



Michael Stegmaier

**Untersuchungen zum Tragverhalten von  
Ziegelmauerwerk bei doppelt  
exzentrischer Druckbeanspruchung**

Michael Stegmaier

**Untersuchungen zum Tragverhalten von  
Ziegelmauerwerk bei doppelt  
exzentrischer Druckbeanspruchung**

**T 3385**

T 3385

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2021

ISBN 978-3-7388-0638-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# Abschlussbericht

**8435000001/DIBt-20/FB/Sgm**

Untersuchungen zum Tragverhalten von Ziegelmauerwerk bei doppelt exzentrischer Druckbeanspruchung

Auftraggeber:	Deutsches Institut für Bautechnik DIBt Postfach 620229 10792 Berlin
Bearbeiter:	Dr.-Ing. Michael Stegmaier
Auftrags-Nr. (Kunde):	AZ: ZP-52-5-15.98-1406/12
<b>Auftrags-Nr. (MPA):</b>	<b>843 5000 001 /Sgm</b>
<b>Prüfgegenstand:</b>	<b>Dünnbettziegelmauerwerk unterschiedlicher Hersteller</b>
Prüfspezifikation:	siehe Abschnitt 6
Eingangsdatum des Prüfgegenstandes:	2013-2019
Datum der Prüfung:	2013-2019
Datum des Berichts:	20.10.2020
Seite 1 von	33 Textseiten
Beilagen:	43
Anlagen:	
Gesamtseitenzahl:	76
Anzahl der Ausfertigungen:	2

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

## Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Zielsetzung .....	4
2	Auswertung von Literatur zum Tragverhalten von Mauerwerk bei doppelt exzentrischer Druckbeanspruchung .....	4
3	Untersuchungsprogramm .....	6
3.1	Verwendete Mauersteine .....	6
3.2	Verwendeter Mauermörtel .....	6
3.3	Durchgeführte Untersuchungen .....	7
3.3.1	Ziegelprüfungen .....	7
3.3.2	Mörtelprüfungen .....	8
3.3.3	Untersuchungen an geschosshohen Mauerwerkswänden und Mauerwerkspfeilern ...	9
3.4	Herstellung der geschosshohen Prüfwände und Mauerwerkspfeiler für die Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit .....	15
3.5	Herstellung der geschosshohen Prüfwände für die Ermittlung der doppelt zentrischen Druckfestigkeit .....	17
4	Versuchsergebnisse .....	18
4.1	Ergebnisse der Ziegelprüfungen.....	18
4.2	Ergebnisse der Mörtelprüfungen .....	19
4.3	Ergebnisse der zentrischen Mauerwerksprüfungen .....	19
4.3.1	Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B .....	19
4.3.2	Mauerwerk aus Planziegeln TV 10 .....	20
4.3.3	Mauerwerk aus Planziegeln T18 .....	21
4.4	Ergebnisse der doppelt exzentrischen Mauerwerksprüfungen.....	22
4.4.1	Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B .....	22
4.4.2	Mauerwerk aus Planziegeln TV10 .....	23
4.4.3	Mauerwerk aus Planziegeln T18 .....	24
5	Auswertung und Interpretation.....	26

6	Literatur.....	33
7	Anhang.....	1
7.1	Verwendete Mauersteine .....	1
7.2	Verwendete Mauermörtel .....	15
7.3	Ergebnisse zentrischen Wanddruckversuche.....	22
7.3.1	PHLz B.....	22
7.3.2	TV10 .....	28
7.3.3	T18.....	34
7.4	Ergebnisse doppelt exzentrischen Wanddruckversuche.....	38
7.4.1	PlanHLz B.....	38
7.4.2	TV10 .....	40
7.4.3	T18.....	42

## **1 Anlass und Zielsetzung**

Für die Festlegung von charakteristischen Werten der Druckfestigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen werden üblicherweise im Rahmen des Zulassungsverfahrens zentrische Wanddruckversuche an diesem Mauerwerk durchgeführt. Bei Mauersteinen mit großen Lochquerschnitten (Hohlblocksteine) werden zusätzlich doppelt exzentrische Wandversuche durchgeführt.

Grundlage für die Bewertung der Versuchsergebnisse aus zentrischen und doppelt exzentrischen Wanddruckversuchen sind Untersuchungen von Manns und Schneider [ 1 ] an Hohlblocksteinen aus Leichtbeton, bei denen festgestellt wurde, dass ein Verhältnis von doppelt exzentrischer zu zentrischer Mauerwerksdruckfestigkeit von 0,9 im Hinblick auf das Sicherheitskonzept noch akzeptabel ist.

Diese Erkenntnisse an den Leichtbeton-Hohlblocksteinen wurden bisher so auch auf Ziegel übertragen, ohne dass bisher eine wissenschaftliche Überprüfung durchgeführt wurde.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens von Manns und Schneider [ 1 ] für genormte Mauerziegelarten zu überprüfen und mit einer Versuchsreihe mit Leichtbeton-Hohlblocksteinen abzugleichen und somit eine Datenbasis für die Beurteilung des Tragverhaltens von Mauerwerk aus Mauerziegeln bei doppelt exzentrischer und zentrischer Druckbeanspruchung zu schaffen.

## **2 Auswertung von Literatur zum Tragverhalten von Mauerwerk bei doppelt exzentrischer Druckbeanspruchung**

Grundlage für die zurzeit durchgeführte Ableitung von charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten von Planziegelmauerwerk mit großen Kammern aus Versuchen bilden die Untersuchungen von Manns und Schneider [ 1 ] aus dem Jahr 1985 an Leichtbeton-Hohlblocksteinen.

Diese Untersuchungen wurden durchgeführt, da zu dieser Zeit Leichtbeton-Hohlblocksteine mit erhöhter Wärmedämmung entwickelt wurden, bei denen aus wärmeschutztechnischen Gründen die Anzahl und Dicke der Querstege im Vergleich zu damals genormten Leichtbeton-Hohlblocksteinen erheblich reduziert wurden.

Es stellte sich die Frage, ob solche in wärmeschutztechnischer Hinsicht optimierten Steine dieselben Tragfähigkeiten aufweisen wie die genormten Steine. Bei biegeweichen Decken führt die Deckenverformung zu einer Scherbeanspruchung der Mauerwerkswände nahe der Mittelebene und hier ist bei diesen neu entwickelten Steinen der Bereich der geringsten Querstegsumme.

Die Untersuchungen wurden damals mit einem nach DIN 18151 genormten 3-Kammer Hohlblockstein der Festigkeitsklasse 2 und Rohdichteklasse 0,7 in einer Wandstärke von 240 mm durchgeführt.

Es wurden geschosshohe Wände (Länge 125 cm, Höhe 250 cm, Dicke 24 cm) aus diesen Mauersteinen mit einem Normalmörtel MG II im mittigen Verband errichtet. Drei Wände wurden bei zentrischer Druckbeanspruchung geprüft und 3 Wände bei doppelt exzentrischer Beanspruchung. Die Exzentrizität betrug hierbei 4 cm bezogen auf die Schwerachse ( $e=d/6$ ). Die Mörtelfugen am Wandfuß und Wandkopf waren bei dieser Prüfvariante vollständig über die Wandbreite vermörtelt.

An zwei weiteren Prüfwänden wurde ebenfalls die doppelt exzentrische Druckfestigkeit geprüft, allerdings wurden hier die Wände am Wandkopf und Wandfuß lediglich bis zur Wandmitte vermörtelt (jeweils auf der Seite der Lasteinleitung), der restliche Fugenquerschnitt blieb frei. Mit dieser Belastungsanordnung sollte eine extreme Scherbeanspruchung in den beiden Prüfwänden erreicht werden, die jedoch so in der Praxis üblicherweise nicht auftreten kann.

Bei den geprüften zentrischen Wänden wurde der damals für diese Stein-Mörtel-Kombination gültige Grundwert der zulässigen Druckspannung mit einer 3fachen Sicherheit nachgewiesen.

Die mittlere Druckfestigkeit bei doppelt exzentrischer Beanspruchung mit vollständig vermörtelten Fugen am Wandkopf und Wandfuß lag um rd. 5 % niedriger als die mittlere zentrische Druckfestigkeit.

Bei der doppelt exzentrischen Prüfung mit nur teilweise vermörtelten Fugen ergab sich ein um rd. 54 % verringerte Druckfestigkeit im Vergleich zur zentrischen Prüfung.

Aus diesen Ergebnissen wurde abgeleitet, dass für die zu dieser Zeit in der DIN 18151 geregelten Steine auch bei einer doppelt exzentrischen Belastung mit vollfugiger Vermörtelung am Wandkopf und Wandfuß eine ausreichende Tragfähigkeit des Mauerwerks gegeben war.

Für die Zulassungsversuche von nicht genormten Leichtbeton-Hohlblocksteinen wurde vorgeschlagen, dass bei doppelt exzentrischer Wandprüfung eine Druckfestigkeit von 90 % im Vergleich zur zentrischen Wandprüfung als noch akzeptabel angesehen werden kann, um weiterhin das zu dieser Zeit gültige Sicherheitsniveau für Mauerwerk zu erreichen.

Meyer hat in [ 2 ] eine Übersicht über neue Entwicklungen im Zusammenhang mit Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit integrierter Wärmedämmung dargestellt und sich ebenfalls mit der Frage beschäftigt, ob die Tragfähigkeit dieser neuen Steine bei einer exzentrischen Beanspruchung noch gegeben ist.



Die Auswertung von Untersuchungen, bei denen sowohl zentrische als auch doppelt exzentrische Versuche mit solchen Leichtbeton-Hohlblocksteinen durchgeführt wurden, zeigte, dass die Unterschiede zwischen zentrischer und doppelt exzentrischer Druckfestigkeit bis auf Versuche mit einem Stein nur sehr gering ausfielen.

Die Erfahrung aus Zulassungsversuchen an Planziegelmauerwerk am Otto-Graf-Institut ergab bei unterschiedlichen Ziegelsorten eine Bandbreite von ca. 40 % bis ca. 70 % doppelt exzentrische Drucktragfähigkeit im Vergleich zur zentrischen Drucktragfähigkeit.

### **3 Untersuchungsprogramm**

#### **3.1 Verwendete Mauersteine**

Die Versuche wurden mit 3 unterschiedlichen Planziegelsorten durchgeführt. Die Auswahl der Ziegel erfolgte in Abstimmung mit dem DIBt (Herr Dr. Hirsch).

Die Referenz bildete ein Planziegel mit B-Lochung nach DIN 20000-401 [ 14 ] (PHLz B, Hersteller Fa. Kellerer, siehe Bild 15, Bild 1, Beilage 1 und Bild 16, Beilage 2) mit einer Druckfestigkeitsklasse 8 und Rohdichteklasse 0,8.

Für Mauerziegel mit großen Lochquerschnitten wurde der Planziegel TV10 nach Zulassung Z-17.1-1006 (Ziegelwerk Staudacher, siehe Bild 17, Beilage 6 und Bild 18, Beilage 7) mit einer Druckfestigkeitsklasse 8 und Rohdichteklasse 0,75 ausgewählt.

Als dritte Ziegelsorte wurde der Planziegel T18-24,0 nach Zulassung Z-17.1-678 (Wienerberger GmbH, siehe Bild 19, Beilage 11 und Bild 20, Beilage 11) mit einer Druckfestigkeitsklasse 8 und Rohdichteklasse 0,8 ausgewählt.

#### **3.2 Verwendeter Mauermörtel**

Für die Herstellung der Prüfwände mit den Plan-Hochlochziegeln PHLz B wurde ebenfalls der Dünnbettmörtel maxit mur 900d (Hersteller Fa. Franken Maxit GmbH & Co.) als auch der Dünnbettmörtel der Fa. Kellerer (Hersteller Fa. Franken Maxit GmbH & Co.) verwendet (siehe Bild 21, Beilage 15 und Bild 22, Beilage 15).

Für die Vermauerung der Planziegel TV10 wurde der Dünnbettmörtel maxit mur 900d verwendet (siehe Bild 24, Beilage 17).

Die Planziegel T18 wurden mit dem Dünnbettmörtel ZP 99 (Hersteller Fa. Baumit GmbH) vermauert (siehe Bild 26, Beilage 20).

### **3.3 Durchgeführte Untersuchungen**

#### **3.3.1 Ziegelprüfungen**

An den verwendeten Ziegeln wurden die Abmessungen, die Rohdichte, die Ebenheit und Planparallelität sowie die Druckfestigkeit nach DIN EN 772-1 [ 3 ], DIN EN 772-3 [ 4 ], DIN EN 772-16 [ 6 ] und DIN EN 772-20 [ 5 ] bzw. nach DIN EN 772-16 [ 6 ] ermittelt.

Zusätzlich wurden an jeweils einem Ziegel je Ziegelsorte die Stegdicken ausgemessen.

Ergänzend wurden bei den Planziegeln PHLz B die Querkzugfestigkeit ermittelt (siehe Bild 1). Dazu wurden Stahlplatten (Dicke rd. 15 mm) mit Gewindebohrungen mit 2-komponentigem Epoxidharz auf die Sichtflächen der Ziegel aufgeklebt. Nach ausreichender Erhärtung des Epoxidharzes wurden die Probekörper über Kugelkalotten in eine geeignete Zugprüfmaschine eingebaut und die Zugfestigkeit der Probekörper ermittelt. Über die Kugelkalotten wurde eine momentenfreie Einleitung der Zuglast gewährleistet.

Die Prüfung erfolgte kraft geregelt mit einer Prüfgeschwindigkeit von 0,1 kN/s.

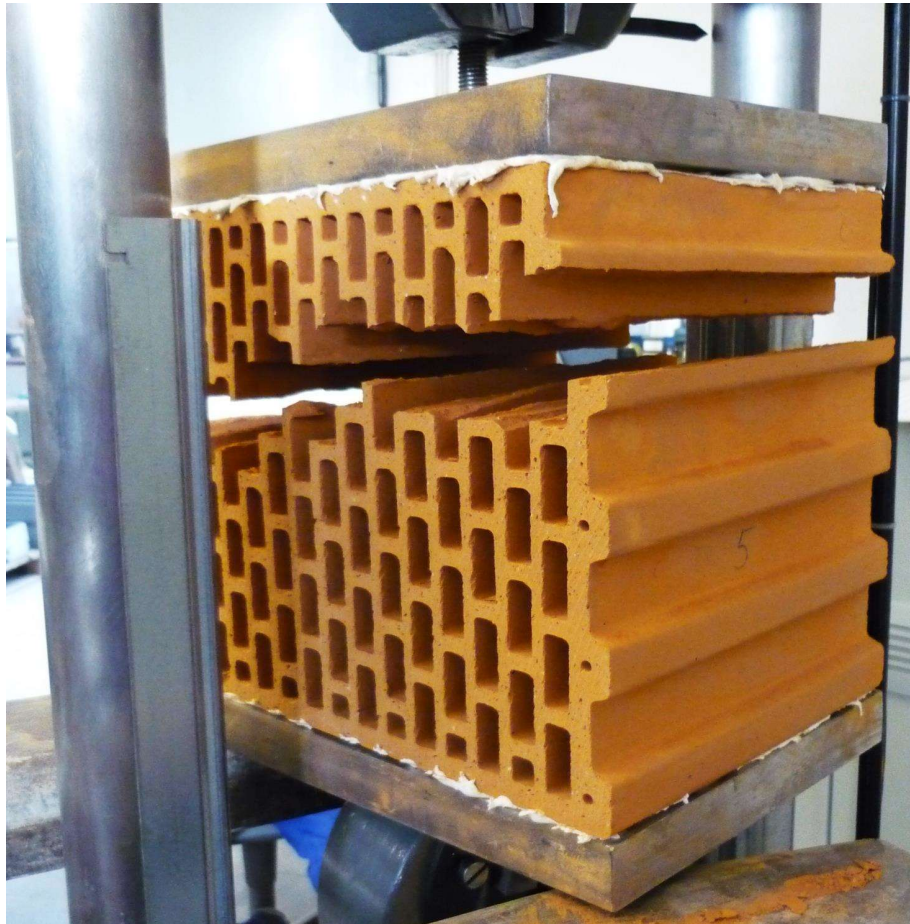


Bild 1: Ansicht eines Planziegels PHLz B nach der Ermittlung der Querkzugfestigkeit

### 3.3.2 Mörtelprüfungen

Die zum Vermauern der Planziegel verwendeten Dünnbettmörtel wurden mit einem Wasser-Trockenmörtelverhältnis nach Herstellervorgabe hergestellt.

Die Mörtel wurden mit einem Bauhandquirl (2-flügelig) jeweils rd. 2 Minuten gemischt, nach einer Reifezeit von rd. 5 Minuten nochmals kurz aufgemischt und anschließend verarbeitet.

Bei den verwendeten Dünnbettmörteln wurde die Konsistenz des Frischmörtels nach DIN EN 1015-3 [ 7 ] und die Frischmörtelrohichte in Anlehnung an DIN EN 1015-6 [ 8 ] ermittelt.

Zur Ermittlung der Festmörteleigenschaften (Rohdichte, Druck- und Biegezugfestigkeit) wurden für jeden Dünnbettmörtel 5 Prismenformen mit je 3 Prismen der Abmessungen  $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$  hergestellt. Die Prüfung der Druck- und Biegezugfestigkeit erfolgte nach DIN EN 1015-11 [ 9 ], die Rohdichte des Festmörtels wurde in Anlehnung an die DIN 18555-3 [ 10 ] geprüft. Die Trockenrohichte wurde nach DIN EN 1015-10 [ 11 ] ermittelt.

Entsprechend der DIN V 18580 [ 12 ] wurden jeweils 3 Prismen nach Normal- und Feuchtlagerung im Alter von 28 Tagen geprüft, die übrigen Prismen wurden nach Normallagerung zur Ermittlung der Festigkeitsentwicklung und zur zeitgleichen Prüfung mit den Wänden geprüft.

### **3.3.3 Untersuchungen an geschosshohen Mauerwerkswänden und Mauerwerkspfeilern**

Im Rahmen der Untersuchungen sollte die zentrische Druckfestigkeit und die doppelt exzentrische Druckfestigkeit von Mauerwerk an geschosshohen Wänden ermittelt werden. Mit den Ziegeln HLz B wurden zusätzlich noch zentrische Druckfestigkeitsversuche an Mauerwerkspfeilern durchgeführt...

Die doppelt exzentrische Druckfestigkeit wurde hierbei mit einer Exzentrizität von  $e=d/6$  ( $d$ = Wanddicke) bezogen auf die Schwerachse der Prüfwände an geschosshohen Mauerwerkswänden ermittelt. Die exzentrische Krafteinleitung erfolgte am Wandkopf und Wandfuß jeweils gegenläufig zur Schwerachse (siehe Bild 2).

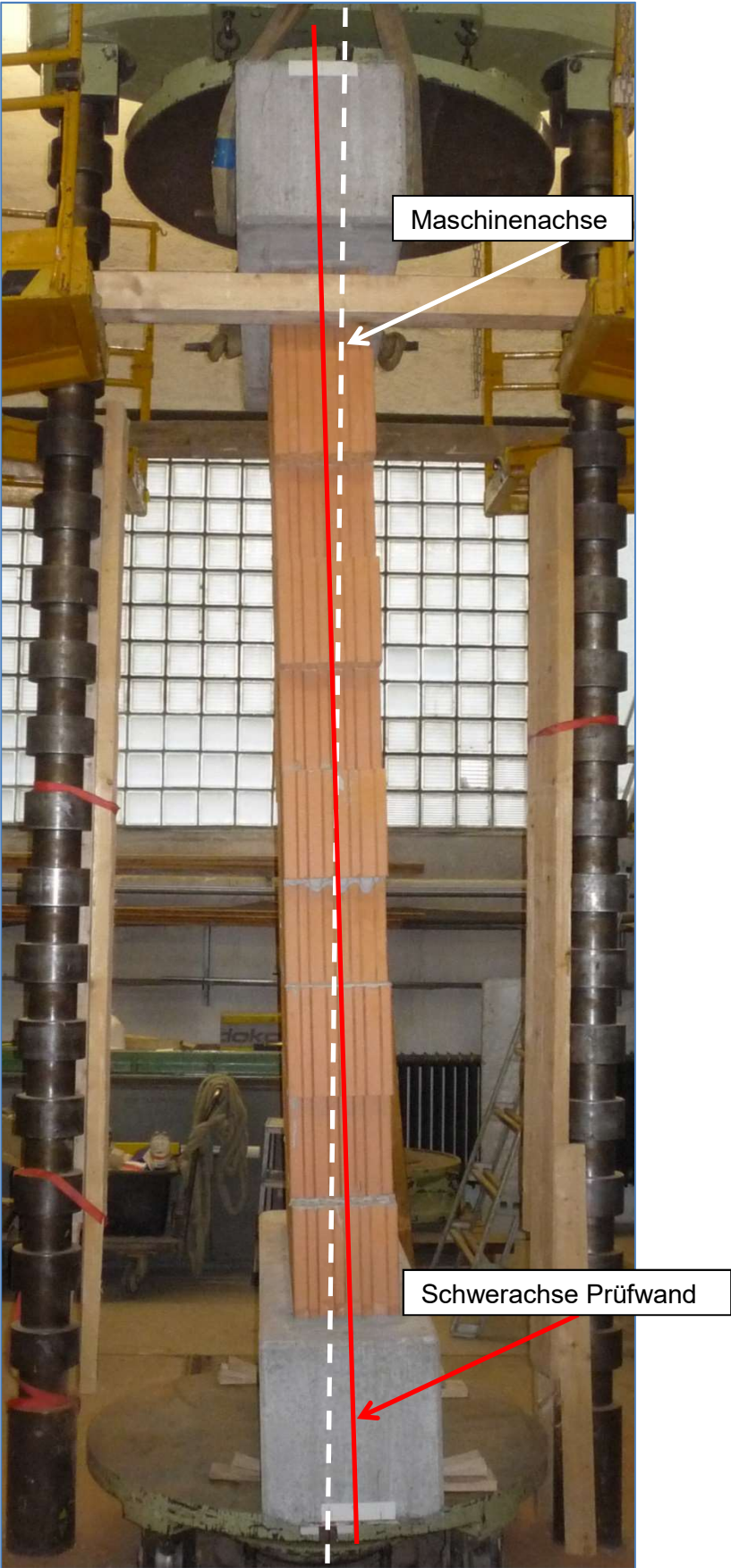


Bild 2: Prüfwand vor der Ermittlung der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit

Die Wandlänge betrug bei den Prüfwänden mit den Plan-Hochlochziegeln PHLz B rd. 1050 mm (wirksame Wandlänge bei 3 Steinen abzüglich Überbindemaß), bei den geschosshohen Prüfwänden mit den Planziegeln TV10 rd. 1100 mm (wirksame Wandlänge bei 5 Steinen abzüglich Überbindemaß) und bei den Wänden mit den Planziegeln T18 rd. 1000 mm (wirksame Wandlänge bei 3 Steinen abzüglich Überbindemaß). Die Wandhöhe betrug bei den Prüfwänden mit den Plan-Hochlochziegeln PHLz B und Plan T18 rd. 2500 mm (10 Steinschichten) und bei den Prüfwänden mit den Planziegeln TV 10 rd. 2300 mm (9 Steinschichten).

Die Prüfwände mit den Plan-Hochlochziegeln PHLz B wurden mit einem Überbindemaß von 0,4h hergestellt. Drei Wände wurden so hergestellt, dass die Stege der Steine in den Schichten deckungsgleich sind (Variante Steg/Steg) sowie 3 Wände, bei denen jeweils die Stege der einen Steinschicht im Bereich einer Kammer der darüber bzw. darunter liegenden Schicht lagen (Variante Steg/Loch).

Bei den Prüfwänden mit den Planziegeln TV10 wurden jeweils 3 geschosshohe Wände mit einem Überbindemaß von 0,4 h und 3 Wände mit einem Überbindemaß von 0,5 h hergestellt.

Bei den Prüfwänden mit den Planziegeln T18 sollten auch die beiden Varianten Steg/Steg und Steg/Loch abgebildet werden. Um dies sicherzustellen, wurde bei der Variante Steg/Steg das Überbindemaß zu 13 cm ( $\ddot{u}=0,52$ ) und bei der Variante Steg/Loch das Überbindemaß zu 11 cm ( $\ddot{u}=0,44$ ) gewählt.

Insgesamt wurden 18 geschosshohe Prüfwände bei zentrischer Druckbeanspruchung und 19 geschosshohe Wände bei doppelt exzentrischer Druckbeanspruchung geprüft.

Die folgende Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die geprüften Varianten.

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Versuche an geschosshohen Mauerwerkswänden

Prüfziegel											
Planziegel PHLzB				Planziegel TV10				Planziegel T18			
zentrisch		doppelt exzentrisch		zentrisch		doppelt exzentrisch		zentrisch		doppelt exzentrisch	
ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 13 cm	ü= 11 cm	ü= 13 cm	ü= 11 cm
Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch
2x	1x	1x	1x	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
M 1	M 1	M 1	M 1	M 2	M 2	M 2	M 2	M 3	M 3	M 3	M 3
T 1	T 1	T 1	T 2	T 1	T 1	T 2	T 2	T 1	T 1	T 1	T 1
1x	2x	2x	2x								
M 2	M 2	M 1	M 2								
T 1	T 1	T 2	T 2								
		1x									
		M 2									
		T 2									

M 1: maxit DBM (T)  
M 2: maxit mur 900d  
M 3: ZP 99  
T 1: Standard-Träger  
T 2: hohe Träger

Die zentrische und doppelt exzentrische Druckfestigkeit des Planziegelmauerwerks wurde in Anlehnung an die DIN EN 1052-1 [ 13 ] ermittelt.

Die Wände wurden entsprechend DIN EN 1052-1 [ 13 ] in einer 5000 kN-Druckprüfmaschine, Güteklasse 1, Kraftmessbereich 5000 kN, bei zentrischer bzw. doppelt exzentrischer, gleichmäßig verteilter Belastung geprüft.

Bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit wurde die Druckkraft in Stufen, entsprechend etwa 1/10 der angenommenen Bruchlast, aufgebracht. Bei jeder Laststufe wurde die Belastung für 90 Sekunden konstant gehalten und anschließend die nächste Laststufe angefahren. Nach Überschreiten von mindestens 1/3 der angenommenen Bruchlast wurde die Belastung kontinuierlich bis zum Bruch gesteigert.

Die lotrechten Verformungen (Längsstauchungen) unter zentrischer Belastung wurden an jeweils zwei 100 cm langen Messstrecken und die waagrechten Verformungen an jeweils einer Messstrecke

mit 50 cm Länge je Wandsichtfläche mit induktiven Wegaufnehmern (Messeinheit 0,001 mm) kontinuierlich gemessen (siehe Bild 3).

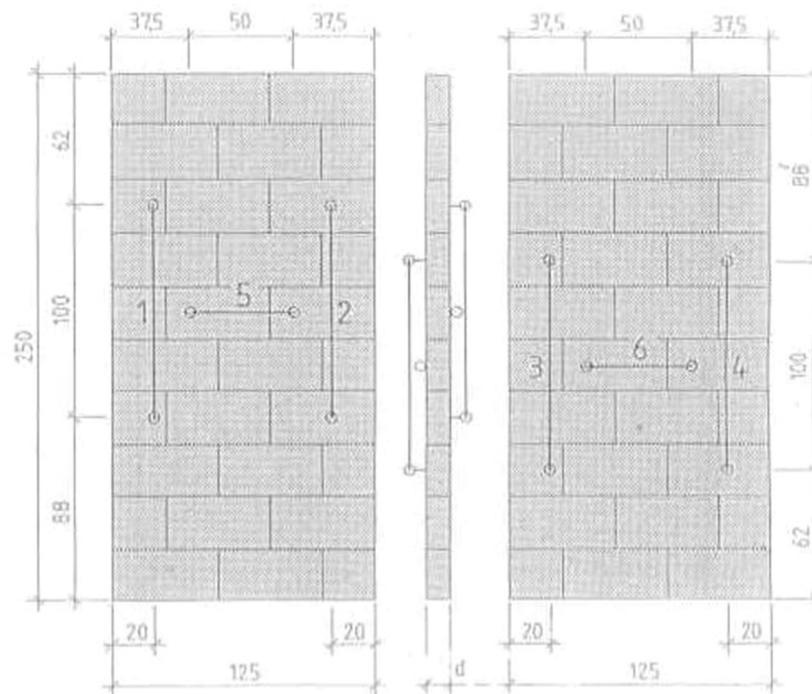


Bild 3: Schematische Darstellung der Lage und Bezeichnung der Messstrecken bei der Ermittlung der Tragfähigkeit einer geschosshohen Wand unter zentrischer Druckbeanspruchung

Der Elastizitätsmodul der einzelnen zentrisch beanspruchten Wände wurde aus den bei rd. 1/3 der Wanddruckfestigkeit gemessenen, mittleren lotrechten Verformungen  $\varepsilon_i$ , der Höchstlast  $F_{i,max}$  und dem Wandquerschnitt  $A_i$  mit folgender Formel errechnet:

$$E_i = F_{i,max} / (3 \times \varepsilon_i \times A_i)$$

Die Ermittlung der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit erfolgte stufenlos. Die Lasteinleitung am Wandfuß bzw. Wandkopf erfolgte über Rollenlager mit einem Durchmesser von 20 mm.

Die Zunahme der Druckspannung betrug jeweils etwa 0,01 N/mm<sup>2</sup> je Sekunde.

Während der Prüfungen wurden die Wandflächen hinsichtlich des Auftretens von Rissen bzw. Veränderungen beobachtet.

Die Druckfestigkeit  $\beta_{D,mw}$  des Mauerwerks wurde aus der Bruchkraft  $F_{max}$  und dem Wandquerschnitt  $A$  nach folgender Formel berechnet:



$$\beta_{D,mw} = F_{max}/A$$

Nach den Untersuchungen an den geschosshohen Wänden wurde in Abstimmung mit dem DIBt beschlossen, mit den Planziegel PHLz B noch zusätzlich Prüfungen bei zentrischer Druckbeanspruchung an Mauerwerk durchzuführen.

Da jedoch für die Herstellung einer ausreichenden Anzahl an geschosshohen Wänden für diese ergänzenden Versuche nicht mehr genügend Ziegel vorhanden waren, wurden diese Untersuchungen an Mauerwerkspfeilern mit einer Länge von rd. 75 cm (2 Steinlängen) und einer Höhe von rd. 175 cm (7 Steinschichten) durchgeführt. Das Überbindemaß betrug bei diesen Pfeilern 0,5h, die notwendigen halben Ziegel wurden gesägt. Bei der Anordnung der Ziegel in den einzelnen Schichten wurde darauf geachtet, dass die Stege der einzelnen Steinschichten weitgehend übereinander angeordnet waren (Variante Steg/Steg).

Insgesamt wurden 4 Mauerwerkspfeiler geprüft, wobei 2 Pfeiler mit dem Dünnbettmörtel maxit mur 900d und 2 Wände mit dem Dünnbettmörtel maxit DBM (T) gemauert wurden. Bei der Prüfung der zentrischen Druckfestigkeit den Mauerwerkspfeilern wurde auf die Ermittlung der Verformungen bei der Prüfung verzichtet.

In Tabelle 2 ist eine Übersicht, über die durchgeführten Pfeilerversuche zusammengestellt.

Tabelle 2: Übersicht über die durchgeführten Versuche an Mauerwerkspfeylern

Prüfziegel											
Planziegel PHLzB				Planziegel TV10				Planziegel T18			
zentrisch		doppelt exzentrisch		zentrisch		doppelt exzentrisch		zentrisch		doppelt exzentrisch	
ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 0,5h	ü= 0,4h	ü= 13 cm	ü= 11 cm	ü= 13 cm	ü= 11 cm
Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch	Steg/ Steg	Steg/ Loch
2x											
M 1											
T 1											
1x											
M 2											
T 1											
M 1: maxit DBM (T) M 2: maxit mur 900d M 3: ZP 99 T 1: Standard-Träger T 2: hohe Träger											

### 3.4 Herstellung der geschosshohen Prüfwände und Mauerwerkspfeyler für die Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit

Die unterste Ziegelschicht der Wände bzw. Pfeiler wurde beim Errichten auf einen auf der Unterseite plan geschliffenen, ausbetonierten biegesteifen Stahlträger (Träger 1, Höhe rd. 12 cm, siehe Bild 4) in Zementmörtel (MV 1:1) verlegt.



Bild 4: Ansicht des auf der Unterseite plan geschliffenen, ausbetonierten biegesteifen Stahlträgers (Träger 1)

Die übrigen Steinschichten wurden mit Dünnbettmörtel unter Verwendung einer Mörtelwalze (Planziegel TV10, siehe Bild 25, Beilage 18) bzw. eines Mörtelschlittens (siehe Bild 23, Beilage 16) aufgemauert.

Das Ziegelmauerwerk wurde im Läuferverband mit einem Überbindemaß abhängig vom Ziegeltyp bzw. Prüfvariante (siehe Abschnitt 3.3.3) errichtet, wobei die Stoßflächen ohne Mörtel knirsch gestoßen wurden. Bei den geschosshohen Mauerwerkswänden wurden keine gesägten Steine verwendet, so dass die Steine an den Seiten der Prüfwände überstanden. Bei den Planziegeln PHLz B und T18 wurden je Steinschicht 3 Steine und bei den Planziegeln TV10 je Steinschicht 5 Steine verwendet.

Bei den Mauerwerkspfeylern wurde im Läuferverband mit einem Überbindemaß von 0,5 h gemauert, wobei die Stoßflächen ohne Mörtel knirsch gestoßen wurden. Die notwendigen halben Ziegel wurden gesägt.

Nach ausreichender Erhärtung des Mauerwerks wurde auf die oberste Ziegelschicht ein biegesteifer, an der Oberseite plan geschliffener ausbetonierter Stahlträger mit Zementmörtel (MV 1:1) aufgelegt.

Die Wände wurden bis zur Prüfung in einem geschlossenen Raum bei einer Temperatur von 18 °C bis 22 °C und einer rel. Luftfeuchte von rd. 40 % bis 60 % gelagert.

### **3.5 Herstellung der geschosshohen Prüfwände für die Ermittlung der doppelt zentrischen Druckfestigkeit**

Die Herstellung der Prüfwände erfolgte prinzipiell identisch wie bei den Prüfwänden für die Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit (siehe Abschnitt 3.4).

Neben den in Abschnitt 3.4 verwendeten auf der Unterseite plan geschliffenen, ausbetonierten biegesteifen Stahlträgern (Träger 1, Höhe rd. 12 cm) wurden alternativ Betonträger (Träger 2, Höhe rd. 40 cm, siehe Bild 5) verwendet.

Im Bereich der Lasteinleitung sind bei diesen Trägern plan geschliffene, rd. 1 cm dicke Kopfbolzenplatten einbetoniert. Dadurch ist gewährleistet, dass die Träger biegesteif sind und die Lastschneide zur Lasteinleitung über die gesamte Länge der Prüfwand vollständig anliegt.



Bild 5: Ansicht des alternativ verwendeten Betonträgers (Träger 2, Höhe rd. 40 cm)

## 4 Versuchsergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der Ziegelprüfungen

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Planziegeln PHLz B sind in Tabelle 4, Beilage 3 bis Tabelle 7, Beilage 6 zusammengestellt.

Die mittlere Druckfestigkeit der Planziegel PHLz B betrug  $10,2 \text{ N/mm}^2$  die mittlere Rohdichte  $0,80 \text{ kg/dm}^3$ .

Die mittlere Querkzugfestigkeit der Planziegel PHLz B betrug  $0,25 \text{ N/mm}^2$ .

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Planziegeln TV10 sind in Tabelle 8, Beilage 8 bis Tabelle 10, Beilage 10 zusammengestellt.

Die mittlere Druckfestigkeit der Planziegel TV10 betrug  $11,8 \text{ N/mm}^2$  und die mittlere Rohdichte  $0,75 \text{ kg/dm}^3$ .

Die Ergebnisse der Prüfungen an den Planziegeln T18 sind in Tabelle 11, Beilage 12 bis Tabelle 13, Beilage 14 zusammengestellt.

Die mittlere Druckfestigkeit der Planziegel T18 betrug  $10,8 \text{ N/mm}^2$  und die mittlere Rohdichte  $0,81 \text{ kg/dm}^3$ .

## **4.2 Ergebnisse der Mörtelprüfungen**

Die Ergebnisse der Mörtelprüfungen im Zusammenhang mit dem Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B sind in Tabelle 14, Beilage 16 und Tabelle 15, Beilage 17 zusammengestellt.

Die Ergebnisse der Mörtelprüfungen im Zusammenhang mit dem Mauerwerk aus Planziegeln TV10 sind in Tabelle 16, Beilage 19 und Tabelle 17, Beilage 19 zusammengestellt.

Die Ergebnisse der Mörtelprüfungen im Zusammenhang mit dem Mauerwerk aus Planziegeln T18 sind in Tabelle 18, Beilage 21 und Tabelle 19, Beilage 21 zusammengestellt.

## **4.3 Ergebnisse der zentrischen Mauerwerksprüfungen**

### **4.3.1 Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B**

Die Einzelmesswerte der zentrischen Wanddruckprüfungen am Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B sind in Tabelle 20, Beilage 22 bis Tabelle 24, Beilage 27 zusammengestellt.

Die ermittelten Spannungs-Dehnungslinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit sind in Bild 28, Beilage 23 und Bild 29, Beilage 26 abgebildet.

Das nachfolgende Bild 6 zeigt die mittleren zentrischen Druckfestigkeiten (Wand- und Pfeilerversuche) der geprüften Varianten mit dem Planziegel PHLz B mit Angabe der Standardabweichung.

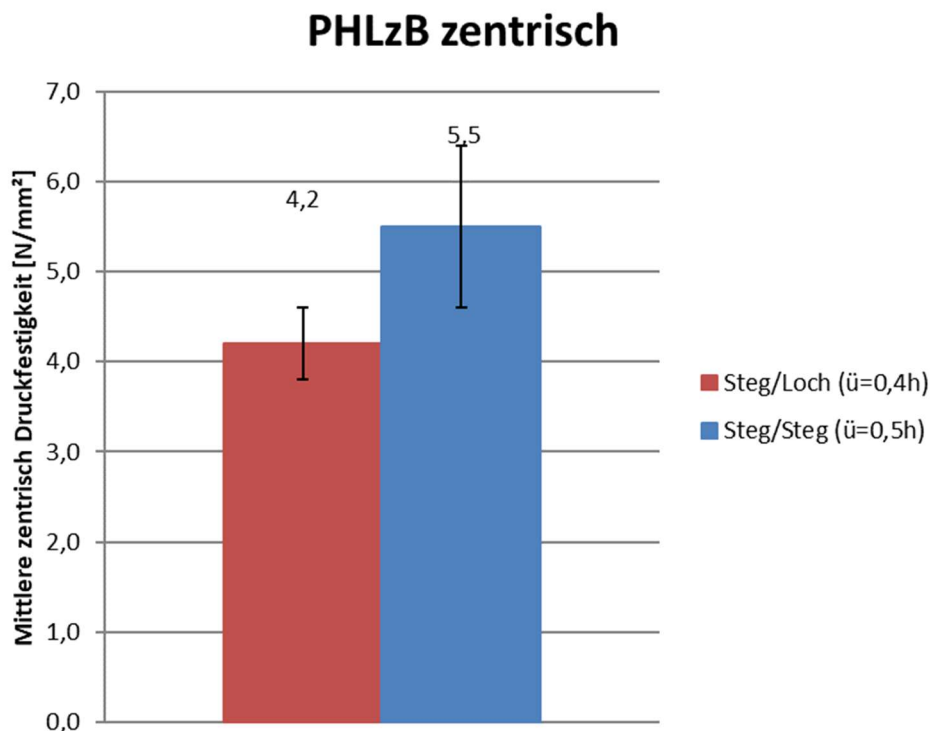


Bild 6: Mittlere zentrische Druckfestigkeiten des Mauerwerks aus Planziegeln PHLzB mit Angabe der Standardabweichungen

Die Anordnung der Stege lagenweise übereinander führt zu einer deutlich höheren zentrischen Druckfestigkeit (+31%) im Vergleich zur Anordnung Steg/Loch.

#### 4.3.2 Mauerwerk aus Planziegeln TV 10

Die Einzelmesswerte der zentrischen Wanddruckprüfungen am Mauerwerk aus Planziegeln TV10 sind in Tabelle 25, Beilage 28 bis Tabelle 28, Beilage 32 zusammengestellt.

Die ermittelten Spannungs-Dehnungslinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit sind in Bild 30, Beilage 30 und Bild 31, Beilage 33 abgebildet.

Das nachfolgende Bild 7 zeigt die mittleren zentrischen Druckfestigkeiten der beiden geprüften Varianten mit dem Planziegel TV10 mit Angabe der Standardabweichung.

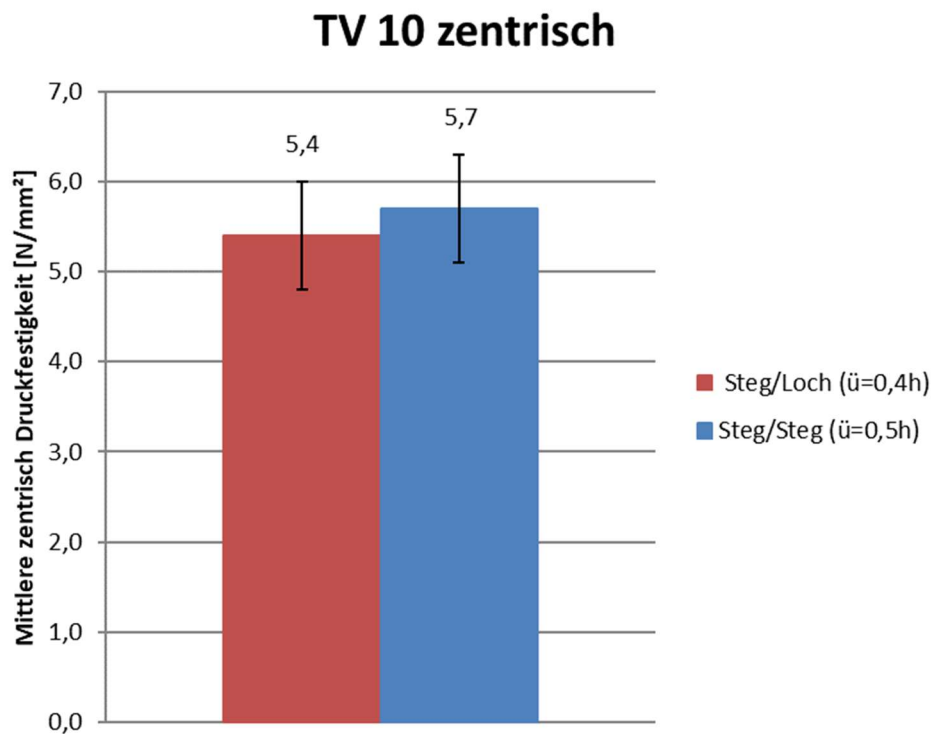


Bild 7: Mittlere zentrische Druckfestigkeiten des Mauerwerks aus Planziegeln TV10 mit Angabe der Standardabweichungen

Das unterschiedliche Überbindemaß führt bei den Planziegeln TV10 zu keiner signifikanten Änderung der zentrischen Druckfestigkeit. Der vorhandene Unterschied der beiden Messreihen liegt im Bereich der Streuungen der Messreihen.

#### 4.3.3 Mauerwerk aus Planziegeln T18

Die Einzelmesswerte der zentrischen Wanddruckprüfungen am Mauerwerk aus Planziegeln T18 sind in Tabelle 25, Beilage 28 bis Tabelle 28, Beilage 32 zusammengestellt.

Die ermittelten Spannungs-Dehnungslinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit sind in Bild 30, Beilage 30 und Bild 31, Beilage 33 abgebildet.

Das nachfolgende Bild 8 zeigt die mittleren zentrischen Druckfestigkeiten der beiden geprüften Varianten mit dem Planziegel T18 mit Angabe der Standardabweichung.



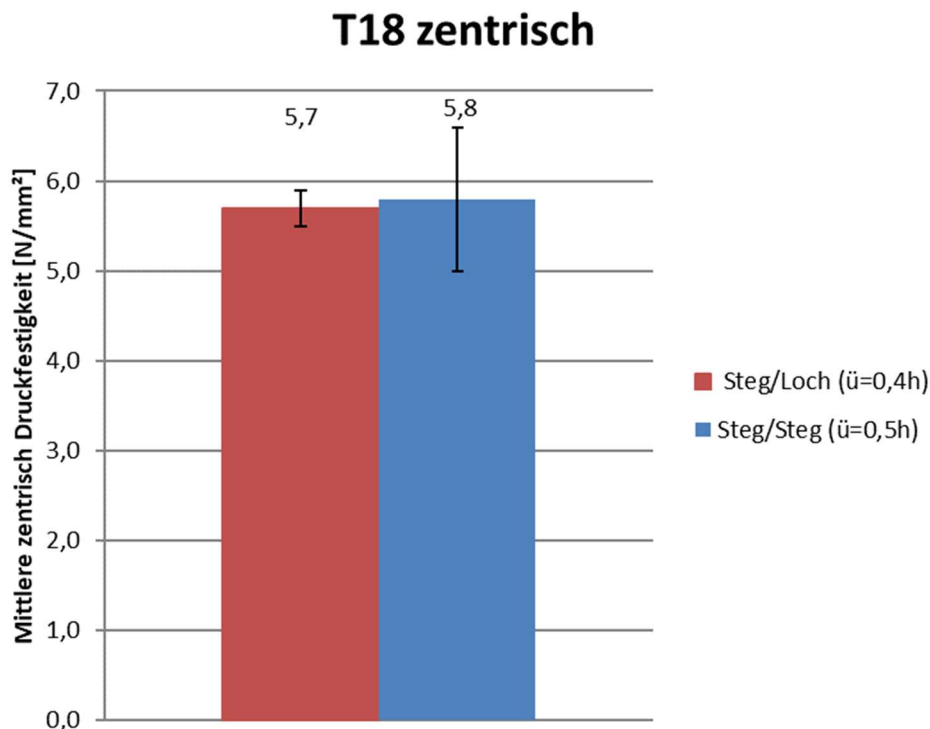


Bild 8: Mittlere zentrische Druckfestigkeiten des Mauerwerks aus Planziegeln T18 mit Angabe der Standardabweichungen

Das unterschiedliche Überbindemaß führt bei den Planziegeln T18 zu keiner signifikanten Änderung der zentrischen Druckfestigkeit. Der vorhandene Unterschied der beiden Messreihen liegt im Bereich der Streuungen der Messreihen.

#### 4.4 Ergebnisse der doppelt exzentrischen Mauerwerksprüfungen

##### 4.4.1 Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B

Die Einzelmesswerte der doppelt exzentrischen Wanddruckprüfungen am Mauerwerk aus Planziegeln PHLzB sind in Tabelle 33, Beilage 38 bis Tabelle 34, Beilage 39 zusammengestellt.

Das nachfolgende Bild 9 zeigt die mittleren doppelt exzentrischen Druckfestigkeiten der beiden geprüften Varianten mit dem Planziegel PHLz B mit Angabe der Standardabweichung.

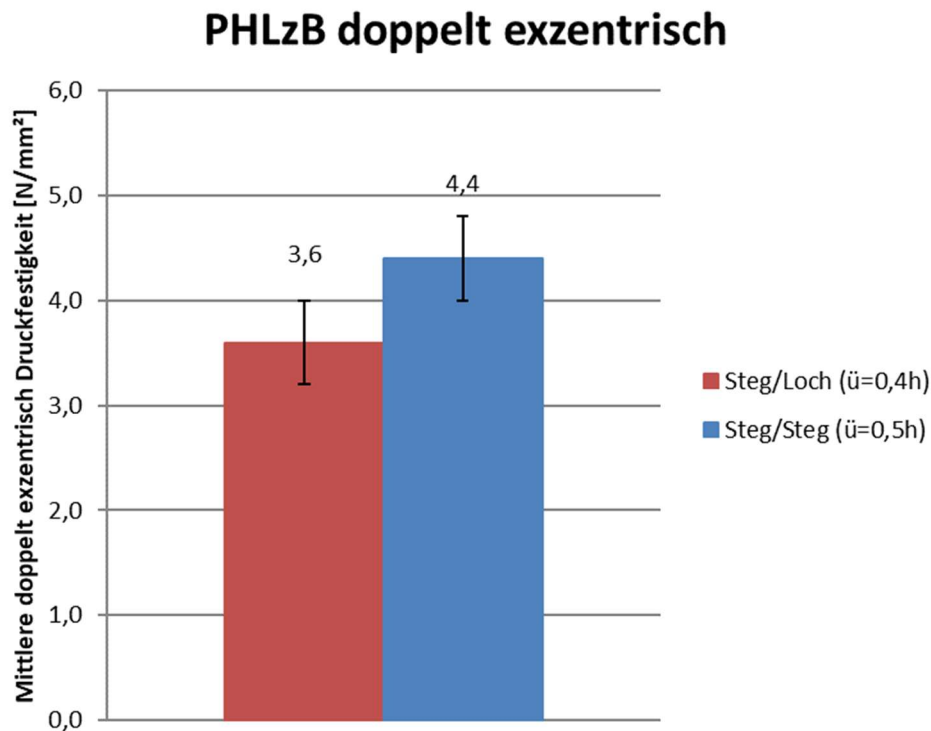


Bild 9: Mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeiten des Mauerwerks aus Planziegeln PHLzB mit Angabe der Standardabweichungen

Auch bei der doppelt exzentrischen Druckprüfung führt die Anordnung der Stege lagenweise übereinander zu einer höheren Festigkeit (+22%) im Vergleich zur Anordnung Steg/Loch. Der Unterschied fällt hier jedoch nicht so deutlich aus wie bei der zentrischen Druckfestigkeitsprüfung.

Bei der Prüfvariante Steg/Steg wurde eine Prüfwand mit den Standardträgern (Träger 1) geprüft, die restlichen 3 Prüfwände dieser Serie mit den hohen Trägern (Träger 2). Anhand der Messergebnisse konnte hier kein positiver oder negativer Einfluss der Trägervariante auf das Prüfergebnis festgestellt werden.

#### 4.4.2 Mauerwerk aus Planziegeln TV10

Die Einzelmesswerte der doppelt exzentrischen Wanddruckprüfungen am Mauerwerk aus Planziegeln TV10 sind in Tabelle 35, Beilage 40 bis Tabelle 36, Beilage 41 zusammengestellt.

Das nachfolgende Bild 10 zeigt die mittleren doppelt exzentrischen Druckfestigkeiten der beiden geprüften Varianten mit dem Planziegel TV10 mit Angabe der Standardabweichung.

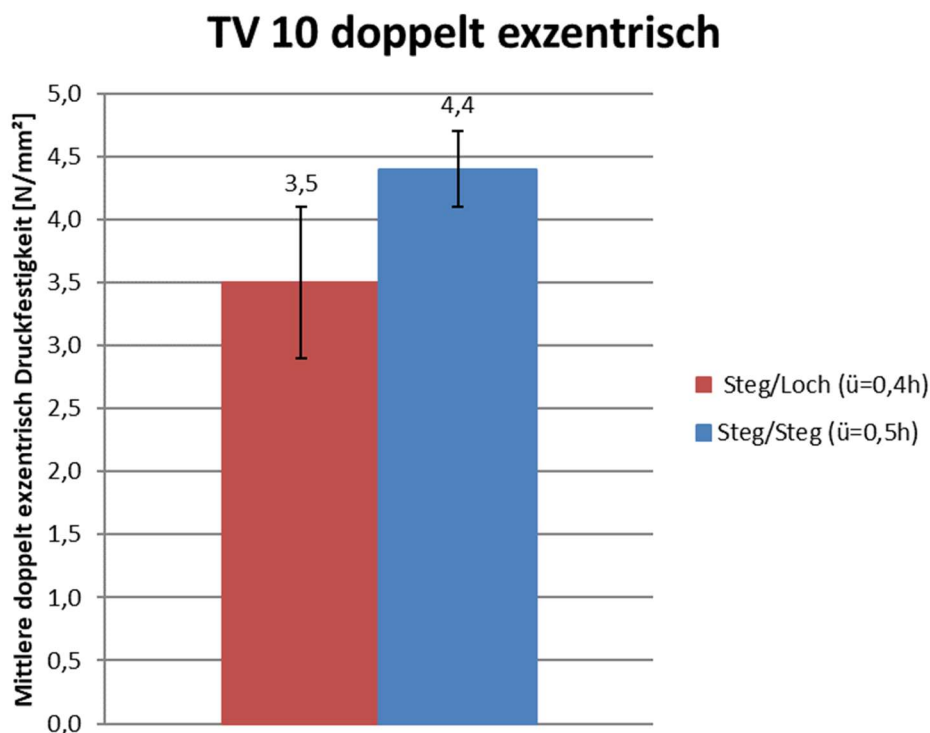


Bild 10: Mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeiten des Mauerwerks aus Planziegeln TV 10 mit Angabe der Standardabweichungen

Bei der doppelt exzentrischen Druckprüfung führt das unterschiedliche Überbindemaß bei den Planziegeln TV10 mit einem Überbindemaß von 0,5h zu einer deutlich höheren Festigkeit als mit Überbindemaß 0,4 h (+26%). Der vorhandene Unterschied der beiden Messreihen liegt außerhalb der Streuungen der Messreihen.

#### 4.4.3 Mauerwerk aus Planziegeln T18

Die Einzelmesswerte der doppelt exzentrischen Wanddruckprüfungen am Mauerwerk aus Planziegeln T18 sind in Tabelle 35, Beilage 40 bis Tabelle 36, Beilage 41 zusammengestellt.

Das nachfolgende Bild 11 zeigt die mittleren doppelt exzentrischen Druckfestigkeiten der beiden geprüften Varianten mit dem Planziegel T18 mit Angabe der Standardabweichung.

### T18 doppelt exzentrisch

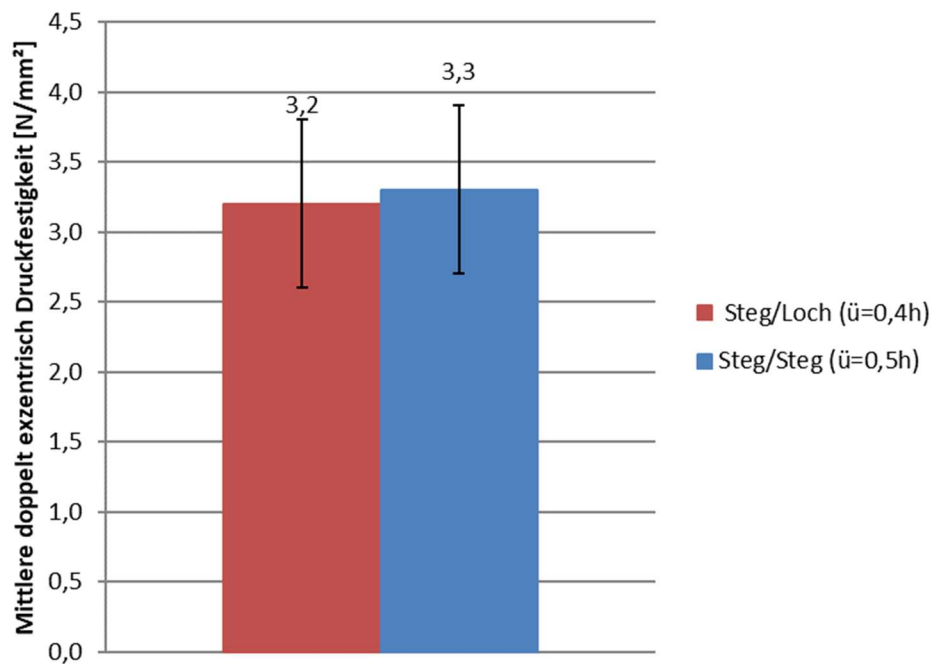


Bild 11: Mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeiten des Mauerwerks aus Planziegeln T18 mit Angabe der Standardabweichungen

Das unterschiedliche Überbindemaß führt bei den Planziegeln T18 zu keiner signifikanten Änderung der doppelt-exzentrischen Druckfestigkeit. Der vorhandene Unterschied der beiden Messreihen liegt im Bereich der Streuungen der Messreihen.

## 5 Auswertung und Interpretation

Für das Mauerwerk aus Planziegeln PHLz B hat sich gezeigt, dass die Anordnung der Stege im Mauerwerk (Variante Steg/Steg oder Steg/Loch) einen entscheidenden Einfluss auf die Tragfähigkeit des Mauerwerks hat. Dies gilt sowohl für die zentrische, aber auch für die doppelt exzentrische Druckfestigkeit. Besonders ausgeprägt ist dies jedoch bei der zentrischen Druckfestigkeit mit einer um 31% höheren zentrischen Druckfestigkeit der Variante Steg/Steg im Vergleich zur Variante Steg/Loch (siehe Abschnitt 4.3.1).

Das folgende Bild 12 zeigt das Verhältnis der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit zur zentrischen Druckfestigkeit aufgeschlüsselt nach den beiden Varianten Steg/Steg und Steg/Loch sowie eine globale Betrachtung aller Versuche mit den Planziegeln PHLz B.

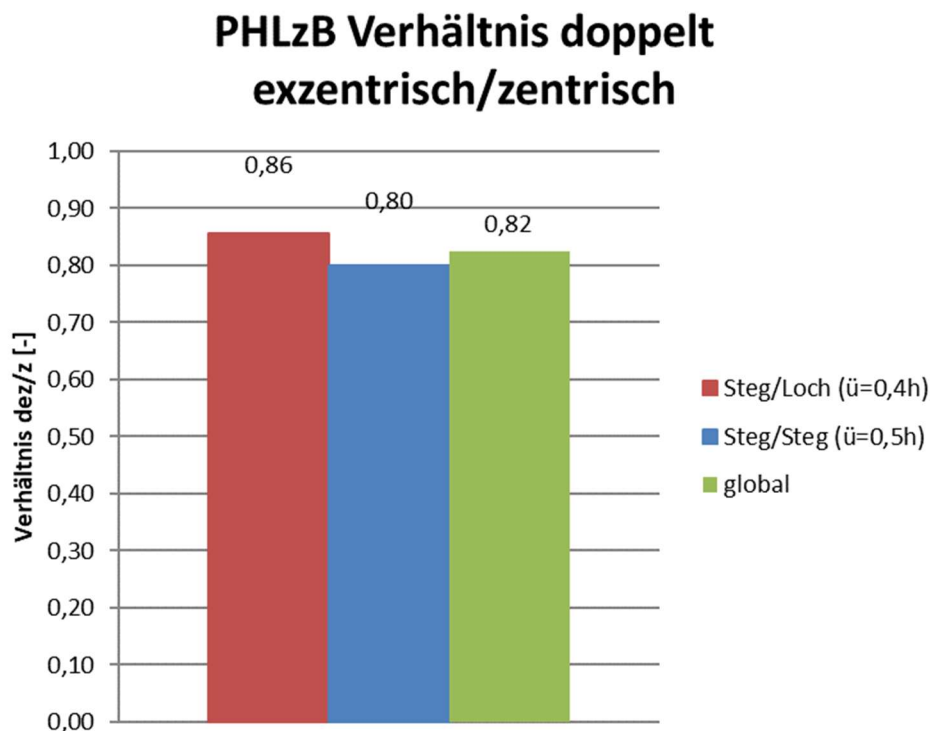


Bild 12: Verhältnis doppelt exzentrische Druckfestigkeit zu zentrischer Druckfestigkeit des Mauerwerks aus Planziegeln PHLz B

Bei der Betrachtung des Verhältnisses der doppelt exzentrischen Tragfähigkeit zur zentrischen Tragfähigkeit des Mauerwerks aus den Planziegeln PHLz B zeigt sich eine andere Situation (siehe Abschnitt 4.4.1). Die doppelt exzentrische Druckfestigkeit bei der Variante Steg/Steg liegt bei rd. 80 % der zentrischen Tragfähigkeit, während bei der Variante Steg/Loch die doppelt exzentrische Druckfestigkeit rd. 86% der zentrischen Tragfähigkeit beträgt.

Der Abfall der Tragfähigkeit bei doppelt exzentrischer Beanspruchung ist also bei der Variante Steg/Steg deutlicher ausgeprägt als bei der Variante Steg/Loch. Absolut betrachtet, liegt die Tragfähigkeit bei der Variante Steg/Loch immer niedriger als die Tragfähigkeit Steg/Steg, jedoch ist der Unterschied zwischen der zentrischen und der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit bei der Variante Steg/Loch deutlich geringer als bei Variante Steg/Steg.

Global über beide Varianten betrachtet ergibt sich eine doppelt exzentrische Druckfestigkeit des Mauerwerks aus Planziegeln PHLZ B von rd. 82% der zentrischen Druckfestigkeit.

Bei der Prüfvariante Steg/Steg aus Planziegeln PHLZ B wurde eine Prüfwand mit den Standardträgern (Träger 1) geprüft, die restlichen 3 Prüfwände dieser Serie mit den hohen Trägern (Träger 2). Anhand der Messergebnisse konnte hier kein positiver oder negativer Einfluss der Trägervariante auf das Prüfergebnis festgestellt werden.

Bei den Planziegeln TV10 wurde bei der Herstellung des Mauerwerks das Überbindemaß variiert. Es wurde Mauerwerk mit einem Überbindemaß von 0,4h (Steg/Loch) und 0,5h (Steg/Steg) hergestellt und sowohl zentrisch als auch doppelt exzentrisch auf Druckfestigkeit geprüft.

Bei der zentrischen Druckfestigkeit wirkt sich beim Planziegel TV10 der Unterschied im Überbindemaß nur geringfügig aus. Der Mittelwert der zentrischen Druckfestigkeit lag bei 0,4h bei 5,4 N/mm<sup>2</sup> und bei 0,5h bei 5,7 N/mm<sup>2</sup>. Der Unterschied liegt jedoch innerhalb der Streuungen der Messwerte, so dass dieser Unterschied nicht signifikant ist (siehe Abschnitt 4.3.2). Möglicherweise ist dieser geringe Unterschied darauf zurückzuführen, dass auch bei einem Überbindemaß von 0,5h die Querstege der Ziegel nicht vollständig übereinanderstehen.

Bei der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit jedoch ist ein deutlicher Unterschied in Abhängigkeit von dem Überbindemaß vorhanden. Mit einem Überbindemaß von 0,5h wurde eine mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeit von 4,4 N/mm<sup>2</sup> ermittelt, während mit einem Überbindemaß von 0,4h eine rd. 20 % geringere mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeit von 3,5 N/mm<sup>2</sup> ermittelt wurde (siehe Abschnitt 4.4.2).

Das folgende Bild 13 zeigt das Verhältnis der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit zur zentrischen Druckfestigkeit aufgeschlüsselt nach den beiden Varianten 0,4h und 0,5h sowie eine globale Betrachtung aller Versuche mit den Planziegeln TV10.

Die mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeit beträgt bei einem Überbindemaß von 0,4h rd. 65% der mittleren zentrischen Druckfestigkeit, während die mittlere doppelt exzentrische Druckfestigkeit

bei einem Überbindemaß von 0,5h 77% der mittleren zentrischen Druckfestigkeit beträgt. Erwartungsgemäß führt hier das günstigere Überbindemaß 0,5h zu einer höheren zentrischen Tragfähigkeit und auch zu einer höheren relativen Tragfähigkeit bei doppelt exzentrischer Beanspruchung.

### TV 10 Verhältnis doppelt exzentrisch/zentrisch

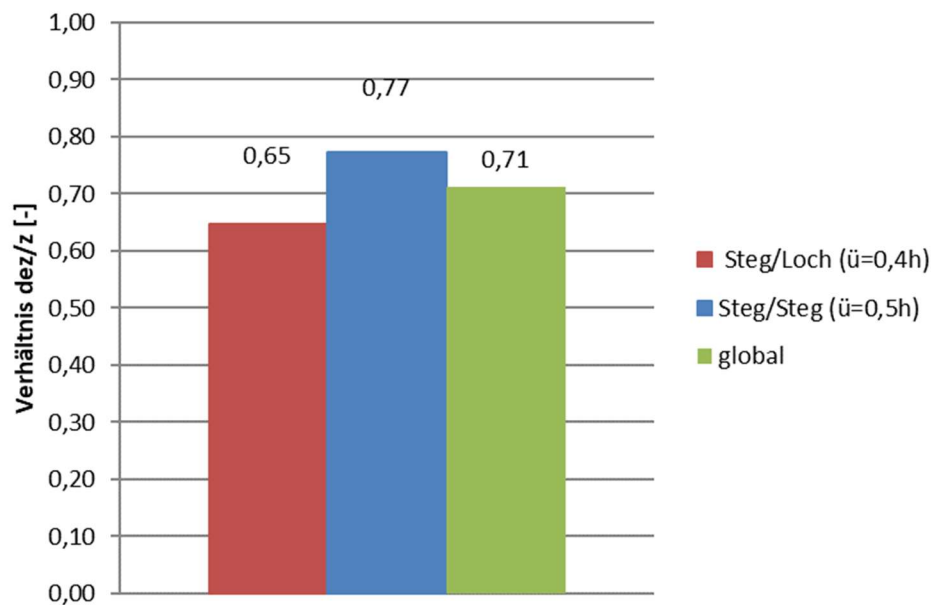


Bild 13: Verhältnis doppelt exzentrische Druckfestigkeit zu zentrischer Druckfestigkeit des Mauerwerks aus Planziegeln TV10

Global über alle Versuche mit dem Planziegel TV10 betrachtet, beträgt die doppelt exzentrische Druckfestigkeit rd. 71% der zentrischen Druckfestigkeit.

Bei den Prüfserien mit den Planziegeln T18 wurde ebenfalls unterschieden in eine Anordnung der Stege übereinander (Steg/Steg) sowie in eine versetzte Anordnung der Stege (Steg/Loch).

Es ergab sich, dass der Einfluss der Steganordnung weder bei der zentrischen noch der doppelt exzentrischen Druckfestigkeitsprüfung einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hatte. Die jeweiligen Unterschiede liegen in der Streuung der Ergebnisse (siehe Abschnitt 4.3.3 und Abschnitt 4.4.3). Dies liegt vermutlich daran, dass bei  $\ddot{u}=0,5h$  (Steg/Steg) die Stege nicht exakt übereinanderstehen und somit der Unterschied zu  $\ddot{u}=0,4h$  nur sehr gering ist.

Auch beim Verhältnis der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit im Vergleich zur zentrischen ist kein signifikanter Unterschied durch die unterschiedliche Steganordnung zu erkennen (siehe Bild 14, Seite 29).

### T18 Verhältnis doppelt exzentrisch/zentrisch

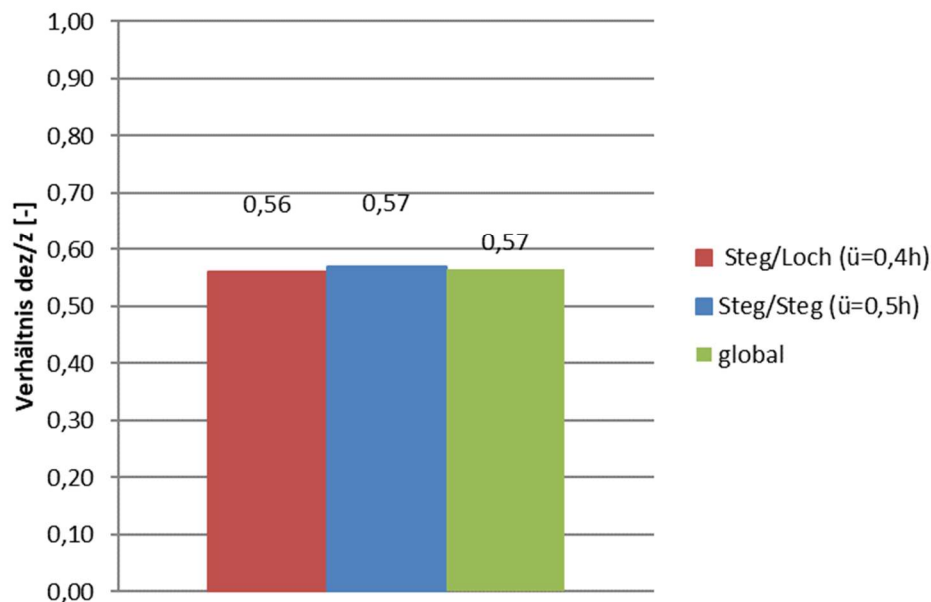


Bild 14: Verhältnis doppelt exzentrische Druckfestigkeit zu zentrischer Druckfestigkeit des Mauerwerks aus Planziegeln T18

In der folgenden Tabelle 3 sind die ermittelten mittleren zentrischen und doppelt exzentrischen Wanddruckfestigkeiten zusammengestellt. Aus ermittelten Wanddruckfestigkeiten wurden charakteristische Bemessungswerte  $f_k$  nach dem beim DIBt angewendeten Berechnungsverfahren mit folgenden Formeln abgeleitet. Dies erfolgte einmal lediglich auf Grundlage der Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche und einmal unter Berücksichtigung der zentrischen und doppelt exzentrischen Wandversuche. Die Ergebnisse wurden dann den Bemessungswerten aus den Zulassungen für die entsprechenden Steinfestigkeitsklassen gegenübergestellt.

Berechnung nur mit zentrischer Druckfestigkeit:

$$f_k = \beta_{D,zentrisch} \times \left[ 0,966 + 0,00136 \left( \frac{h}{d} \right)^2 \right] \times \left( \frac{\beta_{D,Stein,ist}}{\beta_{D,Stein,soll}} \right)^{0,7} \times 0,8 \quad (1)$$

Berechnung mit doppelt exzentrischer Druckfestigkeit:

$$f_k = \beta_{D,zentrisch} \times \frac{\beta_{D,doppelt\ exzentrisch}}{(\beta_{D,zentrisch} \times 0,9)} \times \left[ 0,966 + 0,00136 \left( \frac{h}{d} \right)^2 \right] \times \left( \frac{\beta_{D,Stein,ist}}{\beta_{D,Stein,soll}} \right)^{0,7} \times 0,8 \quad (2)$$



mit:

$\beta_{D, \text{ zentrisch}}$	= mittlere zentrische Mauerwerksdruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$\beta_{D, \text{ doppelt exzentrisch}}$	= mittlere doppelt exzentrische Mauerwerksdruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$h$	= Höhe Mauerwerksprobekörper [mm]
$d$	= Dicke Mauerwerksprüfkörper [mm]
$\beta_{D, \text{ Stein, ist}}$	= mittlere vorhandene Steindruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$\beta_{D, \text{ Stein, soll}}$	= mittlere Soll-Steindruckfestigkeit nach Norm bzw. Zulassung [N/mm <sup>2</sup> ]
0,8	= Quantilenfaktor

Tabelle 3: Mittlere Mauerwerksdruckfestigkeiten und daraus abgeleitete charakteristische Bemessungswerte sowie Vergleich mit Bemessungswerten aus den Zulassungen

		PHlz B	TV10	T18
		Z-17.1-843	Z-17.1-1006	Z-17.1-678
Steinfestigkeitsklasse		8	8	8
Mittlere Steindruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]		10,2	11,8	10,8
$\beta_{D, \text{ zentrisch}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	global	5,1	5,6	5,8
	Steg/Loch ( $\ddot{u}=0,4h$ )	4,2	5,4	5,7
	Steg/Steg ( $\ddot{u}=0,5h$ )	5,9	5,7	5,8
$\beta_{D, \text{ doppelt exzentrisch}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	global	4,0	4,0	3,3
	Steg/Loch ( $\ddot{u}=0,4h$ )	3,6	3,5	3,2
	Steg/Steg ( $\ddot{u}=0,5h$ )	4,4	4,4	3,3
$f_k$ (nur zentrische Versuche) [N/mm <sup>2</sup> ]	global	4,48	4,06	4,90
	Steg/Loch ( $\ddot{u}=0,4h$ )	3,69	3,92	4,81
	Steg/Steg ( $\ddot{u}=0,5h$ )	5,18	4,13	4,90
$f_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	global	3,90	3,22	3,10
	Steg/Loch ( $\ddot{u}=0,4h$ )	3,51	2,82	3,00
	Steg/Steg ( $\ddot{u}=0,5h$ )	4,30	3,54	3,10
$\hat{f}_k$ , Zulassung	-	3,7	3,2	3,7

Die  $f_k$ -Werte der Zulassungen liegen unabhängig von der Steganordnung für alle drei Ziegelarten bei der globalen Betrachtung und der Variante Steg/Steg deutlich auf der sicheren Seite im Vergleich zu den berechneten charakteristischen Bemessungswerten  $f_k$  auf Grundlage der zentrischen Druckfestigkeitsprüfung. Lediglich beim PHLz B ist bei der Anordnung Steg/Loch gerade noch der Bemessungswert aus der Zulassung erreicht worden.

Werden die  $f_k$ -Werte jedoch unter Berücksichtigung der doppelt exzentrischen Wandversuche ermittelt, zeigt sich ein anderes Bild.

Bei den Ziegeln PHLz B und den TV 10 sind die Werte aus der Zulassung in der globalen Betrachtung der Stege bzw. für die Variante Steg/Steg auf der sicheren Seite. Bei einer Anordnung Steg/Loch jedoch ergeben sich bei diesen beiden Ziegelsorten rechnerisch charakteristische Bemessungswerte, die für den PHLz B um rd. 5 % und für den TV 10 um rd. 12 % unter den Werten der Zulassung liegen.

Für den T18 sind unter Berücksichtigung der doppelt exzentrischen Wandversuche alle berechneten  $f_k$ -Werte unabhängig von der Steganordnung niedriger als die Werte der Zulassung. Bei globaler Betrachtung bzw. der Variante Steg/Steg beträgt die Unterschreitung im Vergleich zum Wert der Zulassung rd. 16 % und bei der Variante Steg/Loch rd. 19 %.

Es zeigt sich somit, dass es bei Ziegelarten, bei denen bisher lediglich auf Grundlage zentrischer Versuche die charakteristischen Bemessungswerte ermittelt wurden, gewisse Sicherheitsrisiken geben kann. Dies kann je nach Lochbild der Ziegel und Anordnung der Stege unterschiedlich stark ausgeprägt sein.

Es empfiehlt sich, bei zukünftigen Zulassungsversuchen die Wandprüfkörper mit einem ungünstigen Überbindemaß, so dass möglichst die Innenquerstege Steg auf Loch angeordnet sind, herzustellen und mit dieser ungünstigen Variante zu prüfen.

In [ 1 ] wurde an Leichtbeton-Hohlblocksteinen nachgewiesen, dass für die in diesen Untersuchungen verwendeten genormten Leichtbeton-Hohlblocksteine die doppelt exzentrische Druckfestigkeit bei einer Exzentrizität von  $e=d/6$  bezogen auf die Schwerachse der Prüfwand rd. 5% niedriger ist, als die zentrische Druckfestigkeit. Für Zulassungsprüfungen an neuen Leichtbeton-Hohlblocksteinen wurde damals empfohlen, dass ein Wert für die doppelt exzentrische Druckfestigkeit rd. 90 % der zentrischen Druckfestigkeit noch als akzeptabel im Hinblick auf das damals gültige Sicherheitskonzept angenommen werden kann. Diese Annahme wurde dann auch bei Zulassungsprüfungen von Großkammerziegeln verwendet. Bei Ziegeln mit Lochbildern, die den genormten Ziegellochbildern

ähnlich waren, wurde weiterhin auf eine verpflichtende Prüfung der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit im Rahmen des Zulassungsverfahrens verzichtet.

Die Untersuchungen an den Planziegeln in dieser Forschungsarbeit mit den PHLz B haben ergeben, dass die doppelt exzentrische Druckfestigkeit dieser Ziegel je nach Steganordnung zwischen 80 % und 86 % beträgt. Die Werte der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit liegen also für das genormte Lochbild des PHLz B deutlich unter dem Niveau, welches damals für die Leichtbeton-Hohlblocksteine ermittelt wurde. Bisher wurden für Ziegel mit genormten Lochbildern keine doppelt exzentrischen Wanddruckversuche zur Festlegung von charakteristischen Bemessungswerten für die Druckfestigkeit durchgeführt, so dass die hier festgestellte geringere doppelt exzentrische Druckfestigkeit bei diesen Ziegeln in der Festlegung der charakteristischen Bemessungswerte auch nicht berücksichtigt wurde.

Die Werte der doppelt exzentrischen Druckfestigkeit für den Großkammerziegel TV10 liegen je nach Überbindemaß zwischen 65 % und 77 % der zentrischen Druckfestigkeit, bei den Planziegeln T18 liegen die Werte für die doppelt exzentrische Druckfestigkeit mit 56 % bis 57 % nochmals niedriger.

Bei dem Großkammerziegel TV10 war die im Vergleich zum PHLz B nochmals niedrigere doppelt exzentrische Druckfestigkeit nicht ganz unerwartet infolge der geringen Anzahl an Querstegen. Das sehr niedrige doppelt exzentrische Lastniveau des Planziegels T18, der hinsichtlich des Lochbildes dem PHLz B recht ähnlich ist, war allerdings überraschend.

Die Festlegung der Bemessungswerte ohne doppelt exzentrische Wandprüfungen kann somit zu gewissen Sicherheitsrisiken führen. Dies ist vor allem anhand der in dieser Arbeit durchgeführten Versuche mit dem Planziegel T18 ersichtlich.

## 6 Literatur

- [ 1 ] Manns, W.; Schneider, H.: Zur Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Leichtbeton-Hohlblocksteinen bei doppelt exzentrischer Belastung. Betonwerk + Fertigteil-Technik 1/1985, Seite 37-44
- [ 2 ] Meyer, H.-G.: Leichtbeton-Hohlblocksteine mit integrierter Wärmedämmung. Betonwerk + Fertigteil-Technik 5/1983, Seite 297-305
- [ 3 ] DIN EN 772-1 – Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit, Ausgabe 2011-07
- [ 4 ] DIN EN 772-3 – Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 3: Bestimmung des Nettovolumens und des prozentualen Lochanteils von Mauerziegeln mittels hydrostatischer Wägung (Unterwasserwägung), Ausgabe: 1998-10
- [ 5 ] DIN EN 772-20 - Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 20: Bestimmung der Ebenheit von Mauersteinen, Ausgabe 2005-05
- [ 6 ] DIN EN 772-16 - Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 16: Bestimmung der Maße, Ausgabe 2011-07
- [ 7 ] DIN EN 1015-3 - Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch), Ausgabe 2007-05
- [ 8 ] DIN EN 1015-6 - Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel; Ausgabe: 2007-05
- [ 9 ] DIN EN 1015-11 - Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel, Ausgabe: 2007-05
- [ 10 ] DIN 18555-3 - Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte, Ausgabe: 1982-09
- [ 11 ] DIN EN 1015-10 - Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 10: Bestimmung der Trockenrohddichte von Festmörtel, Ausgabe: 2007-05
- [ 12 ] DIN V 18580 - Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften, Ausgabe 2007-03
- [ 13 ] DIN EN 1052-1 – Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit, Ausgabe 1998-12
- [ 14 ] DIN 20000-401 – Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1, Ausgabe 2015-11

## 7 Anhang

### 7.1 Verwendete Mauersteine



Bild 15: Ansicht des Planziegels PHLz B (Breite 240 mm)

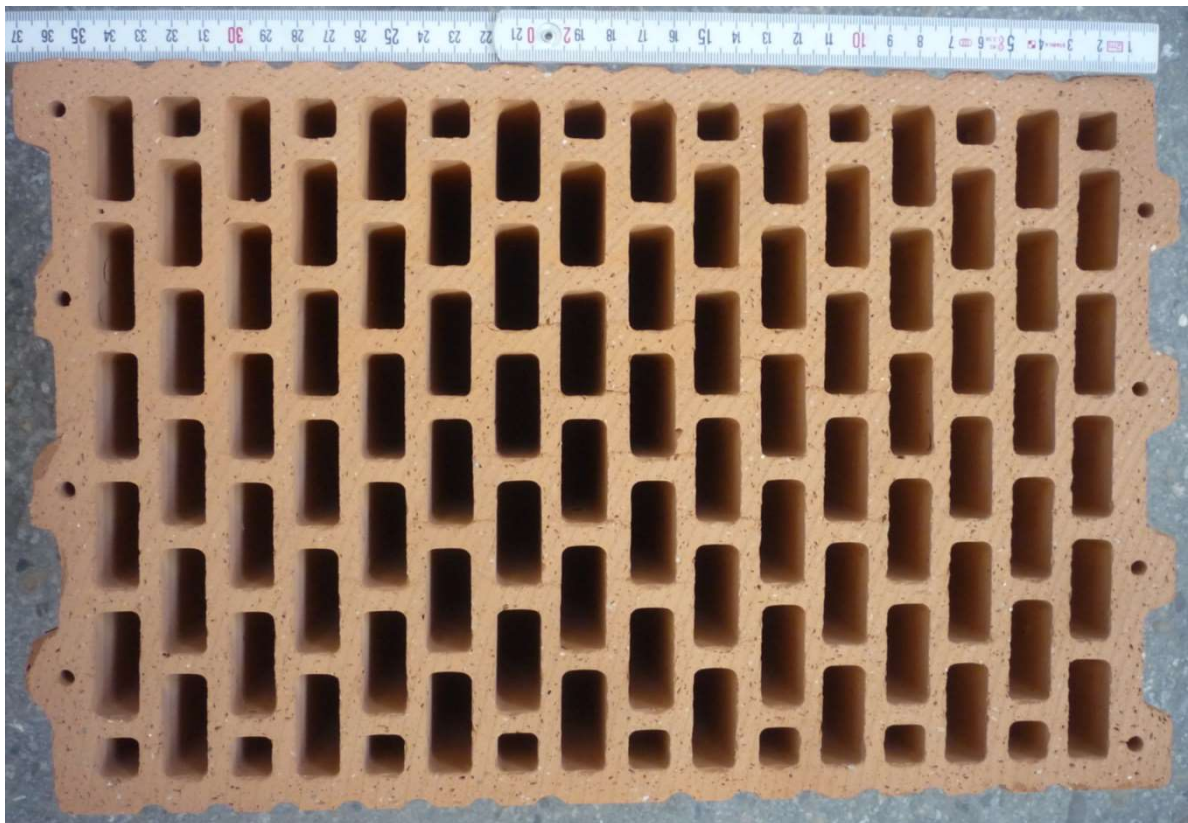


Bild 16: Draufsicht des Planziegels PHLz B (Breite 240 mm)

Tabelle 4: Beschreibung des Ziegelquerschnitts des Planziegels PHLz B mit den Nennabmessungen 372 x 240 x 249 mm<sup>3</sup>

	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]
Maße Ziegelquerschnitt	373,7	242,2	249,2
Maße des größten Lochquerschnitts einschl. Querschnittsfläche	Lochart  Rechteck	Maße [mm]:  34,0 x 14,5	Querschnitt  = 4,9 cm <sup>2</sup>
Lochanteil <sup>1)</sup>	49,1 %		
Lochreihenzahl	16		
Stegdicke innen	längs [mm]	mittlere 7,3	von - bis 7,2 – 7,7
	quer [mm]	7,2	6,3 – 7,8
Stegdicke außen	längs [mm]	mittlere 11,8	von – bis 10,7 – 12,3
	quer [mm]	12,3	11,9 – 13,7
Summe der Stegdicken quer	minimal [mm/m]	335	
	maximal [mm/m]	399	
Stoßfugenausbildung	(asymmetrisch)		
Nut (4 mal)	Nutbreite [mm]	30,7	
	Nuttiefe [mm]	11,9	
Feder (4 mal)	Federbreite [mm]	22,0	
	Federhöhe [mm]	8,3	
<sup>1)</sup> Volumen ermittelt mit dem Auftriebsverfahren			

Tabelle 5: Abmessungen, Ziegelrohddichte, Scherbenrohddichte, Lochanteil und Ziegelfestigkeit von Planziegeln PHLz B

Ziegel Nr. [-]	Abmessungen			Ziegel- rohddichte $\rho_z$ <sup>1)</sup> [kg/dm <sup>3</sup> ]	Scherben- rohddichte $\rho_{Sch}$ <sup>2)</sup> [kg/dm <sup>3</sup> ]	Lochanteil L <sup>3)</sup> [%]	Ziegel- festigkeit $\beta_{ST}$ <sup>4)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]				
1	372,2	242,6	249,3	0,80	-	-	10,2
2	371,0	242,3	249,3	0,80	-	-	9,8
3	373,5	242,8	249,4	0,80	-	-	10,0
4	372,5	242,8	249,3	0,79	-	-	10,3
5	371,7	242,5	249,3	0,80	-	-	10,0
6	371,9	242,6	249,5	0,80	-	-	11,1
7	371,2	241,4	249,4	-	1,58	49,3	-
8	371,4	241,2	249,3	-	1,58	49,1	-
9	372,2	241,2	249,2	-	1,57	48,9	-
10	371,4	240,7	249,4	-	1,57	48,8	-
11	371,6	241,5	249,4	-	1,57	49,1	-
12	371,4	241,3	249,3		1,59	49,4	-
<b>Mittel:</b>	-	-	-	<b>0,80</b>	<b>1,58</b>	<b>49,1</b>	<b>10,2</b>
<p>1) ermittelt am Ziegel nach Trocknung bei 105°C bis zur Massenkonstanz</p> <p>2) Volumen mit dem Auftriebsverfahren bestimmt</p> <p>3) <math>L = (1 - \rho_z / \rho_{Sch}) \times 100 \%</math></p> <p>4) ohne Anwendung eines Formfaktors</p>							



Tabelle 6: Ebenheit und Planparallelität der Lagerflächen von Planziegeln PHLz B

Ebenheit					
Ziegel Nr.	Lagerfläche		Wölbung		Mittelwert [mm]
	[Ort]		Diagonale 1 [mm]	Diagonale 2 [mm]	
1	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
2	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
3	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
4	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
5	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
6	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
Planparallelität					
Ziegel Nr.	mittlere Höhe der Außenwandungen				
	Abstand 1 [mm]	Abstand 2 [mm]	Abstand 3 [mm]	Abstand 4 [mm]	Messspanne [mm]
1	250,1	249,9	250,2	249,9	0,3
2	249,8	249,9	250,0	249,9	0,2
3	250,0	249,9	250,1	250,0	0,2
4	250,0	250,0	250,1	249,9	0,2
5	250,0	250,0	249,8	249,9	0,2
6	250,1	250,0	249,9	249,8	0,3

Tabelle 7: Querzugfestigkeit von Planziegeln PHLz B

Probe Nr. [-]	Abmessungen			Rohdichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Bruchlast [N]	Querzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]			
1	373,4	242,4	249,3	0,80	17409	0,19
2	373,8	242,7	249,2	0,80	15988	0,17
3	373,3	242,7	249,2	0,79	32588	0,35
4	373,6	242,2	249,2	0,80	22740	0,24
5	373,7	242,3	249,3	0,80	29684	0,32
<b>Mittelwert:</b>					<b>23682</b>	<b>0,25</b>
<b>Standardabweichung:</b>				-	-	<b>0,08</b>
<b>Variationskoeffizient [%]</b>				-	-	<b>31,0</b>



Bild 17: Ansicht des Planziegels TV10



Bild 18: Draufsicht des Planziegels TV10

Tabelle 8: Beschreibung des Ziegelquerschnitts des Planziegels TV10 mit den Nennabmessungen 247 x 365 x 249 mm<sup>3</sup>

	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]
Maße Ziegelquerschnitt	246,6	363,6	249,1
Maße des größten Lochquerschnitts einschl. Querschnittsfläche	Lochart Rechteck	Maße [mm]: 101,5 x 36,9	Querschnitt = 37,4 cm <sup>2</sup>
Lochanteil <sup>1)</sup>	52,8 %		
Lochreihenzahl	6		
Stegdicke innen	längs [mm]	mittlere 20,1	von - bis 19,6 – 20,8
	quer [mm]	15,8	14,0 – 17,1
Stegdicke außen	längs [mm]	mittlere 19,2	von – bis 18,2 – 20,4
	quer [mm]	13,7	10,3 – 16,8
Summe der Stegdicken quer	minimal [mm/m]	171	
	maximal [mm/m]	172	
Stoßfugenausbildung			
Nut (2 mal)	Nutbreite [mm]	57,8	
	Nuttiefe [mm]	7,6	
Feder (2 mal)	Federbreite [mm]	46,6	
	Federhöhe [mm]	6,2	
<sup>1)</sup> Volumen ermittelt mit dem Auftriebsverfahren			

Tabelle 9: Abmessungen, Ziegelrohddichte, Scherbenrohddichte, Lochanteil und Ziegelfestigkeit von Planziegeln TV10

Ziegel Nr. [-]	Abmessungen			Ziegel- rohddichte $\rho_z$ <sup>1)</sup> [kg/dm <sup>3</sup> ]	Scherben- rohddichte $\rho_{sch}$ <sup>2)</sup> [kg/dm <sup>3</sup> ]	Lochanteil L <sup>3)</sup> [%]	Ziegel- festigkeit $\beta_{ST}$ <sup>4)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]				
1	246,2	362,6	249,3	0,74	-	-	12,9
2	245,3	362,7	249,8	0,75	-	-	11,1
3	245,4	361,5	249,8	0,75	-	-	11,9
4	244,3	362,4	249,2	0,75	-	-	11,4
5	245,0	363,8	250,1	0,78	-	-	12,0
6	245,3	363,5	250,0	0,74	-	-	11,4
7	246,9	363,4	249,9	-	1,50	52,8	-
8	245,8	362,3	249,4	-	1,50	52,3	-
9	246,3	363,8	249,2	-	1,51	52,9	-
10	246,2	363,2	249,3	-	1,51	52,7	-
11	247,1	363,5	249,3	-	1,51	52,7	-
12	246,1	363,5	249,4	-	1,51	52,9	-
<b>Mittel:</b>	-	-	-	<b>0,75</b>	<b>1,51</b>	<b>52,7</b>	<b>11,8</b>
<p>1) ermittelt am Ziegel mit Dämmstoff nach Trocknung bei 105°C bis zur Massenkonstanz                  2) Volumen mit dem Auftriebsverfahren bestimmt (ohne Dämmstoff)                  3) <math>L = (1 - \rho_z / \rho_{sch}) \times 100 \%</math> (<math>\rho_z</math> ohne Dämmstoff)                  4) ohne Anwendung eines Formfaktors</p>							

Tabelle 10: Ebenheit und Planparallelität der Lagerflächen von Planziegeln TV10

Ebenheit					
Ziegel Nr.	Lagerfläche		Wölbung		Mittelwert [mm]
	[Ort]		Diagonale 1 [mm]	Diagonale 2 [mm]	
1	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
2	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
3	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
4	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
5	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
6	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
Planparallelität					
Ziegel Nr.	mittlere Höhe der Außenwandungen				
	Abstand 1 [mm]	Abstand 2 [mm]	Abstand 3 [mm]	Abstand 4 [mm]	Messspanne [mm]
1	249,8	249,9	250,0	249,8	0,2
2	250,1	249,9	250,0	249,7	0,4
3	250,1	249,9	249,8	250,1	0,3
4	250,2	249,9	250,1	249,9	0,3
5	250,1	250,0	250,2	250,1	0,2
6	250,0	250,1	250,2	250,0	0,2

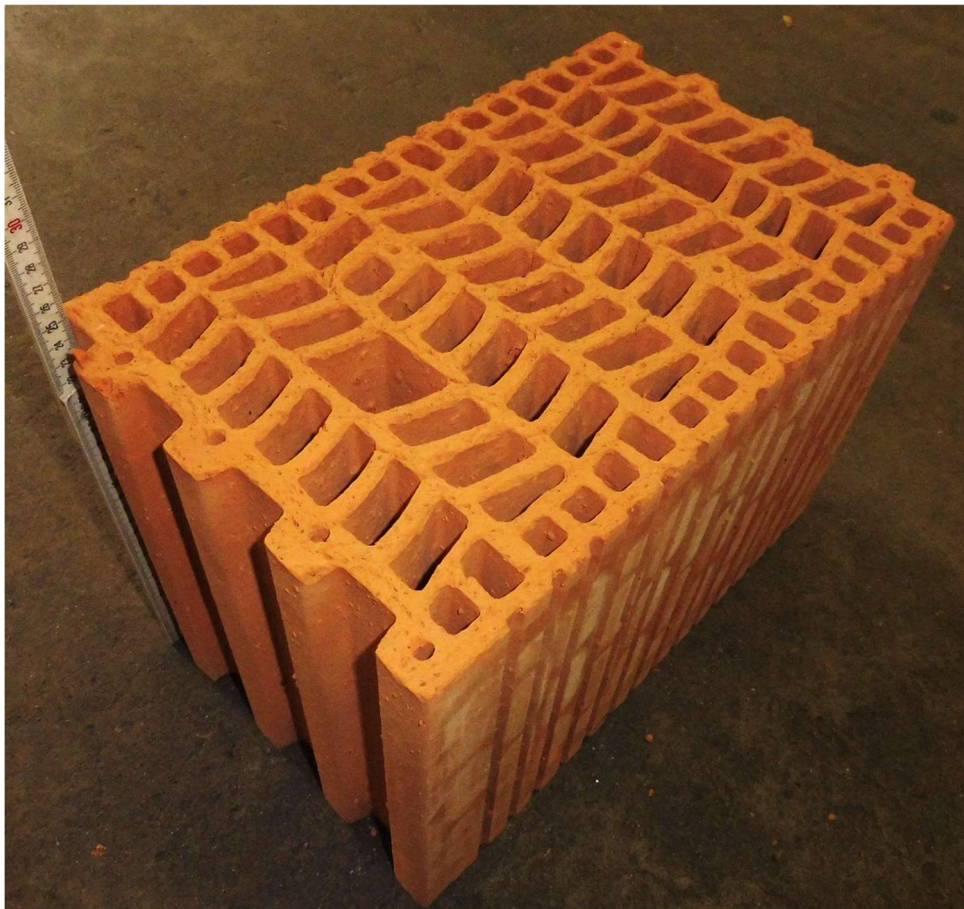


Bild 19: Ansicht des Planziegels T18

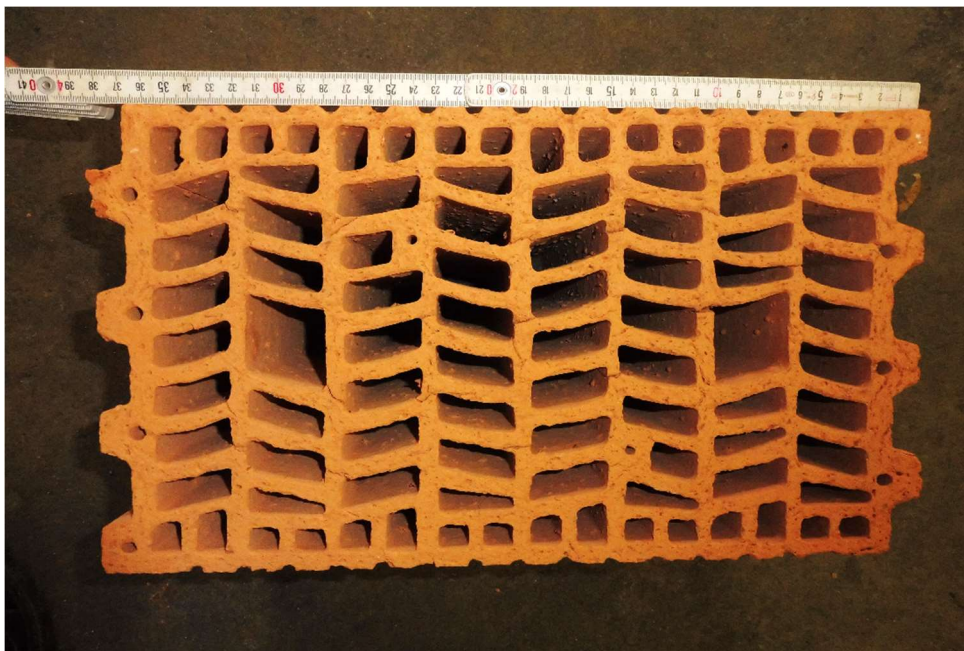


Bild 20: Draufsicht des Planziegels T18

Tabelle 11: Beschreibung des Ziegelquerschnitts des Planziegels T18 mit den Nennabmessungen 373 x 240 x 249 mm<sup>3</sup>

	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]
Maße Ziegelquerschnitt	370,7	235,2	249,6
Maße des größten Lochquerschnitts einschl. Querschnittsfläche	Lochart Rechteck	Maße [mm]: 34,2 x 15,0	Querschnitt = 5,1 cm <sup>2</sup>
Lochanteil <sup>1)</sup>	49,2 %		
Lochreihenzahl	10		
Stegdicke innen	längs [mm]	mittlere 7,8	von - bis 6,3 – 8,6
	quer [mm]	8,3	6,8 – 10,2
Stegdicke außen	längs [mm]	mittlere 9,7	von – bis 8,5 – 10,8
	quer [mm]	11,1	8,5 – 12,5
Summe der Stegdicken quer	minimal [mm/m]	197	
	maximal [mm/m]	403	
Stoßfugenausbildung			
Nut (4 mal)	Nutbreite [mm]	27,4	
	Nuttiefe [mm]	15,9	
Feder (4 mal)	Federbreite [mm]	21,4	
	Federhöhe [mm]	12,2	
<sup>1)</sup> Volumen ermittelt mit dem Auftriebsverfahren			



Tabelle 12: Abmessungen, Ziegelrohddichte, Scherbenrohddichte, Lochanteil und Ziegelfestigkeit von Planziegeln T18

Ziegel Nr. [-]	Abmessungen			Ziegel- rohddichte $\rho_z$ <sup>1)</sup> [kg/dm <sup>3</sup> ]	Scherben- rohddichte $\rho_{Sch}$ <sup>2)</sup> [kg/dm <sup>3</sup> ]	Lochanteil L <sup>3)</sup> [%]	Ziegel- festigkeit $\beta_{ST}$ <sup>4)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]
	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]				
1	370,9	236,8	249,0	0,81	-	-	10,9
2	372,0	236,7	249,0	0,81	-	-	9,8
3	370,7	237,1	249,0	0,81	-	-	10,8
4	370,5	236,4	249,0	0,81	-	-	10,5
5	369,9	236,8	249,1	0,81	-	-	11,2
6	370,4	236,7	249,1	0,81	-	-	11,2
7	370,4	237,0	248,9	-	1,59	49,2	-
8	370,8	236,5	249,0	-	1,59	49,1	-
9	370,6	237,0	249,1	-	1,59	49,1	-
10	370,7	237,4	248,9	-	1,59	49,3	-
11	371,0	236,1	249,2	-	1,60	49,1	-
12	371,3	237,2	249,3	-	1,59	49,3	-
<b>Mittel</b>	-	-	-	<b>0,81</b>	<b>1,59</b>	<b>49,2</b>	<b>10,8</b>

1) ermittelt am Ziegel mit Dämmstoff nach Trocknung bei 105°C bis zur Massenkonstanz  
2) Volumen mit dem Auftriebsverfahren bestimmt (ohne Dämmstoff)  
3)  $L = (1 - \rho_z / \rho_{Sch}) \times 100 \%$  ( $\rho_z$  ohne Dämmstoff)  
4) ohne Anwendung eines Formfaktors

Tabelle 13: Ebenheit und Planparallelität der Lagerflächen von Planziegeln T18

Ebenheit					
Ziegel Nr.	Lagerfläche		Wölbung		Mittelwert [mm]
	[Ort]		Diagonale 1 [mm]	Diagonale 2 [mm]	
1	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
2	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
3	oben		< 0,10	0,15	0,13
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
4	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
5	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
6	oben		< 0,10	< 0,10	< 0,10
	unten		< 0,10	< 0,10	< 0,10
Planparallelität					
Ziegel Nr.	mittlere Höhe der Außenwandungen				
	Abstand 1 [mm]	Abstand 2 [mm]	Abstand 3 [mm]	Abstand 4 [mm]	Messspanne [mm]
1	249,2	249,2	249,1	249,3	0,2
2	249,4	249,1	248,5	248,9	0,9
3	249,2	249,5	249,9	249,4	0,7
4	249,3	249,5	249,2	249,1	0,4
5	249,3	249,2	249,4	249,7	0,5
6	249,2	249,1	249,4	249,3	0,3

7.2 Verwendete Mauermörtel

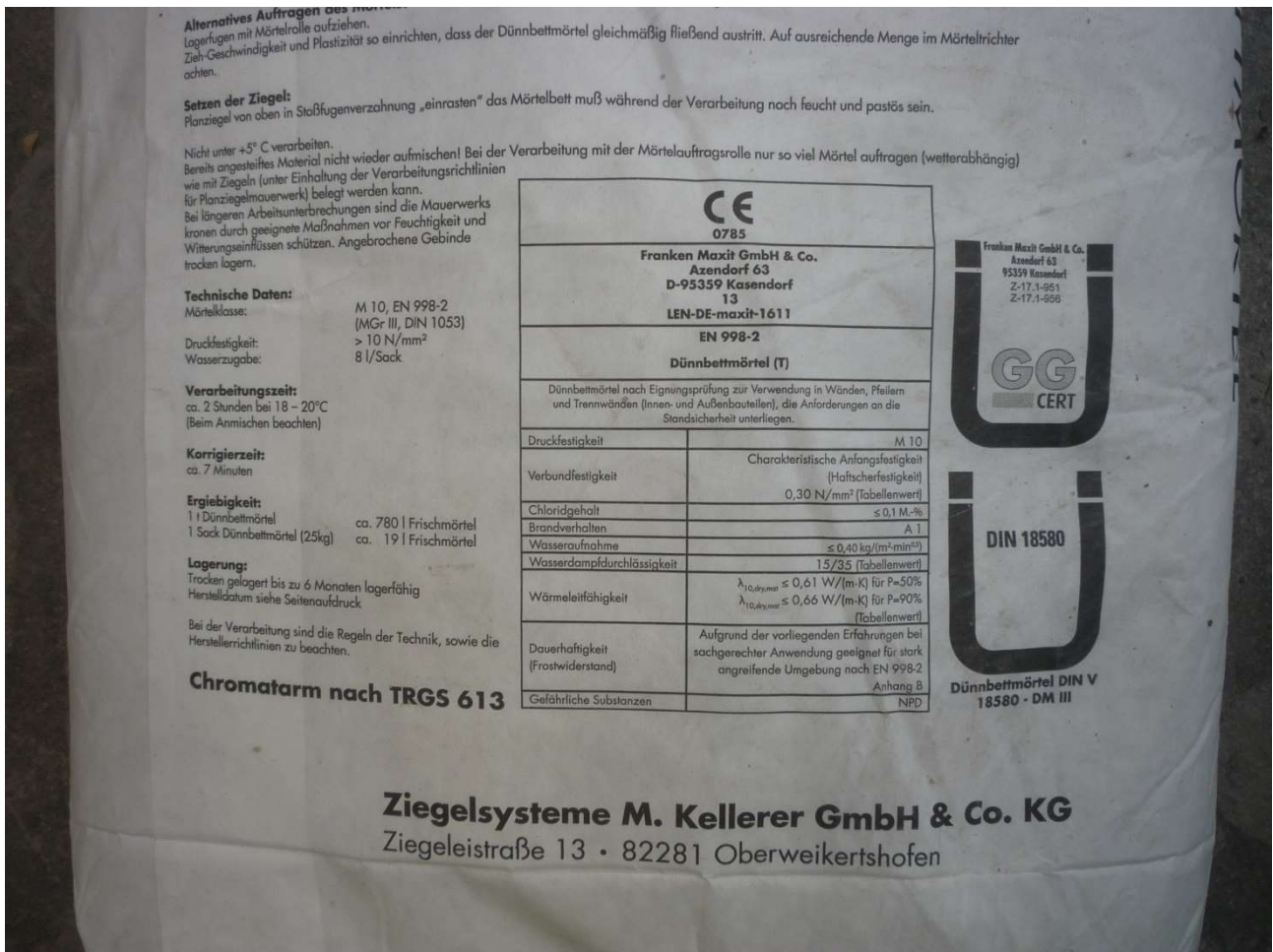


Bild 21: Verwendeter Dünnbettmörtel maxit DBM (T) (mit Ziegeln PHLz B)



Bild 22: Verwendeter Dünnbettmörtel maxit mur 900d (mit Ziegeln PHLz B)



Bild 23: Mörtelauftrag des maxit mur 900d bzw. DBM (T) mit Mörtelschlitten (PlanHLz B)

Tabelle 14: Frisch- und Festmörteleigenschaften des Dünnbettmörtels maxit DBM (T) (Herstelltermin: 19.11.2014, w/m = 0,31, Ziegel Plan HLz B)

Lagerung des Mörtels [-]	Mörtelalter [Tage]	Verwendung für [-]	Ausbreitmaß [mm]	Frischmörtelrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Festmörtelrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Biegezugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
7 d 20/95, dann 21 d 20/65	13	Wandprüfung zentrisch	181	1,63	1,52	4,55	18,9
	13	Wandprüfung doppelt exzentrisch	181	1,63	1,52	4,55	18,9
	28	Güteprüfung	181	1,63	1,50	6,39	20,9
7 d 20/95, 7 d 20/65, 14 d unter Wasser	28	Güteprüfung	181	1,63	1,66	3,42	15,5

Trockenrohddichte: 1,36 kg/dm<sup>3</sup> (Prüfalter 28 Tage, Trocknung bei 70 °C bis zur Massenkonstanz)

Tabelle 15: Frisch- und Festmörteleigenschaften des Dünnbettmörtels maxit mur 900d (Herstell-  
termin: 10.02.2015, w/m = 0,58, Ziegel Plan HLz B)

Lagerung des Mörtels [-]	Mörtel- alter [Tage]	Verwendung für [-]	Ausbreit- maß [mm]	Frischmörtel- rohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Festmörtel- rohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Biegezug- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druck- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
7 d 20/95, dann 21 d 20/65	13	Wandprüfung zentrisch	158	1,24	1,11	2,38	17,8
	13	Wandprüfung doppelt exzentrisch	158	1,24	1,11	2,38	17,8
	28	Güteprüfung	158	1,24	1,07	4,77	18,1
7 d 20/95, 7 d 20/65, 14 d unter Wasser	28	Güteprüfung	158	1,24	1,22	3,28	15,3

Trockenrohddichte: 0,91 kg/dm<sup>3</sup> (Prüfalter 28 Tage, Trocknung bei 70 °C bis zur Massenkonstanz)



Bild 24: Verwendeter Dünnbettmörtel maxit mur 900d (mit Ziegeln TV10)

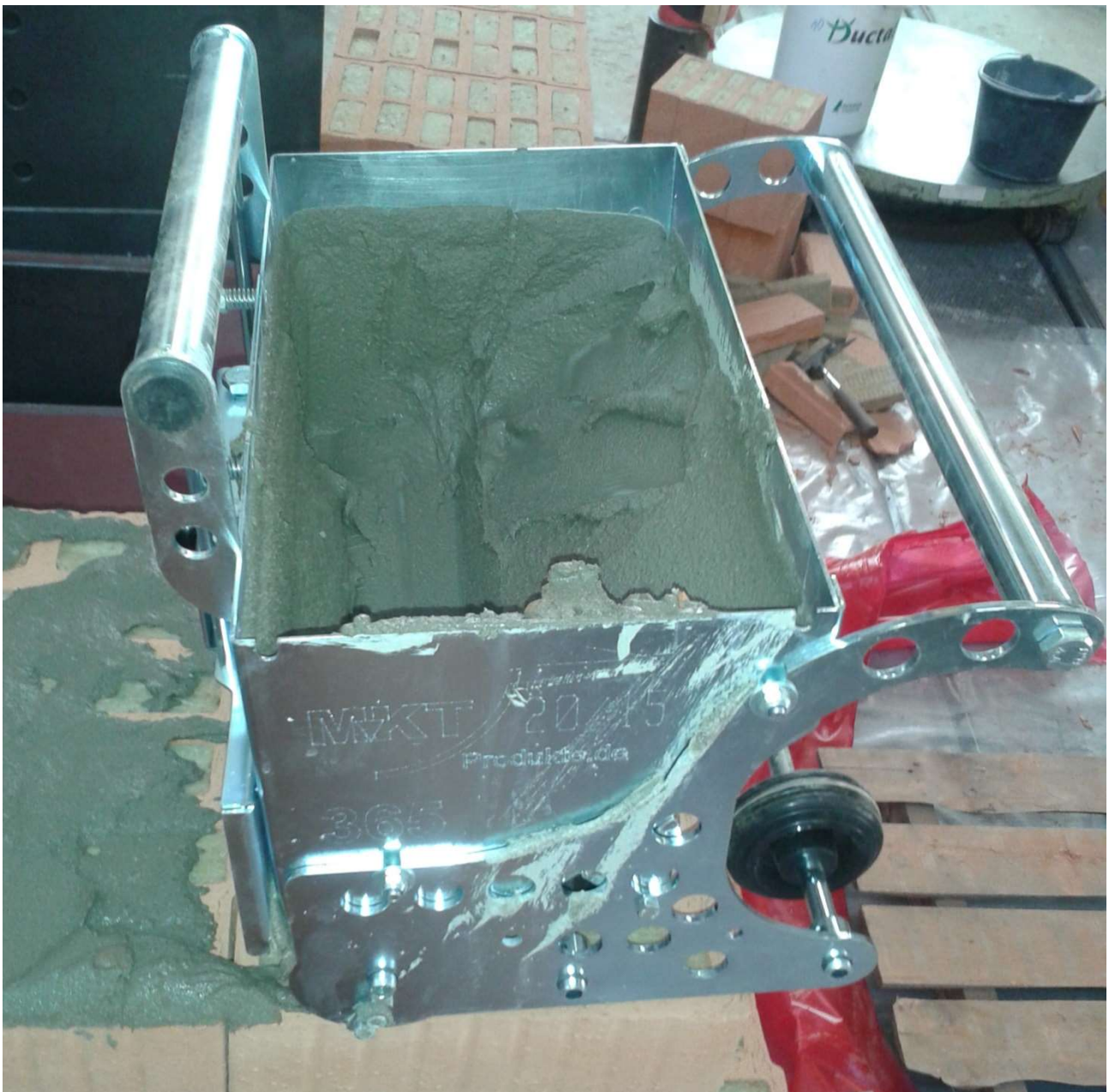


Bild 25: Verarbeitung des Dünnbettmörtels maxit mur 900d mit Mörtelwalze (TV10)

Tabelle 16: Frisch- und Festmörteleigenschaften des Dünnbettmörtels maxit mur 900d (Herstell-  
termin: 16.07.2015, w/m = 0,57, Ziegel TV10)

Lagerung des Mörtels [-]	Mörtel- alter [Tage]	Verwendung für [-]	Ausbreit- maß [mm]	Frischmörtel- rohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Festmörtel- rohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Biegezug- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druck- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
7 d 20/95, dann 21 d 20/65	9	Wandprüfung zentrisch	184	1,19	1,12	1,69	9,9
	13	Wandprüfung doppelt exzentrisch	184	1,19	1,02	2,03	12,1
	28	Güteprüfung	184	1,19	1,00	3,63	13,3
7 d 20/95, 7 d 20/65, 14 d unter Wasser	28	Güteprüfung	184	1,19	1,17	2,69	10,6
Trockenrohddichte: 0,85 kg/dm <sup>3</sup> (Prüfalter 28 Tage, Trocknung bei 70 °C bis zur Massenkonstanz)							

Tabelle 17: Frisch- und Festmörteleigenschaften des Dünnbettmörtels maxit mur 900d (Herstell-  
termin: 18.08.2015, w/m = 0,56, Ziegel TV10)

Lagerung des Mörtels [-]	Mörtel- alter [Tage]	Verwendung für [-]	Ausbreit- maß [mm]	Frischmörtel- rohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Festmörtel- rohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Biegezug- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druck- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
7 d 20/95, dann 21 d 20/65	14	Wandprüfung zentrisch	178	1,17	1,02	2,81	11,7
	13	Wandprüfung doppelt exzentrisch	178	1,17	1,03	1,95	11,2
	28	Güteprüfung	178	1,17	0,97	4,25	12,6
7 d 20/95, 7 d 20/65, 14 d unter Wasser	28	Güteprüfung	178	1,17	1,16	2,56	9,9
Trockenrohddichte: 0,84 kg/dm <sup>3</sup> (Prüfalter 28 Tage, Trocknung bei 70 °C bis zur Massenkonstanz)							



Bild 26: Verwendeter Dünnbettmörtel ZP99 (mit Ziegeln T18)



Bild 27: Mörtelauftrag des Dünnbettmörtels ZP99 mit Mörtelwalze (mit Ziegeln T18)



Tabelle 18: Frisch- und Festmörteleigenschaften des Dünnbettmörtels ZP99 (Herstelltermin: 21.10.2019, w/m = 0,33, Ziegel T18)

Lagerung des Mörtels [-]	Mörtelalter [Tage]	Verwendung für [-]	Ausbreitmaß [mm]	Frischmörtelrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Festmörtelrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Biegezugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
7 d 20/95, dann 21 d 20/65	16	Wandprüfung zentrisch	182	1,72	1,51	5,34	18,5
	28	Güteprüfung	182	1,72	1,49	5,62	19,7
7 d 20/95, 7 d 20/65, 14 d unter Wasser	28	Güteprüfung	182	1,72	1,74	3,83	13,6
Trockenrohddichte: 1,38 kg/dm <sup>3</sup> (Prüfalter 28 Tage, Trocknung bei 70 °C bis zur Massenkonstanz)							

Tabelle 19: Frisch- und Festmörteleigenschaften des Dünnbettmörtels ZP99 (Herstelltermin: 13.11.2019, w/m = 0,33, Ziegel T18)

Lagerung des Mörtels [-]	Mörtelalter [Tage]	Verwendung für [-]	Ausbreitmaß [mm]	Frischmörtelrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Festmörtelrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Biegezugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
7 d 20/95, dann 21 d 20/65	13	Wandprüfung doppelt exzentrisch	186	1,70	1,53	4,14	18,5
	28	Güteprüfung	186	1,70	1,48	5,69	20,7
7 d 20/95, 7 d 20/65, 14 d unter Wasser	28	Güteprüfung	186	1,70	1,71	3,60	14,6
Trockenrohddichte: 1,37 kg/dm <sup>3</sup> (Prüfalter 28 Tage, Trocknung bei 70 °C bis zur Massenkonstanz)							

### 7.3 Ergebnisse zentrischen Wanddruckversuche

#### 7.3.1 PHLz B

Tabelle 20: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln PHLz B (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h)

Bezeichnung	W1-z	W2-z	W6-z
Herstellung	19.11.2014	19.11.2014	10.02.2015
Prüfdatum	01.12.2014	01.12.2014	24.02.2015
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	maxit DBM(T)	maxit DBM(T)	maxit mur 900d
Steganordnung	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg
Wandmaße [mm]:			
Länge	1013	1012	1125
Dicke	240	240	240
Höhe	2527	2528	2520
Knistern Prüfwand	335 kN (1,4 N/mm <sup>2</sup> )	260 kN (1,1 N/mm <sup>2</sup> )	200 kN (0,7 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	580 kN (2,4 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 780 kN (3,2 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten	910 kN (3,7 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 1040 kN (4,3 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten	700 kN (2,6 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 1150 kN (4,3 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in 2. Ziegelreihe von unten
Versagensart	Versagen durch Rissbildung auf Sichtfläche und Abplatzungen der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen und Ausknicken der Außenstege in den unteren drei Ziegelreihen
Bruchlast [kN]	1622	1623	1192
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	5700	5200	3600
Mittel E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	4800		
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	6,7	6,7	4,4
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,9</b>		
<sup>1)</sup> auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet			

Tabelle 21: Mittlere Verformungen (Längsstauchung und Querdehnung) bei der zentrischen Druckprüfung der Wände aus Planziegeln PHLz B und Dünnbettmörtel (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h)

Wand	Laststufe [kN]	Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	mittlere Längsstauchung [mm/m]	mittlere Querdehnung [mm/m]
W1-z (DBM (T))	150	0,6	0,07	± 0,00
	300	1,2	0,19	0,02
	450	1,9	0,34	0,02
	600	2,5	0,45	0,02
	750	3,1	0,60	0,02
W2-z (DBM (T))	150	0,6	0,08	± 0,00
	300	1,2	0,21	± 0,00
	450	1,9	0,35	± 0,00
	600	2,5	0,51	± 0,00
	750	3,1	0,66	± 0,00
W6-z (900d)	150	0,6	0,14	± 0,00
	300	1,2	0,32	± 0,00
	450	1,9	0,50	± 0,00
	600	2,5	0,71	± 0,00
	750	3,1	0,93	± 0,00

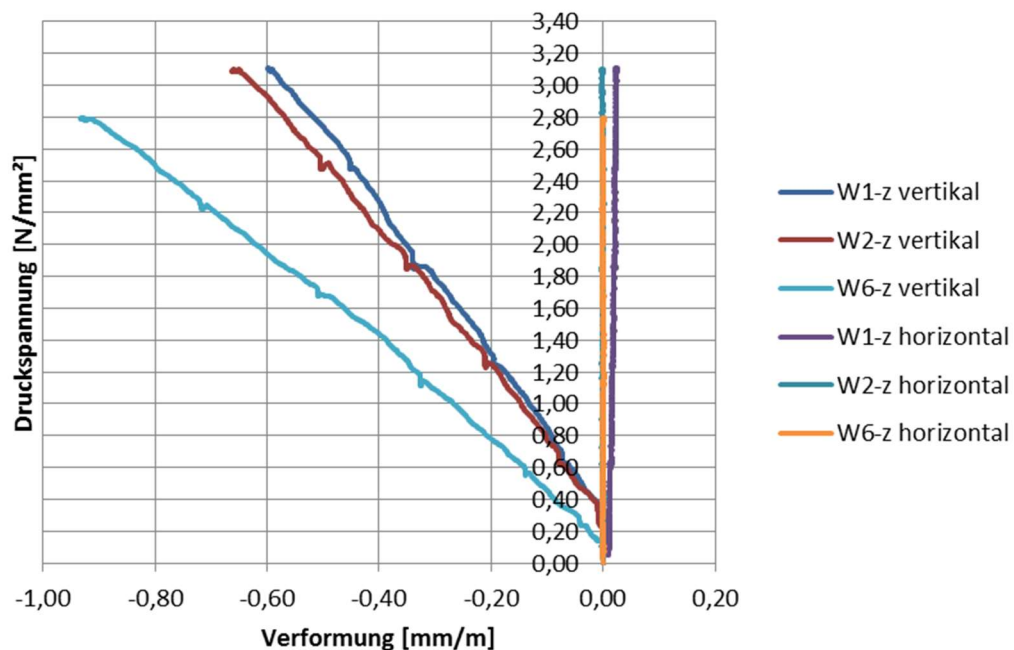


Bild 28: Last-Verformungskennlinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit der Wände aus Planziegeln Kellerer PlanHLz B und Dünnbettmörtel (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h)

Tabelle 22: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln PHLz B (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Loch, Überbindemaß: 0,4h)

Bezeichnung	W3-z	W4-z	W5-z
Herstellung	19.11.2014	10.02.2015	10.02.2015
Prüfdatum	01.12.2014	24.02.2015	24.02.2015
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	maxit DBM(T)	maxit mur 900d	maxit mur 900d
Steganordnung	Steg/Loch	Steg/Loch	Steg/Loch
Wandmaße [mm]:			
Länge	1006	1126	1126
Dicke	240	240	240
Höhe	2526	2516	2517
Knistern Prüfwand	200 kN (0,8 N/mm <sup>2</sup> )	180 kN (0,7 N/mm <sup>2</sup> )	430 kN (1,6 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	740 kN (3,1 N/mm <sup>2</sup> ) kein sichtbarer Riss bis Versagen	350 kN (1,3 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 1000 kN (3,7 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in 4. Ziegelreihe von unten	550 kN (2,0 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 1050 kN (3,9 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in oberster Ziegelreihe
Versagensart	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen und Ausknicken der Außenstege in den unteren drei Ziegelreihen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen und Ausknicken der Außenstege in der 1. und 2. Ziegelreihe von oben
Bruchlast [kN]	1115	1065	1082
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	5700	3900	4600
Mittel E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	4700		
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	4,6	3,9	4,0
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>4,2</b>		
<sup>1)</sup> auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet			

Tabelle 23: Mittlere Verformungen (Längsstauchung und Querdehnung) bei der zentrischen Druckprüfung der Wände aus Planziegeln PHLz B und Dünnbettmörtel (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Loch, Überbindemaß: 0,4h)

Wand	Laststufe [kN]	Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	mittlere Längsstauchung [mm/m]	mittlere Querdehnung [mm/m]
W3-z (DBM (T))	150	0,6	0,08	± 0,00
	300	1,2	0,21	± 0,00
	450	1,9	0,37	± 0,00
	600	2,5	0,52	± 0,00
	750	3,1	0,71	± 0,00
W4-z (900d)	150	0,6	0,11	± 0,00
	300	1,2	0,26	± 0,00
	450	1,9	0,46	± 0,00
	600	2,5	0,64	± 0,00
	750	3,1	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
W5-z (900d)	150	0,6	0,12	± 0,00
	300	1,2	0,24	± 0,00
	450	1,9	0,36	± 0,00
	600	2,5	0,55	± 0,00
	750	3,1	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
- <sup>1)</sup> nicht ermittelt				

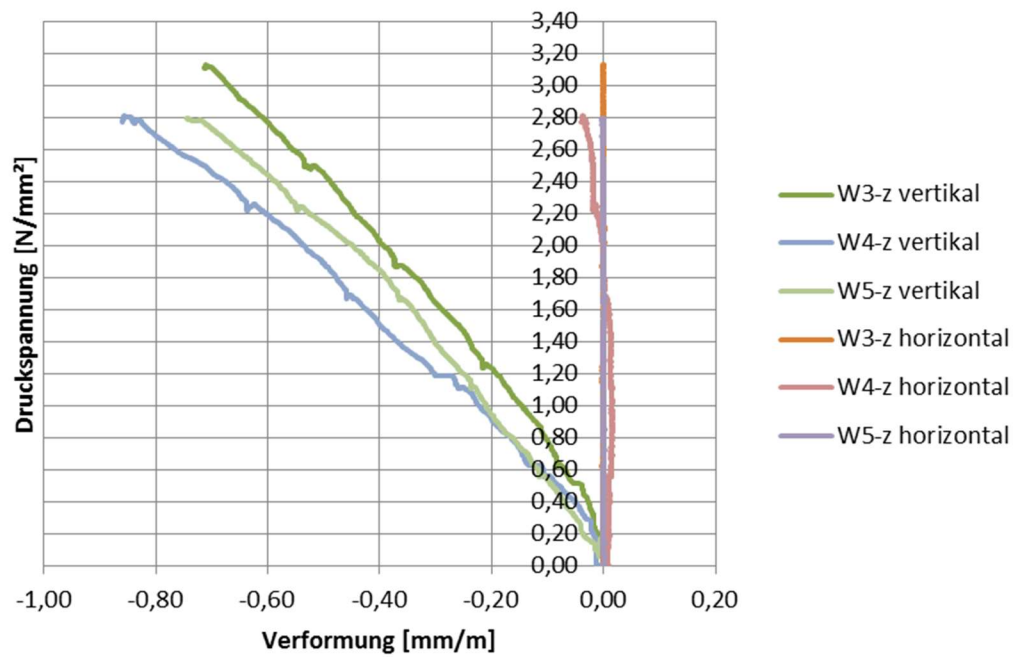


Bild 29: Last-Verformungskennlinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit der Wände aus Planziegeln PHLz B und Dünnbettmörtel (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Loch, Überbindemaß: 0,4h)

Tabelle 24: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche an Mauerwerkspfeylern mit den Ziegeln PHLz B (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h)

Bezeichnung	P1-z	P2-z	P3-z	P4-z
Herstellung	11.10.2018	11.10.2018	11.10.2018	11.10.2018
Prüfdatum	22.10.2018	22.10.2018	22.10.2018	22.10.2018
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	maxit mur 900d	maxit mur 900d	maxit DBM(T)	maxit DBM(T)
Steganordnung	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg
Wandmaße [mm]:				
Länge	745	743	744	744
Dicke	240	240	240	240
Höhe	1777	1777	1776	1776
Knistern Prüfwand	53 kN (0,3 N/mm <sup>2</sup> )	50 kN (0,3 N/mm <sup>2</sup> )	90 kN (0,5 N/mm <sup>2</sup> )	90 kN (0,5 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	252 kN (1,4 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 570 kN (3,2 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in 4.+5. Ziegelreihe von unten	180 kN (1,0 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 870 kN (4,9 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in 3. Ziegelreihe von unten	330 kN (1,8 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 550 kN (3,1 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in 1.+3. Ziegelreihe von oben	425 kN (2,4 N/mm <sup>2</sup> ) Riss bei 740 kN (4,1 N/mm <sup>2</sup> ) auf Stirnfläche in 1. Ziegelreihe von oben
Versagensart	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Stirnflächen und Ausknicken der Außenstege auf Sichtfläche	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Stirnflächen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Stirnflächen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Stirnflächen und Ausknicken der Außenstege auf Sichtfläche
Bruchlast [kN]	895	999	925	926
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	5,0	5,6	5,2	5,2
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,3</b>		<b>5,2</b>	
<b>Mittel gesamt [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,3</b>			
1) auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet				

### 7.3.2 TV10

Tabelle 25: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln TV10 (Steg/Loch, Überbindemaß: 0,4h)

Bezeichnung	W1-z	W2-z	W6-z
Herstellung	16.07.2015	16.07.2015	18.08.2015
Prüfdatum	29.07.2015	29.07.2015	01.09.2015
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	maxit mur 900d	maxit mur 900d	maxit mur 900d
Überbindemaß	0,4h	0,4h	0,4h
Wandmaße [mm]:			
Länge	1135	1141	1134
Dicke	365	365	365
Höhe	2297	2288	2278
Knistern Prüfwand	500 kN (1,2 N/mm <sup>2</sup> )	300 (0,7 N/mm <sup>2</sup> )	450 (1,1 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	1560 kN (3,8 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf beiden Sichtflächen in 2. Steinreihe von oben	1710 kN (4,1 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf einer Sichtfläche in 3. Steinreihe von oben	1250 kN (3,0 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf einer Sichtfläche in 5. Steinreihe von unten
Versagensart	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen und Abplatzungen der Außenstege in den obersten beiden Steinreihen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen und Abplatzungen der Außenstege in den untersten beiden Steinreihen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen
Bruchlast [kN]	2407	2415	1947
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	9700	12100	16000
Mittel E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	12600		
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	5,8	5,8	4,7
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,4</b>		
<sup>1)</sup> auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet			



Tabelle 26: Mittlere Verformungen (Längsstauchung und Querdehnung) bei der zentrischen Druckprüfung der Wände aus Planziegeln TV10 und Dünnbettmörtel maxit mur 900d (Steg/Loch, Überbindemaß 0,4h)

Wand	Laststufe [kN]	Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	mittlere Längsstauchung [mm/m]	mittlere Querdehnung [mm/m]
W1-z	250	0,6	0,02	0,01
	500	1,2	0,11	0,01
	750	1,8	0,20	0,01
	1000	2,4	0,32	0,01
	1250	3,0	0,42	0,01
	1500	3,6	0,55	0,01
W2-z	250	0,6	0,01	± 0,00
	500	1,2	0,06	± 0,00
	750	1,8	0,15	± 0,00
	1000	2,4	0,26	± 0,00
	1250	3,0	0,34	± 0,00
	1500	3,6	0,48	± 0,00
W6-z	250	0,6	0,01	± 0,00
	500	1,2	0,06	± 0,00
	750	1,8	0,14	± 0,00
	1000	2,4	0,25	± 0,00
	1250	3,0	0,52	± 0,00
	1500	3,6	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
- <sup>1)</sup> nicht ermittelt				

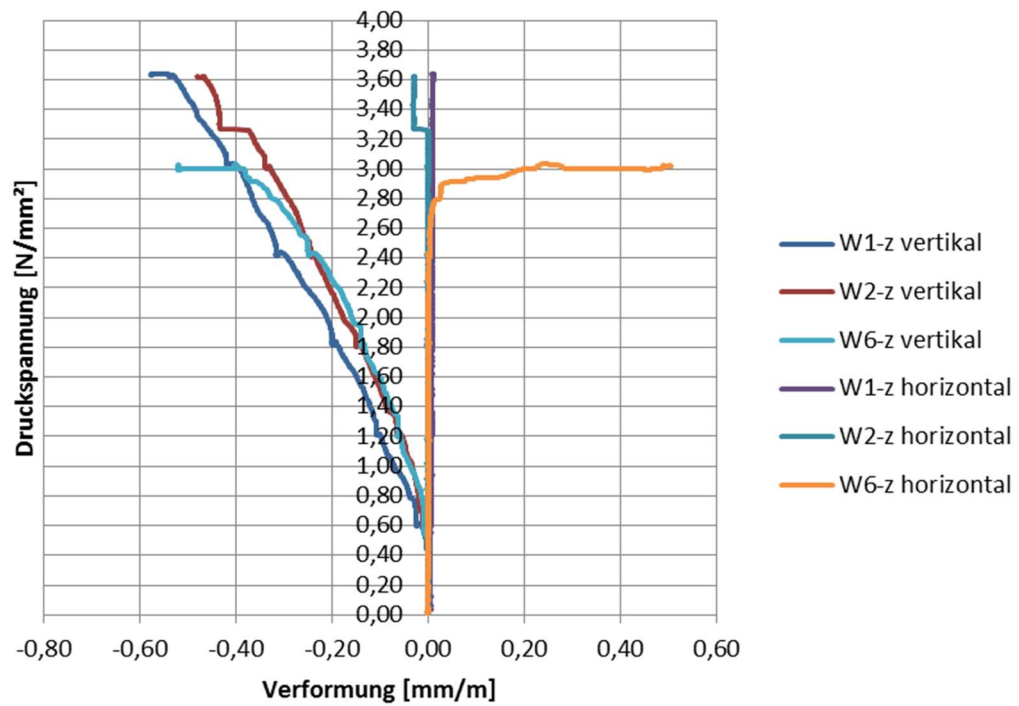


Bild 30: Last-Verformungskennlinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit der Wände aus Planziegeln Thermopor TV10 und Dünnbettmörtel maxit mur 900d (Steg/Loch, Überbindemaß 0,4h)

Tabelle 27: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln TV10 (Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h)

Bezeichnung	W3-z	W4-z	W5-z
Herstellung	16.07.2015	17.08.2015	17.08.2015
Prüfdatum	29.07.2015	01.09.2015	01.09.2015
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	maxit mur 900d	maxit mur 900d	maxit mur 900d
Überbindemaß	0,5h	0,5h	0,5h
Wandmaße [mm]:			
Länge	1112	1108	1110
Dicke	365	365	365
Höhe	2298	2284	2281
Knistern Prüfwand	320 kN (0,8 N/mm <sup>2</sup> )	390 kN (1,0 N/mm <sup>2</sup> )	280 kN (0,7 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	1600 kN (3,9 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf einer Sichtfläche in 1. Steinreihe von unten	1000 kN (2,5 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf einer Sichtfläche in 5. Steinreihe von unten	1250 kN (3,1 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf einer Sichtfläche in 1. Steinreihe von unten
Versagensart	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen und Abplatzungen der Außenstege in den obersten beiden Steinreihen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Stirn- und Sichtflächen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen
Bruchlast [kN]	2379	2092	2429
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	13000	7800	9100
Mittel E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	10000		
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	5,9	5,2	6,0
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,7</b>		
<sup>1)</sup> auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet			

Tabelle 28: Mittlere Verformungen (Längsstauchung und Querdehnung) bei der zentrischen Druckprüfung der Wände aus Plaziegeln TV10 und Dünnbettmörtel maxit mur 900d (Steg/Steg, Überbindemaß 0,5h)

Wand	Laststufe [kN]	Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	mittlere Längsstauchung [mm/m]	mittlere Querdehnung [mm/m]
W3-z	250	0,6	0,01	± 0,00
	500	1,2	0,06	± 0,00
	750	1,8	0,14	± 0,00
	1000	2,4	0,25	± 0,00
	1250	3,0	0,38	± 0,00
	1500	3,6	0,51	± 0,00
W4-z	250	0,6	0,05	± 0,00
	500	1,2	0,14	± 0,00
	750	1,8	0,26	± 0,00
	1000	2,4	0,36	0,01
	1250	3,0	0,51	0,01
	1500	3,6	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
W5-z	250	0,6	0,01	± 0,00
	500	1,2	0,09	± 0,00
	750	1,8	0,21	0,01
	1000	2,4	0,31	0,04
	1250	3,0	0,43	0,07
	1500	3,6	0,57	0,12
- <sup>1)</sup> nicht ermittelt				

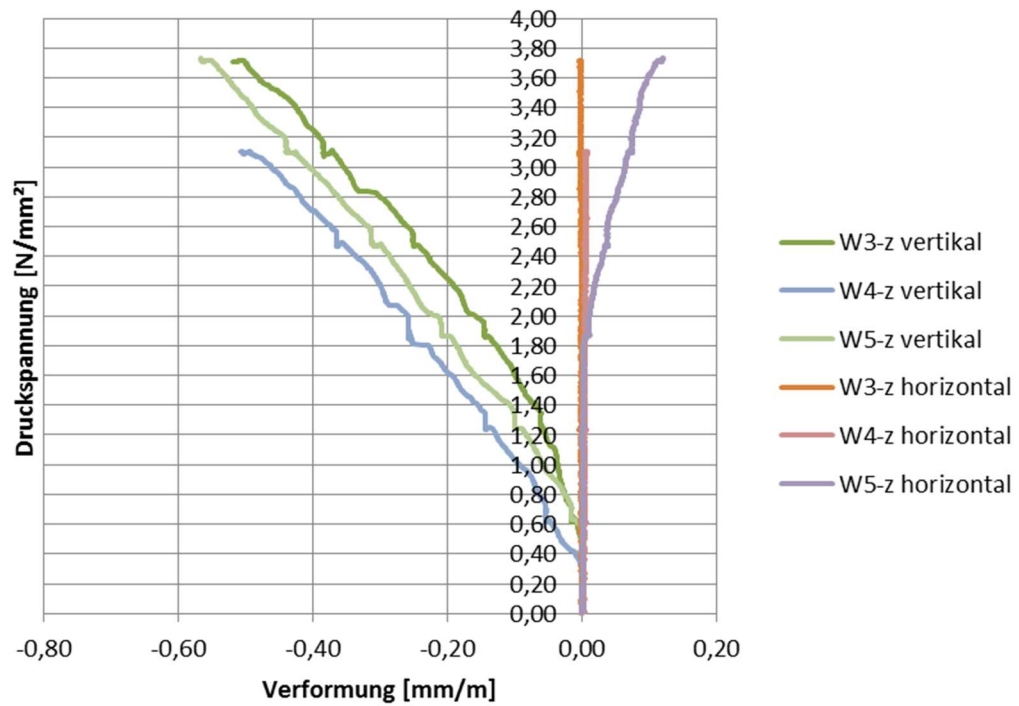


Bild 31: Last-Verformungskennlinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit der Wände aus Planziegeln TV10 und Dünnbettmörtel maxit mur 900d (Steg/Steg, Überbindemaß 0,5h)

### 7.3.3 T18

Tabelle 29: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln T18 und Dünnbettmörtel ZP99 (Steg/Steg, Überbindemaß: 13 cm entspricht 0,52h)

Bezeichnung	W1-z	W2-z	W3-z
Herstellung	21.10.2019	21.10.2019	21.10.2019
Prüfdatum	06.11.2019	06.11.2019	06.11.2019
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99
Überbindemaß	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg
Wandmaße [mm]:			
Länge	987	988	986
Dicke	239	239	239
Höhe	2522	2516	2515
Knistern Prüfwand	200	200	90
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	1210 Riss auf Stirnseite der Prüfwand	1430 Kein sichtbarer Riss bis Versagen	1150 Kein sichtbarer Riss bis Versagen
Versagensart	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen sowie Ausknicken der Außenstege	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen sowie Abplatzungen der Außenstege	Versagen durch Ausknicken der Außenstege
Bruchlast [kN]	1255	1616	1277
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	6100	6500	6000
Mittel E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	6200		
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	5,3	6,8	5,4
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,8</b>		
<sup>1)</sup> auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet			

Tabelle 30: Mittlere Verformungen (Längsstauchung und Querdehnung) bei der zentrischen Druckprüfung der Wände aus Planziegeln T18 und Dünnbettmörtel ZP99 (Steg/Steg, Überbindemaß 13 cm entspricht 0,52h)

Wand	Laststufe [kN]	Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	mittlere Längsstauchung [mm/m]	mittlere Querdehnung [mm/m]
W1-z	200	0,83	0,09	0,01
	400	1,67	0,28	0,01
	600	2,50	0,49	0,01
W2-z	200	0,83	0,06	± 0,00
	400	1,67	0,24	± 0,00
	600	2,50	0,42	± 0,00
W6-z	200	0,83	0,14	± 0,00
	400	1,67	0,29	± 0,00
	600	2,50	0,49	± 0,00

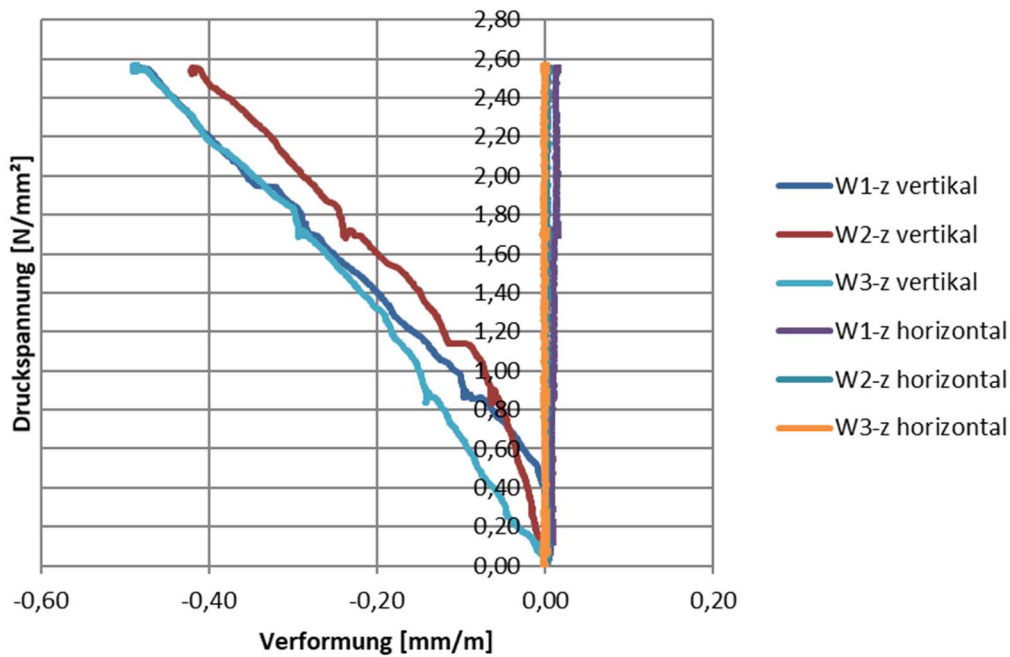


Bild 32: Last-Verformungskennlinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit der Wände aus Planziegeln T18 und Dünnbettmörtel ZP99 (Steg/Steg, Überbindemaß 13 cm entspricht 0,52h)

Tabelle 31: Ergebnisse der zentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln T18 und Dünnbettmörtel ZP99 (Steg/Loch, Überbindemaß: 11 cm entspricht 0,44h)

Bezeichnung	W4-z	W5-z	W6-z
Herstellung	13.11.2019	13.11.2019	13.11.2019
Prüfdatum	25.11.2019	25.11.2019	25.11.2019
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99
Überbindemaß	Steg/Loch	Steg/Loch	Steg/Loch
Wandmaße [mm]:			
Länge	1000	997	1002
Dicke	239	239	239
Höhe	2517	2522	2524
Knistern Prüfwand	90	70	70
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	1250 Riss auf Sichtfläche eine Ziegels	1400 Riss auf Stirnfläche in zweiter Ziegelreihe von oben	1350 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von oben
Versagensart	Versagen durch Abscheren einer überstehenden Steinhälfte	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen sowie Abplatzungen der Außenstege	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen
Bruchlast [kN]	1316	1419	1354
E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	10800	5800	7200
Mittel E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	7900		
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	5,5	5,9	5,6
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>5,7</b>		
<sup>1)</sup> auf ganze 100 N/mm <sup>2</sup> gerundet			



Tabelle 32: Mittlere Verformungen (Längsstauchung und Querdehnung) bei der zentrischen Druckprüfung der Wände aus Planziegeln T18 und Dünnbettmörtel ZP99 (Steg/Loch, Überbindemaß 11 cm entspricht 0,44h)

Wand	Laststufe [kN]	Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	mittlere Längsstauchung [mm/m]	mittlere Querdehnung [mm/m]
W3-z	200	0,83	0,05	± 0,00
	400	1,67	0,15	± 0,00
	600	2,50	0,36	± 0,00
W4-z	200	0,83	0,09	± 0,00
	400	1,67	0,28	± 0,00
	600	2,50	0,47	± 0,00
W5-z	200	0,83	0,08	± 0,00
	400	1,67	0,23	± 0,00
	600	2,50	0,43	± 0,00

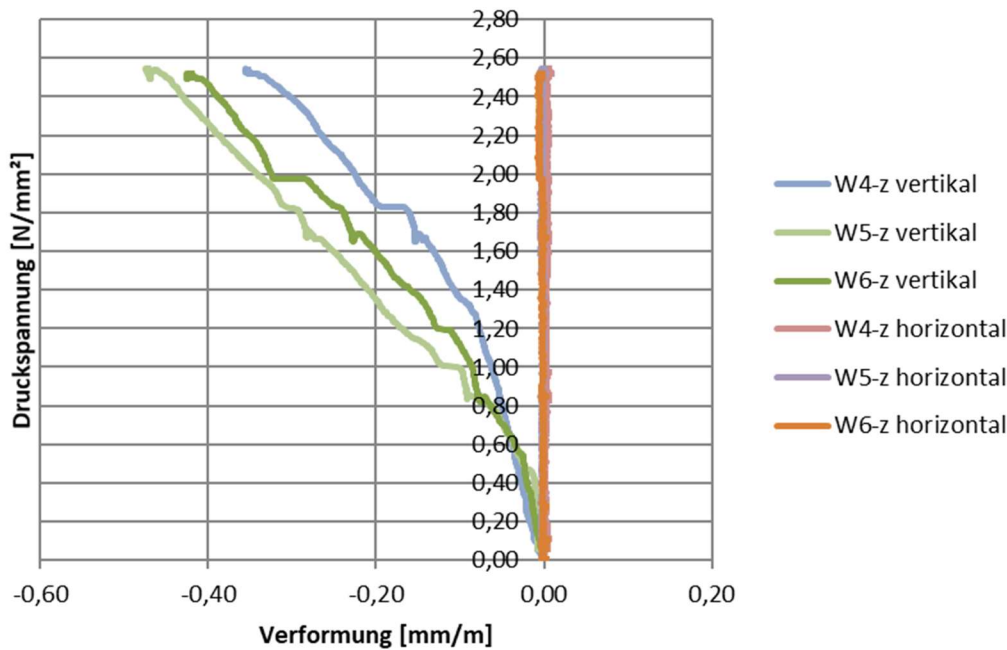


Bild 33: Last-Verformungskennlinien bei der Ermittlung der zentrischen Druckfestigkeit der Wände aus Planziegeln T18 und Dünnbettmörtel ZP99 (Steg/Loch, Überbindemaß 11 cm entspricht 0,44h)

## 7.4 Ergebnisse doppelt exzentrischen Wanddruckversuche

### 7.4.1 PlanHLz B

Tabelle 33: Ergebnisse der doppelt exzentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln PHLz B (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h, Exzentrizität  $e = d/6$  bezogen auf Wandschwerachse)

Bezeichnung	W1-ez	W2-ez	W3-ez	W7-ez
Herstellung	19.11.2014	19.11.2014	19.11.2014	10.02.2015
Prüfdatum	02.12.2014	02.12.2014	03.12.2014	24.02.2015
Träger	Träger 1	Träger 2	Träger 2	Träger 2
Mörtel	maxit DBM(T)	maxit DBM(T)	maxit DBM(T)	maxit mur 900d
Steganordnung	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg
Wandmaße [mm]:				
Länge	1013	1012	1011	1126
Dicke	240	240	240	240
Höhe	2525	2528	2526	2518
Knistern Prüfwand	330 kN (1,4 N/mm <sup>2</sup> )	380 kN (1,6 N/mm <sup>2</sup> )	700 kN (2,9 N/mm <sup>2</sup> )	290 kN (1,1 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	590 kN (2,4 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten	710 kN (2,9 N/mm <sup>2</sup> ) kein sichtbarer Riss bis Versagen	760 kN (3,1 N/mm <sup>2</sup> ) kein sichtbarer Riss bis Versagen	500 kN (1,9 N/mm <sup>2</sup> ) kein sichtbarer Riss bis Versagen
Versagensart	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in den untersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen
Bruchlast [kN]	1103	1187	1013	1061
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	4,5	4,9	4,2	3,9
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>4,4</b>			

Tabelle 34: Ergebnisse der doppelt exzentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln PHLz B (Anordnung der Ziegel beim Vermauern: Steg/Loch, Überbindemaß: 0,5h, Exzentrizität  $e = d/6$  bezogen auf Wandschwerachse)

Bezeichnung	W4-ez	W5-ez	W6-ez
Herstellung	19.11.2014	10.02.2015	10.02.2015
Prüfdatum	03.12.2014	23.02.2015	23.02.2015
Träger	Träger 2	Träger 2	Träger 2
Mörtel	maxit DBM(T)	maxit mur 900d	maxit mur 900d
Steganordnung	Steg/Loch	Steg/Loch	Steg/Loch
Wandmaße [mm]:			
Länge	1007	1125	1122
Dicke	240	240	240
Höhe	2525	2518	2515
Knistern Prüfwand	250 kN (1,0 N/mm <sup>2</sup> )	95 kN (0,4 N/mm <sup>2</sup> )	90 kN (0,3 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	480 kN (2,0 N/mm <sup>2</sup> ) kein sichtbarer Riss bis Versagen	390 kN (1,4 N/mm <sup>2</sup> ) kein sichtbarer Riss bis Versagen	180 kN (0,7 N/mm <sup>2</sup> ) bei 850 kN (3,2 N/mm <sup>2</sup> ) Ausknicken von Außenstegen in 2. und 3. Ziegelschicht von unten
Versagensart	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in den untersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch Ausknicken der Außenstege in der 2. und 3. Ziegelreihe von unten	Versagen durch vertikale Rissbildung auf Sicht- und Stirnflächen sowie Ausknicken der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen
Bruchlast [kN]	959	869	929
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	4,0	3,2	3,5
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>3,6</b>		

### 7.4.2 TV10

Tabelle 35: Ergebnisse der doppelt exzentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln TV10 (Steg/Loch, Überbindemaß: 0,4h, Exzentrizität  $e = d/6$  bezogen auf Wandschwerachse)

Bezeichnung	W2-ez	W3-ez	W6-ez
Herstellung	20.07.2015	20.07.2015	18.08.2015
Prüfdatum	30.07.2015	31.07.2015	31.08.2015
Träger	Träger 2	Träger 2	Träger 2
Mörtel	maxit mur 900d	maxit mur 900d	maxit mur 900d
Steganordnung	0,4h	0,4h	0,4h
Wandmaße [mm]:			
Länge	1135	1137	1226
Dicke	365	365	365
Höhe	2289	2288	2282
Knistern Prüfwand	220 kN (0,5 N/mm <sup>2</sup> )	230 kN (0,6 N/mm <sup>2</sup> )	380 kN (0,8 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	1200 kN (2,9 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in 2. Ziegelreihe von oben	1040 kN (2,5 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in 6. Ziegelreihe von unten	1650 kN (3,7 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in 3. Ziegelreihe von oben
Versagensart	Versagen durch vertikale Rissbildung auf den Stirnflächen und Abplatzungen der Ziegelaußen-schale	Versagen durch vertikale Rissbildung auf den Stirnflächen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf den Stirn- und Sichtflächen
Bruchlast [kN]	1333	1226	1716
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	3,2	3,0	4,2
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>3,5</b>		

Tabelle 36: Ergebnisse der doppelt exzentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln TV10 (Steg/Steg, Überbindemaß: 0,5h, Exzentrizität  $e = d/6$  bezogen auf Wandschwerachse)

Bezeichnung	W1-ez	W4-ez	W5-ez
Herstellung	20.07.2015	17.08.2015	17.08.2015
Prüfdatum	30.07.2015	31.08.2015	31.08.2015
Träger	Träger 2	Träger 2	Träger 2
Mörtel	maxit mur 900d	maxit mur 900d	maxit mur 900d
Steganordnung	0,5h	0,5h	0,5h
Wandmaße [mm]:			
Länge	1117	1107	1107
Dicke	365	365	365
Höhe	2283	2283	2287
Knistern Prüfwand	200 kN (0,5 N/mm <sup>2</sup> )	100 kN (0,2 N/mm <sup>2</sup> )	180 kN (0,4 N/mm <sup>2</sup> )
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	1750 kN (4,3 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in 3. Ziegelreihe von unten	1590 kN (3,9 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in 3. Ziegelreihe von oben	1490 kN (3,7 N/mm <sup>2</sup> ) mit Riss auf Stirnfläche in 2. Ziegelreihe von oben
Versagensart	Versagen durch Aufspalten der Prüfwand über die Stirnflächen. Wand ist zerplatzt.	Versagen durch vertikale Rissbildung auf den Stirn- und Sichtflächen	Versagen durch vertikale Rissbildung auf den Stirn- und Sichtflächen
Bruchlast [kN]	1820	1845	1615
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	4,5	4,6	4,0
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>4,4</b>		

### 7.4.3 T18

Tabelle 37: Ergebnisse der doppelt exzentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln TV10 (Steg/Steg, Überbindemaß: 13 cm entspricht 0,52h, Exzentrizität  $e = d/6$  bezogen auf Wandschwerachse)

Bezeichnung	W1-ez	W2-ez	W3-ez
Herstellung	21.10.2019	21.10.2019	21.10.2019
Prüfdatum	07.11.2019	07.11.2019	07.11.2019
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99
Steganordnung	Steg/Steg	Steg/Steg	Steg/Steg
Wandmaße [mm]:			
Länge	995	982	981
Dicke	239	239	239
Höhe	2516	2516	2517
Knistern Prüfwand	95	80	69
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	800 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten	425 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten	800 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten
Versagensart	Versagen durch Rissbildung auf der Stirnfläche von Lasteinleitung zu Lasteinleitung	Versagen durch Rissbildung auf der Stirnfläche von Lasteinleitung zu Lasteinleitung sowie Ausknicken der Außenstege in unterster Ziegelreihe	Versagen durch Rissbildung auf der Stirnfläche sowie Abplatzungen der Außenstege in unterster Ziegelreihe
Bruchlast [kN]	867	595	841
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	3,6	2,5	3,6
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>3,3</b>		

Tabelle 38: Ergebnisse der doppelt exzentrischen Wanddruckversuche mit den Ziegeln T18 (Steg/Loch, Überbindemaß 11 cm entspricht 0,44h, Exzentrizität  $e = d/6$  bezogen auf Wandschwerachse)

Bezeichnung	W4-ez	W5-ez	W6-ez
Herstellung	13.11.2019	13.11.2019	13.11.2019
Prüfdatum	26.11.2019	26.11.2019	26.11.2019
Träger	Träger 1	Träger 1	Träger 1
Mörtel	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99	Baumit ZP 99
Steganordnung	Steg/Loch	Steg/Loch	Steg/Loch
Wandmaße [mm]:			
Länge	1003	1002	1001
Dicke	239	239	239
Höhe	2526	2520	2520
Knistern Prüfwand	65	60	85
deutliche Bruchgeräusche bzw. sichtbare Risse an Prüfwand	840 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten	800 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von oben	380 Riss auf Stirnfläche in erster Ziegelreihe von unten
Versagensart	Versagen durch Rissbildung auf der Stirnfläche von	Versagen durch Rissbildung auf der Stirnfläche sowie Ausknicken der Außenstege in den obersten beiden Ziegelreihen	Versagen durch Rissbildung auf der Stirnfläche von Lasteinleitung zu Lasteinleitung
Bruchlast [kN]	883	820	610
Bruchspannung [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	3,7	3,4	2,6
<b>Mittel [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>3,2</b>		