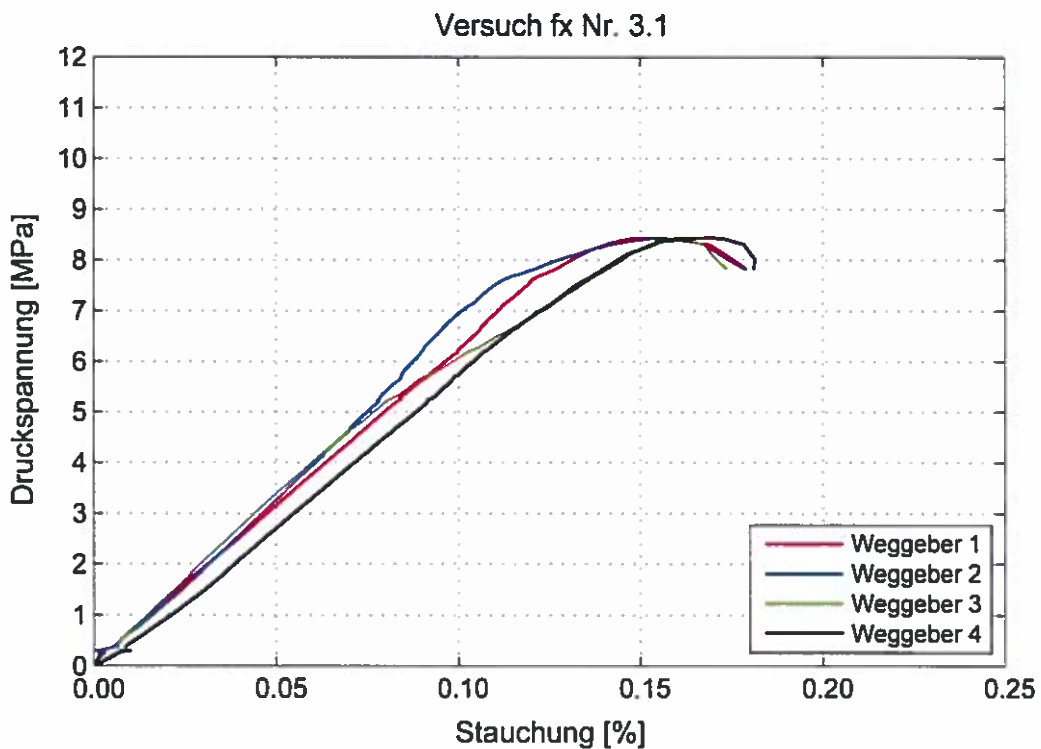


Abbildung 11: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme ermittelt im Versuch Nr. 3.1.

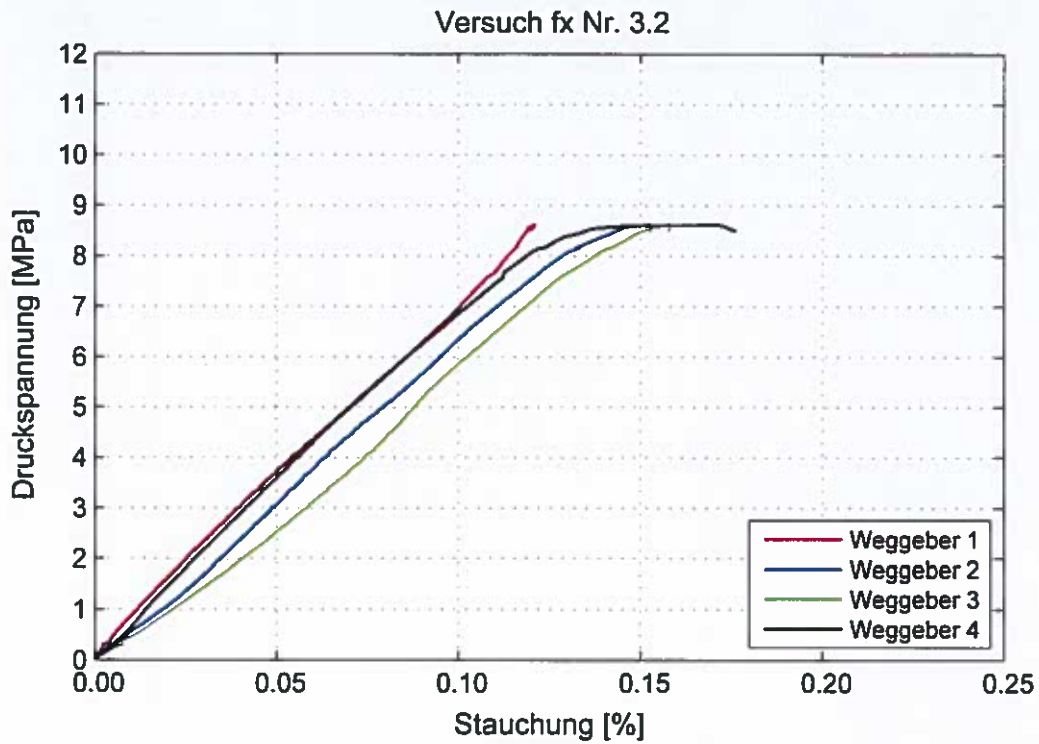


Abbildung 12: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme ermittelt im Versuch Nr. 3.2.

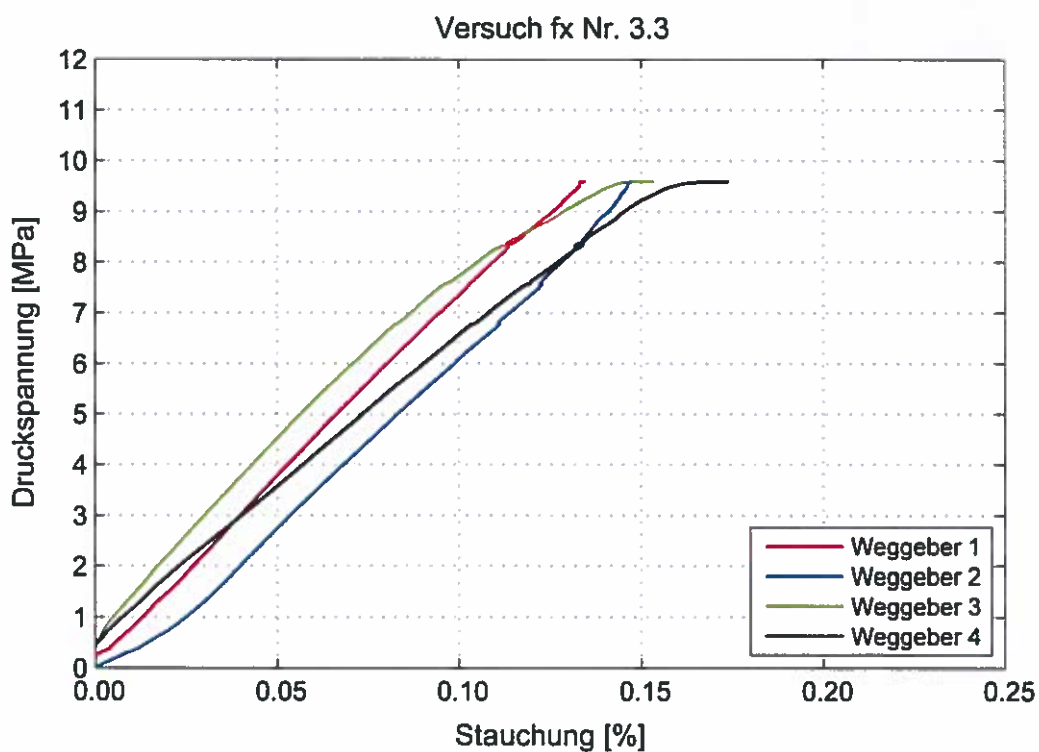


Abbildung 13: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme ermittelt im Versuch Nr. 3.3.

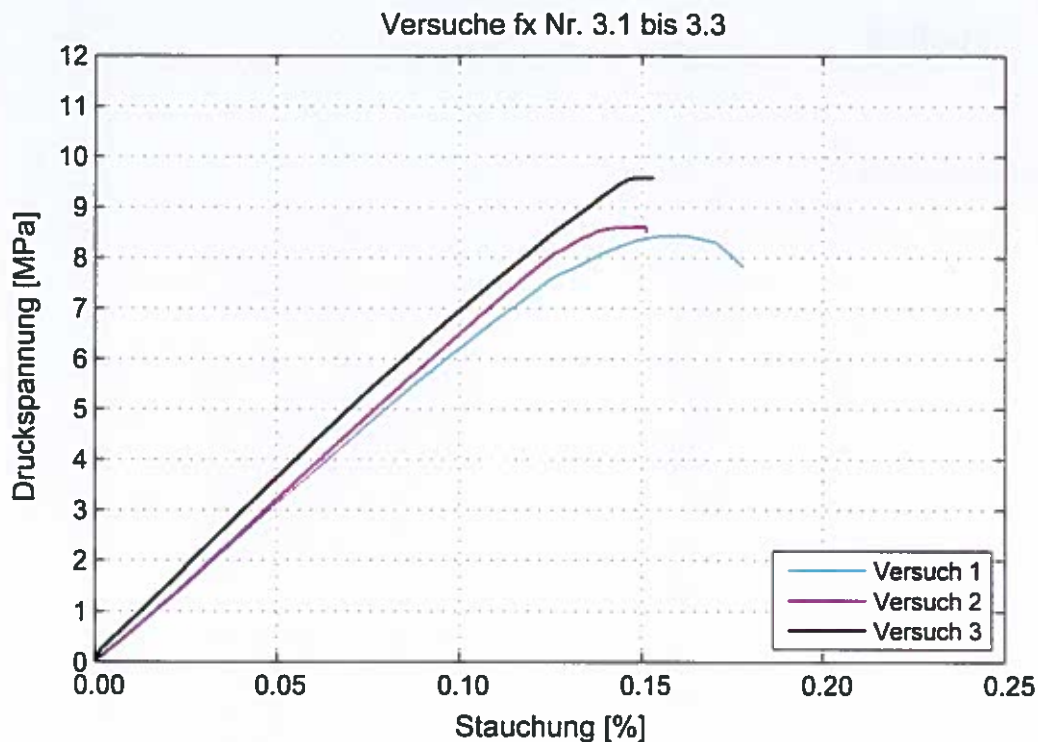


Abbildung 14: Mittlere Druckspannungs-Stauchungsdiagramme der drei Versuche Nr. 3.1 bis 3.3.

Beurteilung

Gemäss SIA 266 (2015) „Artikel 3.3.6“, gilt die Eignung eines Mauermörtels für eine bestimmte Standardmauerwerksart als nachgewiesen, wenn

- die Mindestwerte gemäss Tabelle 1 der SIA 266 (2015) (für Mauerwerk MB: $f_{yk} = 7.0$ MPa und $f_{fk} = 0.15$ MPa)
- unter Verwendung von Referenzmauersteinen mit den gemäss Tabelle 6 der SIA 266 (2015) (für Mauerwerk MB: $f_b = 32 \pm 4$ MPa und kapillare Wasseraufnahme von 2.0 ± 0.4 $\text{kgm}^{-2}\text{min}^{-1}$)

erreicht werden. Die Mindestanforderungen an Mauermörtel für Standardmauerwerk Backstein beträgt gemäss Tabelle 5 der SIA 266 (2015): $f_{mk} = 15.0$ MPa.

Die Mörteldruckfestigkeit wurde nicht geprüft.

Die ermittelte Steindruckfestigkeit betrug 29.3 MPa (siehe Beilage 1). Die Steinfestigkeit lag somit im geforderten Festigkeitsbereich. Es wurde einfachheitshalber keine Korrektur der Steindruckfestigkeit wegen der Steinabmessung (Formfaktor) vorgenommen. Die kapillare Wasseraufnahme wurde nicht geprüft.

Die geprüfte charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit betrug $f_{yk} = 7.4$ MPa (siehe Tabelle 1). Die geforderte Mauerwerksdruckfestigkeit von $f_{yk} = 7.0$ MPa war somit erfüllt. Die charakteristische Mauerwerksbiegezugfestigkeit wurde nicht geprüft.

Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

Auftragsnummer: 5214010311

Seriebezeichnung: Backstein

Prüfung: Mauersteindruckfestigkeit

Herstelldatum: 03.09.2015

Norm: EN 772-1:2011

Probenalter: 0

Prüfkörper: Mauerstein 300x200x200

Prüfdatum: 03.09.2015

Prüfer: KAP

Bezeichnung	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [g]	Rohdichte [kg/m ³]	Höchstkraft [kN]	Festigkeit [MPa]
1	285.4	145.4	187.0	7113	917	1345.0	32.4
2	285.1	148.0	185.8	7072	902	1332.0	31.6
3	285.4	147.5	186.8	7106	904	1239.0	29.4
4	284.7	147.5	185.7	7004	898	1292.0	30.8
5	284.2	147.2	186.5	7107	911	968.0	23.1
6	284.9	147.3	187.0	7113	906	1355.0	32.3
7	284.5	147.5	187.2	7112	905	1011.0	24.1
8	285.2	147.5	186.7	7100	904	1331.0	31.6
9	284.7	147.3	187.5	7060	898	1030.0	24.6
10	285.3	147.7	186.7	7128	906	1382.0	32.8
Mittelwert					905		29.3
Std. Abw.					5.60		3.8

Datum: 03.09.15 Unterschrift Prüfer:

