

Bewertung der Tragfähigkeit von Befestigungen im Mauerwerk durch Baustellenversuche

T 3370

T 3370

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0334-1

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

www.baufachinformation.de

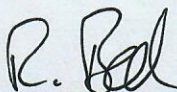
Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben
Bewertung der Tragfähigkeit von Befestigungen im Mauerwerk
durch Baustellenversuche
DIBT – P 52-5-8.36-2003/16



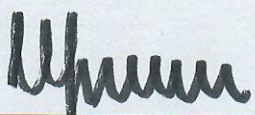
Kontakt: Florian Wendel
www.massivbau-kl.de
Datum: 25.04.2018



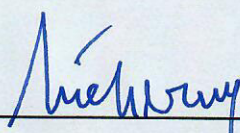
Dr.-Ing. Catherina Thiele



Dipl.-Ing. Rainer Becker



Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann



Dr.-Ing. Karl-Heinz Lieberum

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Literatur	2
3	Vorgehensweise	3
3.1	Allgemeines	3
3.2	Versuchsprogramm	3
3.3	Verwendete Materialien.....	4
3.4	Versuchsdurchführung	6
3.4.1	Round Robin Tests	6
3.4.2	Referenzversuche	9
3.4.3	Stufentests	12
3.4.4	Versuche mit reduzierter Abstützbreite ($< 3h_{ef}$)	14
4	V Versuchsergebnisse	16
4.1	Referenzversuche	16
4.2	Stufentests.....	16
4.3	Versuche mit reduzierter Abstützbreite	20
5	Versuchsauswertung	24
5.1	Ermittlung einer möglichen Vorschädigung – Bewertung der Stufentests	24
5.1.1	Vergleich der Bruchlasten	24
5.1.2	Vergleich der Verformungszunahme	27
5.1.3	Fazit aus den Stufentests.....	48
5.2	Einfluss der Abstützbreite der Versuchseinrichtung - α_{dist}	49
6	Teilsicherheitskonzept	53
6.1	Allgemeines	53
6.2	Teilsicherheitsbeiwerte für Verankerungen in Mauerwerk	54
6.3	Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes aufgrund von Probelastungen	55
6.4	Zusammenfassung	58
7	Danksagung	59
8	Anhänge	60
8.1	Referenzversuche	60
8.1.1	Ziegel.....	60
8.1.2	Kalksandstein.....	70

8.1.3	Leichtbeton.....	78
8.2	Stufentests.....	86
8.2.1	Ziegel.....	86
8.2.2	Kalksandstein.....	104
8.2.3	Leichtbeton.....	120
8.3	Versuche mit reduzierter Abstützbreite	136
8.3.1	Ziegel.....	136
8.3.2	Kalksandstein.....	146
8.3.3	Leichtbeton.....	154

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Mit Einführung von ETAG 029 [1] werden Verbunddübel in Mauerwerk europäisch geregelt. Im Gegensatz zu den alten, davor gültigen, nationalen Zulassungen, werden keine Gruppen von Untergründen mit entsprechenden Lastklassen (Kalksandsteine, Vollziegel, Betonsteine, etc.) mehr in den Zulassungen genannt, sondern es werden zugehörig zu den jeweiligen Steinen die charakteristischen Tragfähigkeiten definiert. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Steinformate, Lochbilder, Materialien und Festigkeitsklassen kann eine solche Zulassung nicht alle auf dem Markt erhältlichen Steine enthalten.

Aus diesem Grund sieht ETAG 029 im Anhang B Baustellenversuche vor Ort vor. Deren Anwendung ist sowohl für Bestandsbauten als auch für Neubauten vorgesehen. Mit Zugversuchen am Bauwerk können für die vorhandenen Steine (Material, Lochbild, Festigkeit...) charakteristische Tragfähigkeiten bestimmt werden. Basis sind immer die Tragfähigkeiten eines vergleichbaren Referenzsteins aus der Zulassung. Dazu sind in ETAG 029 sowohl Auszugsversuche als auch Probelastungen beschrieben. Die Auszugsversuche werden bis zum Versagen gefahren, während bei den Probelastungen nur eine Grenzlasterlast aufgebracht wird. Bei der Umsetzung in die Praxis zeigte sich, dass die Vorgaben von ETAG 029 [1] in Anhang B noch um detaillierte Informationen zu den folgenden Punkten ergänzt werden sollten:

- Wiederverwendung der belasteten Dübel für die endgültige Befestigung
- Angaben zum Teilsicherheitsbeiwert
- Personal und Versuchsdurchführung

In einem Arbeitskreis des DIBt wurden zu den oben genannten Punkten Hinweise erarbeitet, die in der Technischen Regel „Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau für Injektionsankersysteme im Mauerwerk mit ETA nach ETAG 029 bzw. nach EAD 330076-00-0604“ [2] eingeflossen sind. Folgende Fragestellungen konnten im Arbeitskreis nicht abschließend geklärt werden und sollten in einem Forschungsvorhaben bearbeitet werden:

- Klärung der Vorschädigung eines Injektionsankers durch die Probelastung
- Einfluss der Abstützbreite im Baustellenversuch
- Anpassung des Teilsicherheitsbeiwertes

1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Aus der Literatur sind den Bearbeitern keine Verfahren bekannt, die es erlauben, eine Vorschädigung aus den üblichen Eignungsversuchen im Mauerwerk zu erkennen. Von einer Vorschädigung kann ausgegangen werden, wenn das Lastniveau ohne Vorschädigung/Vorbelastung bei einer Zweitbelastung nicht mehr erreicht werden kann. Das Lastniveau, das eine Vorschädigung bewirkt, ist ebenfalls nicht bekannt. Ziel ist es deshalb, durch eine ausgewählte Belastungsabfolge das Lastniveau, bei dem eine Vorschädigung eintritt, erkennbar zu machen.

Derzeit wird zur Vermeidung einer Vorschädigung in der o. g. Technischen Regel [2] der Beiwert α_{Probe} berücksichtigt. Dieser wird wie folgt definiert:

α_{Probe}	=	Faktor zur Vermeidung einer Vorschädigung Für Verankerungsgrund ausschließlich aus Vollziegeln oder HLZ nach DIN 105 [9], [10] mit (ungefüllter) Lochung A oder B (keine Leichtziegel mit dünnen Stegen) der Steifigkeitsklasse 8 oder höher einschließlich alter handgefertigter Ziegel (vergleichbar mit Steifigkeitsklasse 8-15), Kalksandvollsteinen nach DIN 106 [12], Mörtel mindestens Mörtelgruppe I nach DIN 1053-1:1996-11 [7] oder Mörtelklasse M1 nach DIN EN 998-2:2010-12 [8]: $\alpha_{\text{Probe}} = 0,75$ Für alle anderen Verankerungsgründe: $\alpha_{\text{Probe}} = 0,50$
-------------------------	---	--

Abbildung 1-1: Definition von α_{Probe} aus [2]

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, diese konservativ gewählten Faktoren zu verifizieren und gegebenenfalls für unterschiedliche Steine neu zu definieren.

Aus praktischen Gründen der Versuchsdurchführung auf der Baustelle wurde im Arbeitskreis der Wunsch geäußert, die Abstützbreite des Baustellenprüfgerätes so klein wie möglich zu wählen. Der Einfluss der Abstützbreite sollte deshalb zusätzlich in Vergleichsversuchen mit unterschiedlichen Abstützbreiten ermittelt werden. Ziel ist es, einen zusätzlichen Faktor zu definieren, der den Einfluss der gewählten Abstützbreite im Versuch auf die Tragfähigkeit bei weiter Abstützung ($> 3h_{\text{ef}}$) berücksichtigt.

Der Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite betragen $\gamma_M = 2,5$ (Ziegel-, Kalksandsteine und Betonsteine) und $\gamma_M = 2,0$ für Porenbeton. Im Forschungsvorhaben sollen die einzelnen Anteile, die zu diesen Werten führen, betrachtet und für die Situation der Baustellenversuche angepasst werden. Basierend auf Ausführungen zum Bauen im Bestand können modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte Anwendung finden. Ausgangsbasis ist hierbei, dass die tatsächlichen Eigenschaften des Mauerwerksuntergrundes bekannt sind und in den Baustellenversuchen mitgeprüft werden.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen schließlich in eine neue Version der oben genannten Technischen Regel [2] aufgenommen werden.

2 Literatur

- [1] ETAG 029: Guideline for European Technical Approval of Metal Injection anchors for use in Masonry, Edition April 2013.
- [2] Mitteilung des DIBt, Technische Regel, Referat I2 Befestigungs- und Bewehrungstechnik, Treppen, Technische Regel, Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bau für Injektionsankersysteme im Mauerwerk mit ETA nach ETAG 029 bzw. nach EAD 330076-00-0604, Dezember 2016
- [3] DIN EN 1990:2010-12; Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010
- [4] Steland, Ansgar (2004): Mathematische Grundlagen der empirischen Forschung, Springer-Verlag

3 Vorgehensweise

3.1 Allgemeines

Um die Einflüsse aus der Herstellung der Steine und der Montage berücksichtigen zu können, wurden Versuche (keine FE-Simulationen) durchgeführt. Da es im Rahmen eines solchen Forschungsvorhabens nicht praktikabel ist, alle Einflussgrößen und deren wechselseitige Überlagerung zu untersuchen, beschränkte sich das Versuchsprogramm auf unterschiedliche Steingeometrien/Lochbilder/Untergrundmaterialien. Es wurden dabei drei unterschiedliche Mörtel von drei Herstellern verwendet.

Die Ergebnisse der Versuche sollen die Fragestellungen zur Vorschädigung und zum Einfluss der Abstützbreite beantworten.

Die Anpassung des Teilsicherheitsbeiwertes erfolgt durch theoretische Überlegungen.

3.2 Versuchsprogramm

Für das Forschungsvorhaben wurden die in Tabelle 3-1 dargestellten Versuche in den Verankerungsgründen Ziegel-, Leichtbeton- und Kalksandsteinen durchgeführt. In jedem Untergrundmaterial wurden vier verschiedene Steintypen untersucht. Es kamen je ein Vollstein und drei Lochsteine zum Einsatz, welche sich in der Anzahl der durch die Verankerung aktivierten Stege unterschieden.

In jedem Stein wurden zunächst drei Auszugversuche als Referenzversuche mit weiter Abstützung durchgeführt (Ref). In Analogie zum Beton wurde die weite Abstützung mit $a_{\text{dist}} \geq 3h_{\text{ef}}$ gewählt. Mit Versuchen mit einer engeren Abstützung (Bau) wurde der Einfluss einer geringeren Abstützbreite $a_{\text{dist,Bau}}$ untersucht.

Durch sogenannte Stufentests wurden Erkenntnisse über eine Vorschädigung durch eine Vorbelastung gewonnen. Hierbei wurde die Befestigung basierend auf den jeweils durchgeführten Referenzversuchen in mehreren Laststufen bis zum Versagen belastet. Die Laststufen betragen dabei: 25 %, 50 %, 60 % mit anschließenden 5 %-Schritten bezogen auf die mittlere Bruchlast aus den Referenzversuchen. Jede Laststufe wurde fünfmal auf die Verankerung aufgebracht.

Allen genannten Versuchen wurde eine Vergleichs-Versuchsserie (Round Robin Tests) vorangestellt. Diese wurden wie die Stufentests durchgeführt. Dazu wurde in allen Prüflaboren der identische Verankerungsgrund (KS-Vollstein) und das gleiche Injektionsankersystem verwendet.

Tabelle 3-1: Versuchsprogramm

Versuche	Anzahl	Beschreibung	Angaben zu den Versuchen
Round Robin	5	Versuche mit zyklischer Belastung	weite Abstützung 5 Zyklen je Laststufe (25, 50, 60, 5%-Schritte bis zum Versagen) Frequenz: 0,1 Hz
Ref	3	Referenzversuche	weite Abstützung, Belastung bis Versagen
Stufentest	5	Versuche mit zyklischer Belastung	weite Abstützung, 5 Zyklen je Laststufe (25, 50, 60, 5%-Schritte bis zum Versagen), Frequenz: 0,1 Hz
Bau	3	Baustellenversuche	Abstand der drei Punkte (150 mm), Belastung bis Versagen

3.3 Verwendete Materialien

Exemplarisch wurden die 3 wichtigsten Steinmaterialien Ziegel, Kalksand und Leichtbeton für die Versuche ausgewählt. Für jedes Untergrundmaterial wurden 4 typische Steine definiert. Auswahlkriterium war hierfür das Lochbild der Steine. Ziel war es, abhängig von der Verankerungstiefe Steine zu finden, bei denen in einem, in zwei und in drei oder mehr Stegen verankert werden konnte. Zusätzlich wurde jeweils ein Stein aus Vollmaterial ausgewählt. Eine Übersicht über die in den Versuchen verwendeten Steine geben Tabelle 3-2 bis Tabelle 3-4.

Tabelle 3-2: Verwendete Ziegelsteine

Steintyp	Vollziegel - 2DF	Plan-T12 - viele Stege	T8 - ohne MW - 2 Stege	PFZ-T24 - 1 Steg
Hersteller [-]	Wienerberger GmbH	Wienerberger GmbH	Wienerberger GmbH	Wienerberger GmbH
Zulassungsnummer [-]	-	Z-17.1-877	Z-17.1-1041	Z-17.1-537
Länge [mm]	238,7	306,0	241,5	376,9
Breite [mm]	114,9	240,7	237,9	242,5
Höhe [mm]	112,4	249,0	248,8	249,3
Bruttotrockenrohdichte [kg/m³]	1806	627	643	679
Anzahl Stege [-]	-	7	2	1
Stegdicke innen [mm]	-	3,5	17,1	-
Stegdicke außen [mm]	-	8,4	17,7	29,2
Stegdicke gesamt [mm]	-	29,4	34,8	29,2
Dübelgröße [-]	M10	M10	M10	M10
h_{ef} [mm]	80	80	80	80
mittlere Druckfestigkeit [N/mm²]	46,6	11,6	8,5	10,7
Formfaktor d [-]	1,02	1,17	1,17	1,16
normierte Druckfestigkeit f_b [N/mm]	47,5	13,5	9,9	12,5

Tabelle 3-3: Verwendete Kalksandsteine

Steintyp	Vollstein	KSL 8DF - 1 Steg/ 2Stege	KS 8DF - 3 Stege
Hersteller [-]		Ruhrbaustoffwerke GmbH	Ruhrbaustoffwerke GmbH
Zulassungsnummer [-]	-	-	-
Länge [mm]	500	248,4	249,1
Breite [mm]	500	239,1	239,4
Höhe [mm]	180	248,3	238,0
Bruttotrockenrohdichte [kg/m³]	1829	1340	1550
Anzahl Stege [-]	-	4	4
Stegdicke innen [mm]	-	24,18	19,14
Stegdicke außen [mm]	-	21,97	20,95/102,40
Stegdicke gesamt [mm]	-	92,30	161,63
Dübelgröße [-]	M10	M10	M10
h_{ef} [mm]	50	85 / 130	130
mittlere Druckfestigkeit [N/mm²]	33,27	22,69	17,68
Formfaktor d [-]	1	1,11	1,12
normierte Druckfestigkeit f_b [N/mm²]	33,3	25,2	19,9

Tabelle 3-4: Verwendete Leichtbetonsteine

Steintyp	Vollstein - 2DF	viele Stege	2 Stege	1 Steg
Hersteller [-]	Knobel Betonwerk GmbH	Bisotherm	Knobel Betonwerk GmbH	Knobel Betonwerk GmbH
Zulassungsnummer [-]	-	Z-17.1-1003	DIN V 18153; EN 771-3	DIN 18151; EN 771-3
Länge [mm]	240,2	246,0	371,4	496,4
Breite [mm]	115,6	364,4	240	240,8
Höhe [mm]	114,4	248,3	235,3	236,7
Bruttotrockenrohdichte [kg/m³]	1116,9	645	1208	679,8
Anzahl Stege [-]	-	3	2	1
Stegdicke innen [mm]	-	30,8	20,26	-
Stegdicke außen [mm]	-	35,53	30,23	51,24
Stegdicke gesamt [mm]	-	74,03	50,49	51,24
Dübelgröße [-]	M10	M10	M10	M10
h_{ef} [mm]	50	85	110	85
mittlere Druckfestigkeit [N/mm²]	9,99	1,81	12,44	3,44
Formfaktor d [-]	1,034	1,156	1,152	1,153
normierte Druckfestigkeit f_b [N/mm²]	10,3	2,1	14,3	4,0

In den unterschiedlichen Untergründen wurde jeweils mit einem anderen Mörtelsystem geprüft. Die entsprechende Zuordnung zum Untergrund und den Prüflaboren ist in Tabelle 3-5 zusammengefasst.

Tabelle 3-5: Zuordnung Untergrund/Mörtelsystem/Prüflabor

Untergrund	Mörtelsystem	Prüflabor
Ziegel	Hilti HY 270	TU Kaiserslautern
Kalksandstein	Fischer FIS V	fobatec
Leichtbeton	Würth WIT-VM 300	Uni Stuttgart

Als Siebhülsen und Gewindestangen wurden die standardmäßig in den Zulassungen angegebenen Produkte verwendet.

3.4 Versuchsdurchführung

3.4.1 Round Robin Tests

3.4.1.1 Versuchsaufbauten

3.4.1.1.1 TU Kaiserslautern

Für die Durchführung der Round Robin Tests wurden ein hydraulischer Zylinder mit einem Kraftaufnehmer sowie zwei Wegaufnehmern verwendet. Der Zylinder stützte dabei in einem Durchmesser von $a_{\text{dist}} = 400$ mm auf drei Punkten auf dem Einzelstein ab. Basierend auf dem Mittelwert der Referenzversuche (16 kN) wurden die Laststufen 25 %, 50 %, 60 % und anschließend in 5 %-Schritten bis zum Versagen angefahren. In jeder Laststufe wurde die maximale Last fünfmal erreicht. Ein Lastzyklus innerhalb einer Laststufe wurde mit einer Frequenz von 0,1 Hz durchgeführt.

3.4.1.1.2 Uni Stuttgart

Als erstes wurde ein Abstützring (Abbildung 3-1) mit dem Durchgangsloch von 350 mm auf die Steinfläche gelegt. Es wurde darauf geachtet, dass die Achse des Hydraulikzylinders in der Dübelachse lag. Die Last wurde durch ein Anbauteil und einem darüber angebrachten Gelenkauge in den Dübel eingeleitet. Die Wegaufnehmer wurden in einer Traverse oberhalb des Anbauteiles befestigt und die Dübelverschiebung wurde an den gegenüberliegenden Seiten der Dübel erfasst.

Gemessen wurden während der Versuche die Kraft, der Kolbenweg, die Dübelverschiebung und die Zeit. Die Messsignale wurden mit einem Spider8 vorverstärkt und die Messdatenaufnahme erfolgte mit der Datenerfassungssoftware DIAdem.

Laut Versuchsprogramm wurden 5 Versuche, mit 5 Zyklen je Laststufe (25, 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 %) und 10 s pro Zyklus Belastungsdauer durchgeführt.

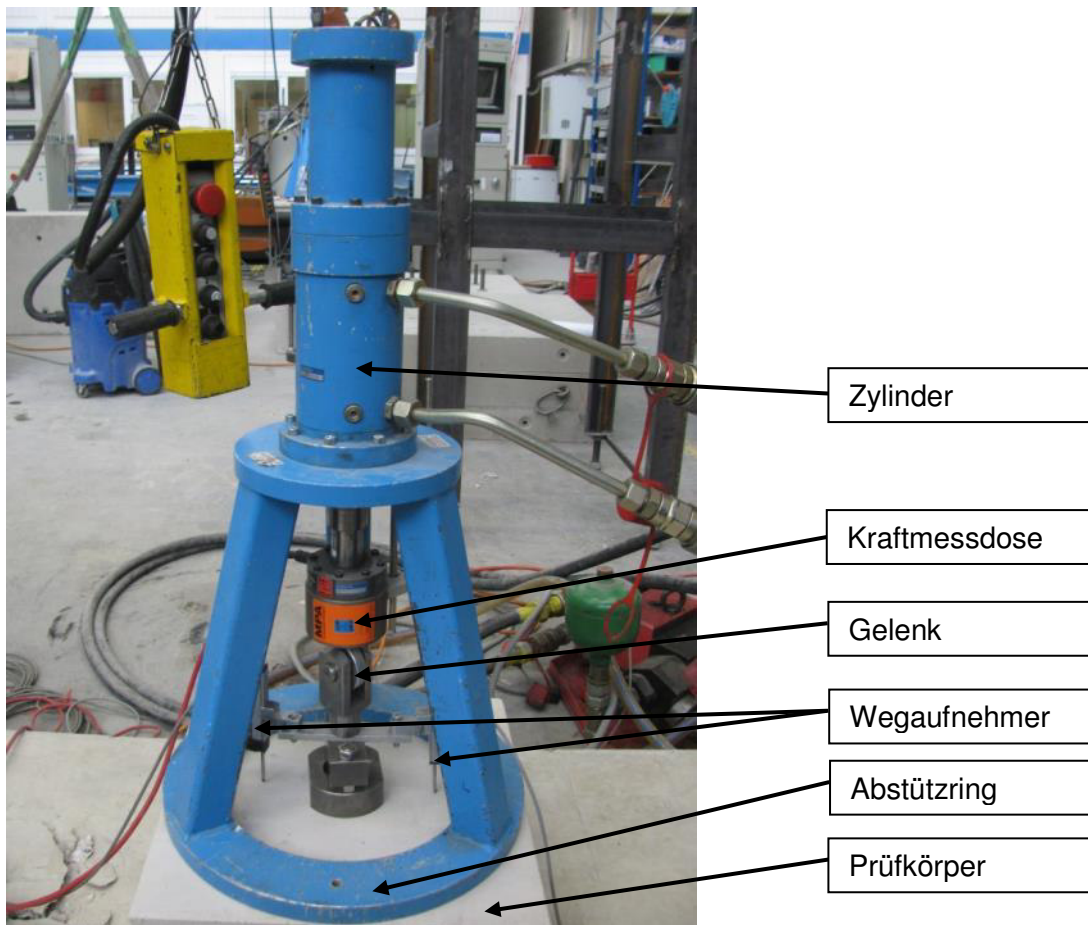


Abbildung 3-1 Belastungseinrichtung für Round Robin versuche (Uni Stuttgart)

3.4.1.1.3 Fobatec

Die Round Robin Versuche im Kalksandstein wurden mit einem servohydraulischen Prüfzylinder durchgeführt, der sich mit einem Durchmesser von $a_{\text{dist}} = 450 \text{ mm}$ ringförmig auf dem Einzelstein abstützte. Über eine gelenkig angeschlossene Kraftmessdose (Messbereich 100 kN) und einen Stabwegaufnehmer (Messbereich 2 mm), der zentrisch über dem Injektionsanker positioniert war, wurden Kraft und Verformung gemessen. Vor den Stufentests wurde durch eine Referenzversuchsreihe ein Mittelwert der aufnehmbaren Belastung von 16 kN ermittelt. Dieser wurde als Basis für die Laststufen gewählt. Mit einer Frequenz von 0,1 Hz wurden jeweils fünf Zyklen in den Laststufen 25 %, 50 %, 60 % und fortlaufend in 5 % Schritten durchlaufen. Das Minimum eines Zyklus bildete hierbei immer die Laststufe 10 %.

3.4.1.2 Versuchsergebnisse der Round Robin Tests

Tabelle 3-6 fasst die Ergebnisse der Round Robin Tests aller drei Institute zusammen. Es werden die Versagenslasten und die erreichten Laststufen aller Tests aufgezeigt.

Tabelle 3-6: Versagenslasten Round Robin Tests

Test Nr.	TU KL		fobatec		Uni Stuttgart	
	Versagenslast [kN]	Laststufe	Versagenslast [kN]	Laststufe	Versagenslast [kN]	Laststufe
1	14,3	90%	16	100%	17,5	110%
2	16,4	105%	16	100%	16,8	105%
3	16,2	100%	16	100%	16,6	105%
4	15,3	95%	15,3	95%/100%	17,5	110%
5	16,0	100%	16	100%	20,6	130%
Mittelwert	15,6		15,9		17,8	
Stand.abw.	0,86		0,31		1,62	
Streuung	5,5%		2,0%		9,1%	
5%-Fraktil	12,7		14,8		12,3	

3.4.1.3 Schlussfolgerung zu den Round Robin Tests

In den Referenzversuchen lag das Lastniveau im Mittel bei 16 kN bei einem Variationskoeffizienten von etwa 9 %. Alle Ergebnisse der drei beteiligten Prüfinstitute liegen in einem vergleichbaren Lastbereich und innerhalb eines Streubandes. Es kann daher gefolgert werden, dass die Prüfaufbauten der drei Institute zu vergleichbaren und reproduzierbaren Ergebnissen führen. Weitere Versuche unter gleichen Randbedingungen an verschiedenen Instituten wurden daher nicht durchgeführt.

3.4.2 Referenzversuche

3.4.2.1 TU Kaiserslautern

Die Referenzversuche in den Ziegelsteinen wurden im Mauerwerksverband in Testwänden mit den Abmessungen 1,7 m x 1,5 m mit einer vertikalen Auflast von $0,2 \text{ N/mm}^2$ durchgeführt (Abbildung 3-2). In allen vier Steintypen wurde eine Einbindetiefe von $h_{\text{ef}} = 80 \text{ mm}$ gewählt. Somit ergab sich eine Abstützbreite von $a_{\text{dist}} = 4 h_{\text{ef}} = 320 \text{ mm}$, die mit einer Dreipunktstützung realisiert wurde. Für die Kraft- und Wegmessung kamen je ein Kraft- und ein Wegaufnehmer zum Einsatz.



Abbildung 3-2: Aufbau Referenzversuche TU Kaiserslautern

3.4.2.2 Uni Stuttgart

Bei diesen Versuchen wurde eine seitliche Vorspannung von $0,2 \text{ N/mm}^2$ angestrebt. Die aufgebrachte Vorspannung wurde vor Versuchsbeginn mit einer Kraftmessdose zwischen den Abspannungsplatten gemessen, um ein entsprechendes Montagedrehmoment des Spannbolzens zu ermitteln.

Der einzelne Stein wurde zwischen zwei Metallplatten (Abbildung 3-3) eingespannt, wobei eine Platte zur Abspannung mit dem Spannboden nicht fest verbunden war.

Um die Unebenheiten der Prüfkörper auszugleichen, wurden zwischen dem Stein und der Stahlplatte auf beiden Seiten dünne Gummimatten verwendet. Nach der Einspannung des Steines wurde der Dübel mit der Ausziehvorrichtung verbunden und belastet.



Metallplatten mit
Antirutsch-
gummimatte

Abbildung 3-3 Detail der Versuchseinrichtung (Metallplatten zur Abspannung)

Für die Zugversuche wurde der Dübel direkt über eine Muffenverbindung an die Ausziehvorrichtung (Abbildung 3-4) angeschlossen. Die Messung der Dübelverschiebung erfolgte über zwei an der Gewindestange angebrachte Wegaufnehmer. Die Kraft wurde mit einer Kraftmessdose gemessen. Die Last und die Dübelverschiebung wurden mit dem Mess- und Auswertungsprogramm DIAdem kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Die Last wurde mit einem Hydraulikzylinder aufgebracht, in welchem das Öl kontinuierlich eingepumpt wurde. Somit wurden die Versuche annähernd weggesteuert durchgeführt.

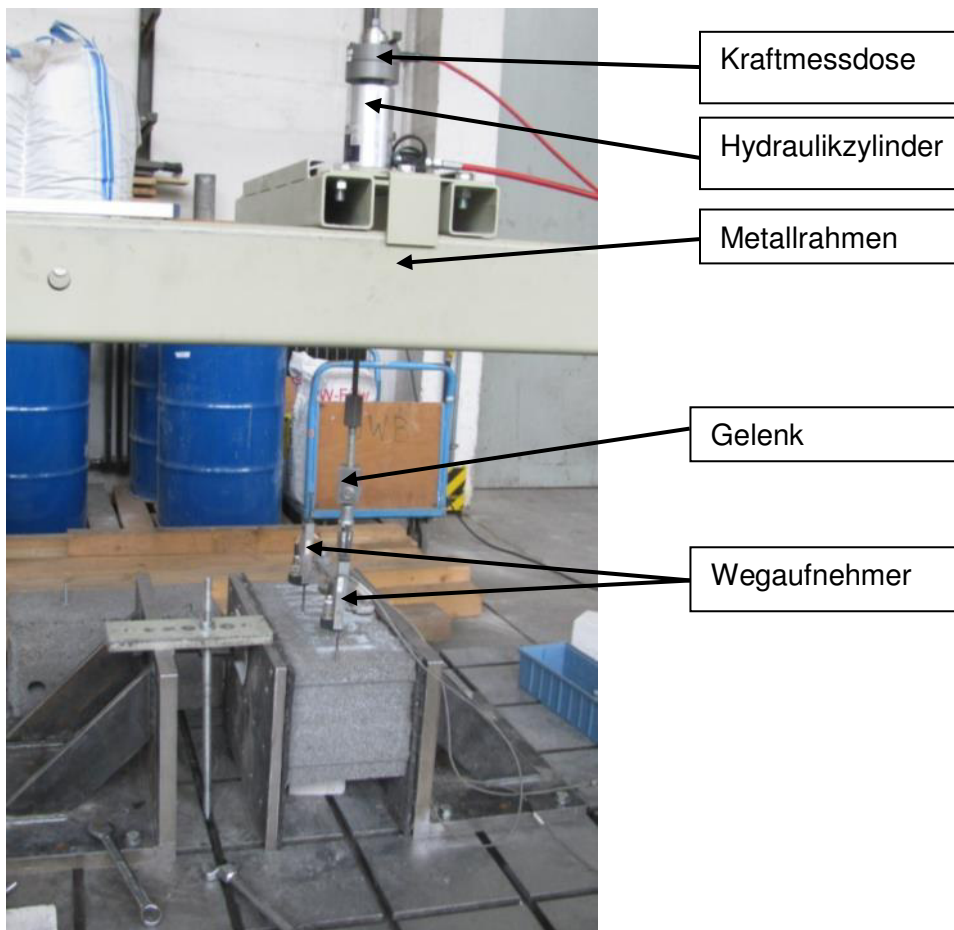


Abbildung 3-4 Ausziehvorrichtung für die Referenzversuche

3.4.2.3 fobatec

Die Referenzversuche im Kalksandstein wurden für den Vollstein als Einzelsteinversuche und für den Lochstein im Mauerwerksverband geprüft, die für die Versuche mit einer Druckspannung von $0,2 \text{ N/mm}^2$ vorgespannt war. Für die Referenzversuche im Vollstein wurde ringförmig mit einem Durchmesser von $a_{\text{dist}} = 450 \text{ mm}$ abgestützt, während die Versuche im Lochstein mit einer Drei-Punktstützung außerhalb des geprüften Steins durchgeführt wurden. Die aufgebrachte Last wurde durch eine 100 kN Kraftmessdose gemessen, welche gelenkig mit dem Prüfzylinder verbunden war. Ein weiteres Gelenk wurde zwischen der Adaption mit dem Verbunddübel und der Verbindung zur Kraftmessdose angebracht. Die Messung der Dübel-Verformung erfolgte zentrisch über dem Injektionsanker mithilfe eines 2 mm Stabwegaufnehmer.



Abbildung 3-5 Aufbau Referenzversuche fobatec

3.4.3 Stufentests

3.4.3.1 TU Kaiserslautern

Die Stufentests wurden ebenso wie die Referenzversuche im Mauerwerksverband in Testwänden mit den Abmessungen 1,7 m x 1,5 m mit einer vertikalen Auflast von 0,2 N/mm² durchgeführt. Um die Last auf die Verankerung zu bringen, wurde ein Hydraulikzylinder mit einem Kraftaufnehmer verwendet. Zur Wegmessung kam ein Wegaufnehmer zum Einsatz. Der Versuchsaufbau der Referenzversuche wird in Abbildung 3-6 dargestellt.



Abbildung 3-6: Aufbau Stufentests TU Kaiserslautern

3.4.3.2 Uni Stuttgart

Als erstes wurde ein Abstüttring (Abbildung 3-7) mit dem richtigen Durchgangsloch (350/300/240mm) auf die Steinfläche gelegt. Es wurde darauf geachtet, dass die Achse des Hydraulikzylinders in der Dübelachse lag. Anschließend wurde ein zweiachsiges Gelenkauge mit dem Kolben verbunden und die Last wurde durch das Anbauteil in den Dübel eingeleitet. Die Wegaufnehmer wurden in einer Traverse oberhalb des Anbauteiles befestigt und die Dübelverschiebung wurde an den gegenüberliegenden Seiten der Dübel gemessen.

Erfasst wurden während der Versuche die jeweils die Kraft, der Kolbenweg, die Dübelverschiebung und die Zeit. Die Messsignale wurden mit einem Spider8 vorverstärkt und die Messdatenaufnahme erfolgte mit der Datenerfassungssoftware DIAdem.

Die Vollstein-Prüfkörper wurden mithilfe von zwei Stahlträgern seitlich vorgespannt (Abbildung 3-8).

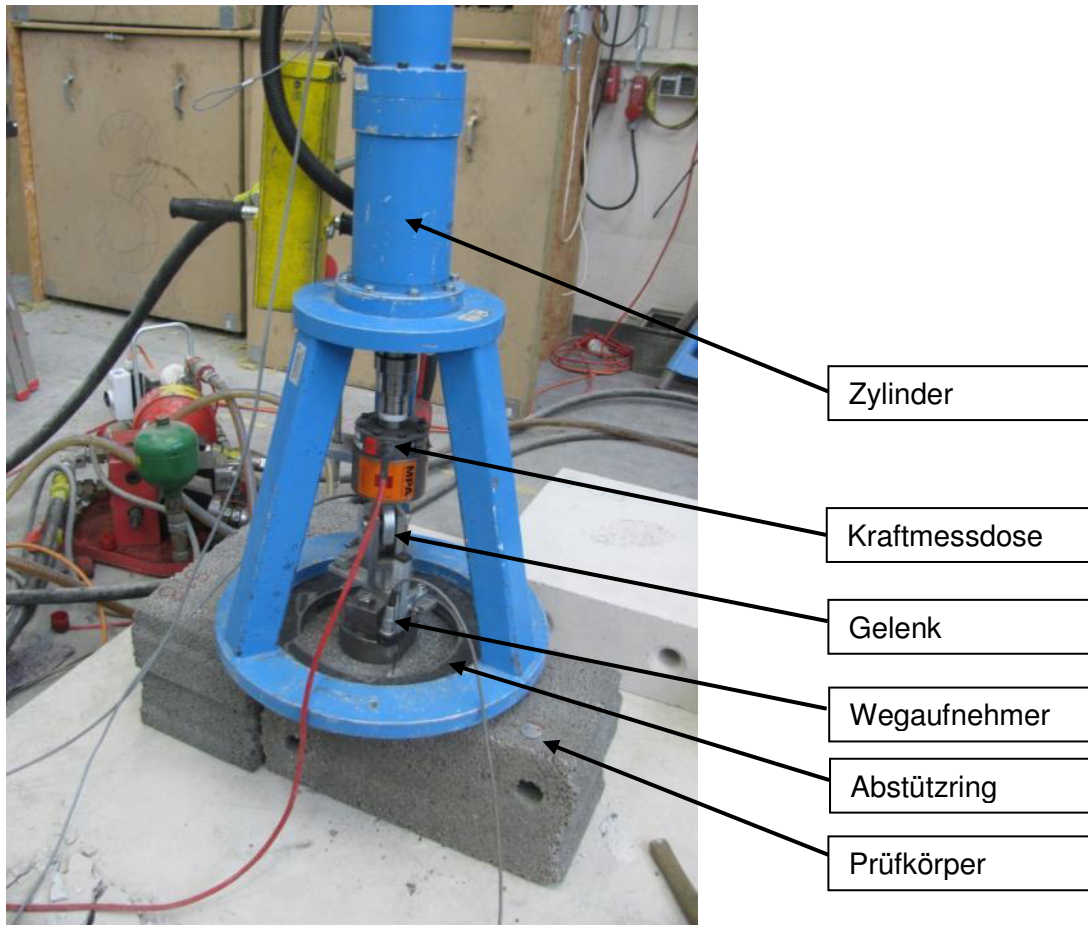


Abbildung 3-7 Belastungseinrichtung für Stufentests (Uni Stuttgart)

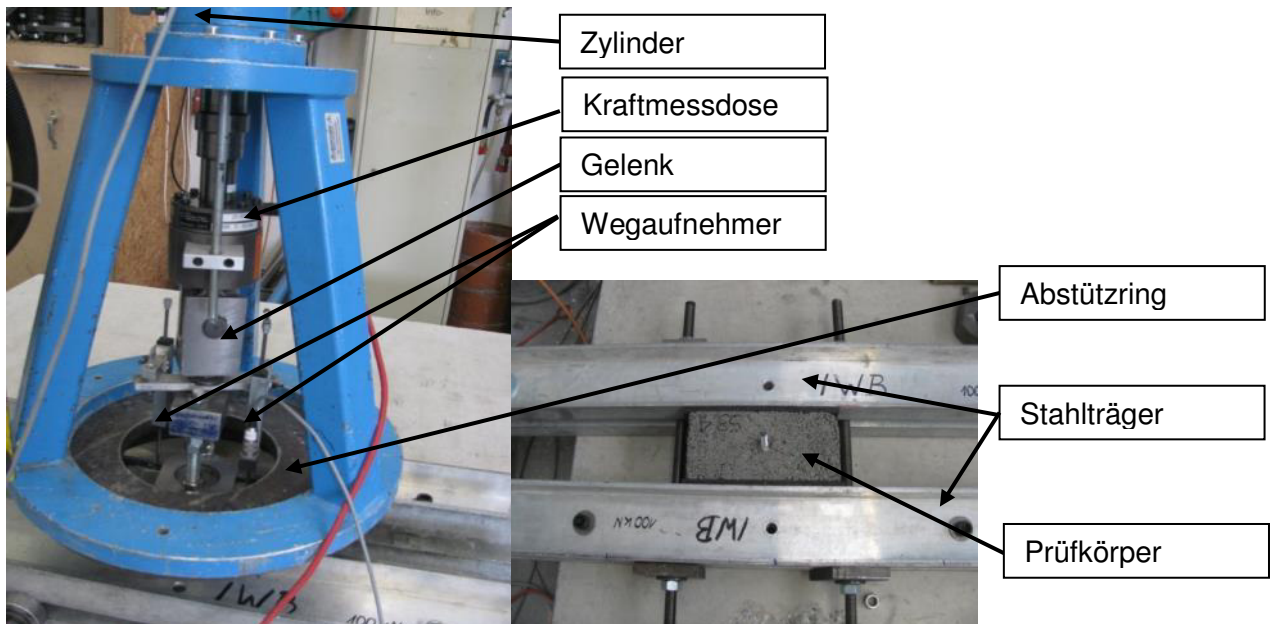


Abbildung 3-8 Belastungseinrichtung für Vollstein Stufentests (Uni Stuttgart)

3.4.3.3 fobatec

Die Laststufenversuche im Kalksandlochstein wurden zwar im Einzelstein geprüft, aber der Stein wurde hierfür zwischen 2 Lastplatten mit einer Vorspannung von $0,2 \text{ N/mm}^2$ gespannt und eine direkte Abstützung auf dem Stein dadurch vermieden. Diese Vorspannung wurde mit Hilfe eines hydraulischen Zylinders aufgebracht. Um ein Verschieben des Steins während des Versuchs zu verhindern sowie Unebenheiten auszugleichen, wurden zwischen Stein und Lastplatten Anti-Rutschmatten verwendet. Zur Durchführung der Laststufentests wurde dieselbe Belastungseinrichtung verwendet, wie für die Referenztests. Zusätzlich wurde die durch die Schubverzerrung der Gummimatten bedingte Verschiebung des Steins über zwei Wegaufnehmer an den Ecken des Steins erfasst. Für die Laststufenversuche im Vollstein wurden die Werte der Round Robin Versuche verwendet.



Abbildung 3-9 Aufbau Stufenversuche fobatec

3.4.4 Versuche mit reduzierter Abstützbreite ($< 3h_{ef}$)

3.4.4.1 TU Kaiserslautern

Die Versuche mit reduzierter Abstützbreite wurden analog zu den Referenzversuchen jedoch mit einer reduzierten Abstützbreite von $a_{dist} = 150 \text{ mm}$ (Durchmesser) durchgeführt.

3.4.4.2 Uni Stuttgart

Für die Versuche mit Baustellenabstützung wurde der Dübel direkt an die Ausziehvorrichtung (Abbildung 3-10) angeschlossen. Die Messung der Dübelverschiebung erfolgte über zwei an der Gewindestange angebrachte Wegaufnehmer. Die Kraft wurde mit einem Hydraulikzylinder

aufgebracht und einer Kraftmessdose gemessen. Die Last und die Dübelverschiebung wurden mit dem Mess- und Auswertungsprogramm DIAdem kontinuierlich aufgezeichnet.

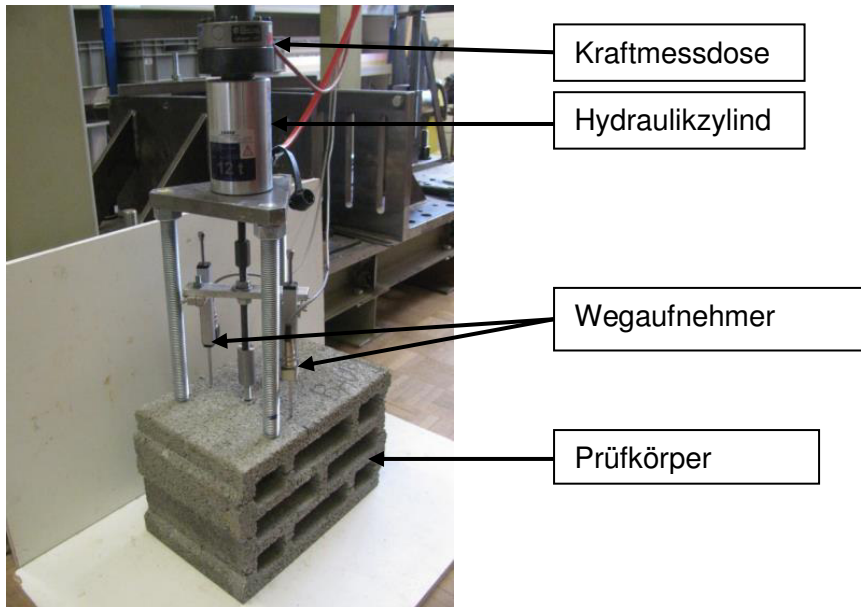


Abbildung 3-10 Belastungseinrichtung für Versuche mit Baustellenabstützung (Uni Stuttgart)

3.4.4.3 fobatec

Die Baustellenversuche wurden mit einem Baustellenprüfgerät durchgeführt. Zentrisch über dem Injektionsanker platziert, stützte sich das Prüfgerät an drei Punkten in einem Abstand von $a_{\text{dist}} = 75\text{mm}$ zum Injektionsanker ab. Neben der internen Kraft und Verformungsmessung des Prüfgeräts, wurden beide Parameter noch zusätzlich extern über eine Kraftmessdose und einen Wegaufnehmer gemessen.



Abbildung 3-11 Versuchsaufbau der Baustellenversuche fobatec

4 Versuchsergebnisse

4.1 Referenzversuche

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Referenzversuche in einer zusammenfassenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Referenzversuche

		Anzahl	Last			Weg		
		n	$F_{Ru,m}^t$	Stabw	Varianz	$\bar{\delta}_{FRu}$	Stabw	Varianz
		[-]	[kN]	[-]	[%]	[mm]	[-]	[%]
Vollstein 2DF	Kalksandstein (M10x50)	5	15,99	1,44	9,00	0,49	0,09	17,85
	Ziegelstein Binder (M10x80)	3	18,50	0,90	4,87	1,69	0,23	13,74
	Ziegelstein Läufer (M10x80)	3	17,20	0,46	2,68	1,72	0,18	10,58
	Leichtbetonstein (M10x50)	6	8,08	0,66	8,13	0,24	0,04	16,91
1 Steg	Kalksandstein (M10 16x85)	3	4,23	0,61	14,51	0,70	0,13	18,24
	Ziegelstein (M10 16x80)	3	4,04	0,09	2,20	1,04	0,16	15,02
	Leichtbetonstein (M10 16x85)	3	5,70	0,17	3,01	0,43	0,22	49,82
2 Stege	Kalksandstein (M10 16x130)	3	8,93	1,15	12,92	0,45	0,04	8,91
	Ziegelstein (M10 16x80)	3	4,47	0,12	2,70	1,56	0,15	9,79
	Leichtbetonstein (M10 16x110)	3	9,58	1,15	12,02	0,99	0,32	31,93
≥3 Stege	Kalksandstein (M10 16x130)	3	11,16	0,20	1,79	0,56	0,04	7,78
	Ziegelstein (M10 16x80)	3	3,96	0,58	14,53	1,19	0,05	4,32
	Leichtbetonstein (M10 16x85)	3	3,02	0,07	2,35	0,36	0,03	7,31

4.2 Stufentests

Die nachfolgenden Tabellen zeigen den Vergleich der Stufenversuche zu den Referenzversuchen in den Untergründen Kalksandstein, Ziegel und Leichtbeton. Neben der Gegenüberstellung der Einzelwerte der Bruchlasten sowie der Verformungen beider Versuchsreihen, sind zusätzlich die Mittelwerte der Bruchlasten und Verformungen, die Standardabweichung, der Variationskoeffizient sowie das 5%-Quantil angegeben.

Tabelle 4-2: Versuchsergebnisse Referenzversuche und Stufenversuche im Ziegel


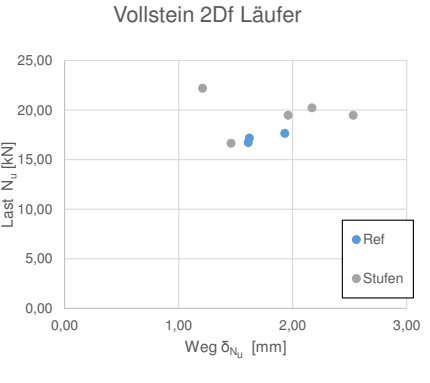

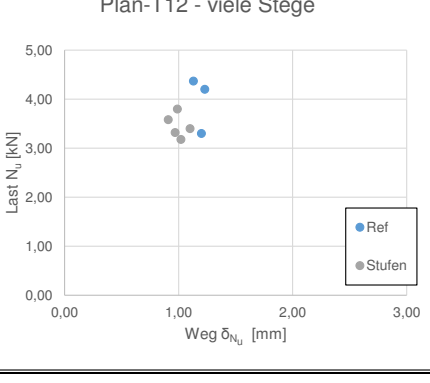
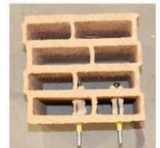
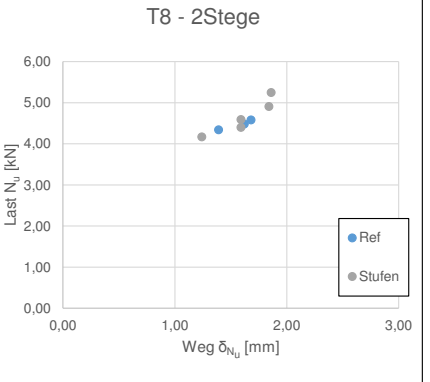
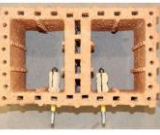
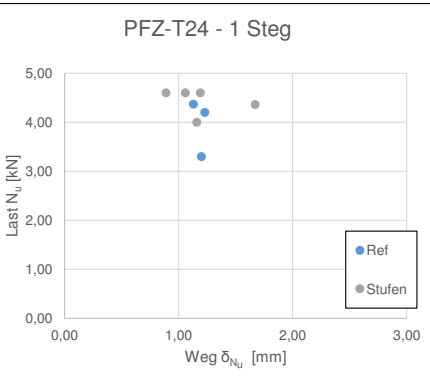
Stein	Versuchstyp	Ref		Stufen		Verhältnis Stufen/Ref		graphische Darstellung
	h_{ef} [mm]	80 mm		80 mm		-		
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		-		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	16,74	1,61	22,21	1,21	1,1401	1,08488	
	Max. Versuch 2	17,19	1,62	16,66	1,46			
	Max. Versuch 3	17,66	1,93	20,22	2,17			
	Max. Versuch 4			19,47	2,53			
	Max. Versuch 5			19,47	1,96			
	Mittelwert	17,20	1,72	19,61	1,87	1,14	1,08	
	Standardabweichung	0,46	0,18	1,99	0,53	-	-	
Streuung	2,68%	10,58%	10,16%	28,58%	-	-		
5%-Fraktile	14,75	2,69	9,03	4,70	0,61	1,75		
	h_{ef} [mm]	80 mm		80 mm		-		
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		-		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	4,37	1,13	3,32	0,97	0,87	0,84	
	Max. Versuch 2	3,30	1,20	3,58	0,91			
	Max. Versuch 3	4,20	1,23	3,40	1,10			
	Max. Versuch 4			3,18	1,02			
	Max. Versuch 5			3,80	0,99			
	Mittelwert	3,96	1,19	3,46	1,00	0,87	0,84	
	Standardabweichung	0,58	0,05	0,24	0,07	-	-	
Streuung	14,53%	4,32%	6,96%	6,99%	-	-		
5%-Fraktile	0,90	1,46	2,18	1,37	2,41	0,94		
	h_{ef} [mm]	80 mm		80 mm		-		
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		-		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	4,58	1,68	4,59	1,59	1,04	1,04	
	Max. Versuch 2	4,48	1,62	5,25	1,86			
	Max. Versuch 3	4,34	1,39	4,91	1,84			
	Max. Versuch 4			4,40	1,59			
	Max. Versuch 5			4,17	1,24			
	Mittelwert	4,47	1,56	4,66	1,62	1,04	1,04	
	Standardabweichung	0,12	0,15	0,43	0,25	-	-	
Streuung	2,70%	9,79%	9,12%	15,46%	-	-		
5%-Fraktile	3,83	2,38	2,41	2,96	0,63	1,24		
	h_{ef} [mm]	80 mm		80 mm		-		
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		-		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	3,97	0,94	4,60	0,89	1,10	1,15	
	Max. Versuch 2	4,14	0,96	4,00	1,16			
	Max. Versuch 3	4,01	1,22	4,36	1,67			
	Max. Versuch 4			4,60	1,19			
	Max. Versuch 5			4,60	1,06			
	Mittelwert	4,04	1,04	4,43	1,19	1,10	1,15	
	Standardabweichung	0,09	0,16	0,26	0,29	-	-	
Streuung	2,20%	15,02%	5,93%	24,35%	-	-		
5%-Fraktile	3,57	1,87	3,04	2,74	0,85	1,46		

Tabelle 4-3: Versuchsergebnisse Referenzversuche und Stufenversuche im Kalksandstein


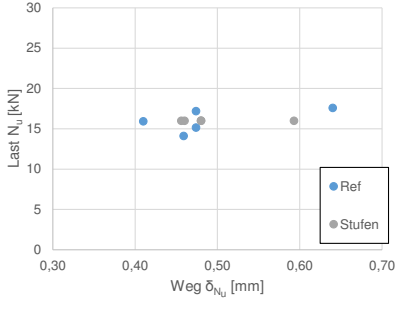

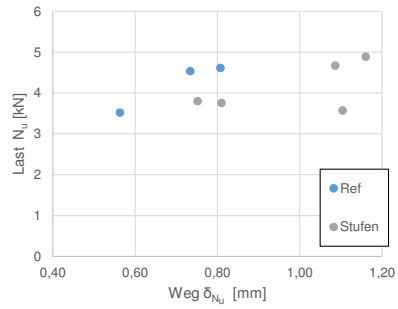

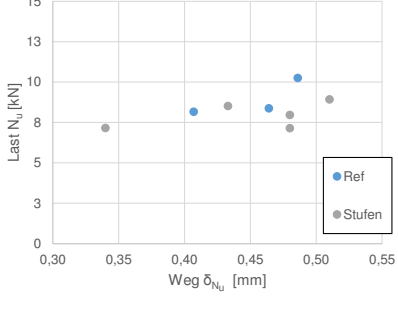

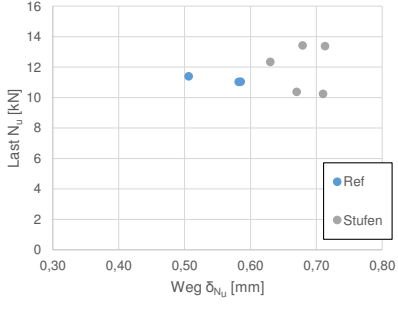

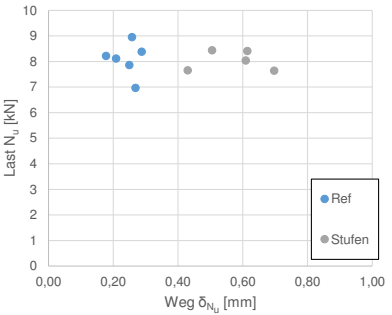

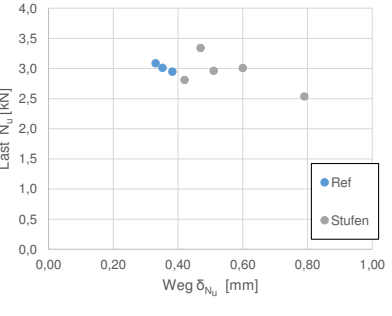

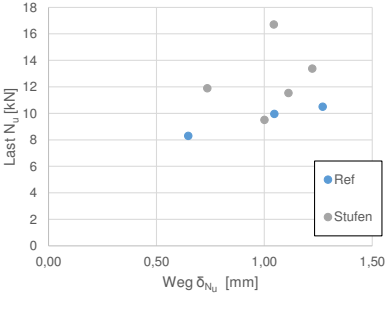

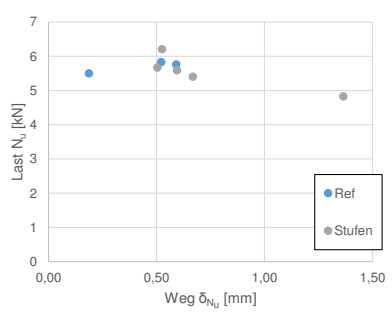
Stein	Versuchstyp	Ref		Stufen		Verhältnis Stufen/Ref		graphische Darstellung
Stein	Versuchstyp	Ref		Stufen		Verhältnis		graphische Darstellung
	h _{ef} [mm]	50		50		-		Vollstein 
	Abstützdurchmesser [mm]	300 (Ring)		300 (Ring)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	17,19	0,47	16,00	0,48	-	-	
	Max. Versuch 2	15,15	0,47	16,02	0,48	-	-	
	Max. Versuch 3	14,10	0,46	16,00	0,46	-	-	
	Max. Versuch 4	17,59	0,64	16,00	0,46	-	-	
	Max. Versuch 5	15,92	0,41	16,00	0,59	-	-	
	Mittelwert	15,99	0,49	16,00	0,49	1,00	1,00	
	Standardabweichung	1,44	0,09	0,01	0,06	-	-	
Variationskoeffizient	8,98%	17,73%	0,06%	11,45%	-	-		
5%-Quantil	8,36	0,95	15,95	0,79	1,91	0,83		
	h _{ef} [mm]	85 mm		85 mm		-		KSL 8DF - 1 Steg 
	Abstützdurchmesser [mm]	450 (Ring)		450 (Rahmen)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	3,521	0,56	4,89	1,16	-	-	
	Max. Versuch 2	4,617	0,81	3,574	1,10	-	-	
	Max. Versuch 3	4,535	0,73	4,672	1,09	-	-	
	Max. Versuch 4			3,76	0,81	-	-	
	Max. Versuch 5			3,801	0,75	-	-	
	Mittelwert	4,22	0,70	4,14	0,98	0,98	1,40	
	Standardabweichung	0,61	0,13	0,60	0,19	-	-	
Variationskoeffizient	14,45%	17,86%	14,42%	19,03%	-	-		
5%-Quantil	0,98	1,37	0,97	1,98	0,99	1,45		
	h _{ef} [mm]	130 mm		130 mm		-		KSL 8DF - 2 Stege 
	Abstützdurchmesser [mm]	450 (Ring)		450 (Rahmen)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	10,26	0,49	8,93	0,51	-	-	
	Max. Versuch 2	8,16	0,41	8,52	0,43	-	-	
	Max. Versuch 3	8,38	0,46	7,16	0,34	-	-	
	Max. Versuch 4			7,15	0,48	-	-	
	Max. Versuch 5			7,97	0,48	-	-	
	Mittelwert	8,93	0,45	7,95	0,45	0,89	0,99	
	Standardabweichung	1,15	0,04	0,80	0,07	-	-	
Variationskoeffizient	12,90%	9,01%	10,04%	14,86%	-	-		
5%-Quantil	2,81	0,67	3,71	0,80	1,32	1,20		
	h _{ef} [mm]	130 mm		130 mm		-		KSL 8DF - 3 Stege 
	Abstützdurchmesser [mm]	450 (Ring)		450 (Rahmen)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	11,045	0,59	10,24	0,71	-	-	
	Max. Versuch 2	11,034	0,58	10,37	0,67	-	-	
	Max. Versuch 3	11,39	0,51	13,37	0,71	-	-	
	Max. Versuch 4			12,34	0,63	-	-	
	Max. Versuch 5			13,42	0,68	-	-	
	Mittelwert	11,16	0,56	11,95	0,68	1,07	1,22	
	Standardabweichung	0,20	0,04	1,56	0,03	-	-	
Variationskoeffizient	1,81%	8,03%	13,07%	4,98%	-	-		
5%-Quantil	10,08	0,80	3,66	0,86	0,36	1,08		

Tabelle 4-4: Versuchsergebnisse Referenzversuche und Stufenversuche im Leichtbeton

Stein	Versuchstyp	Ref		Stufen		Verhältnis Stufen/Ref		graphische Darstellung
Stein	Versuchstyp	Ref		Stufen		Verhältnis		graphische Darstellung
	h _{af} [mm]	50		50		-		<p>Vollstein 2DF</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	-		-		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	8,95	0,26	8,04	0,61	-	-	
	Max. Versuch 2	7,86	0,25	7,66	0,43	-	-	
	Max. Versuch 3	8,11	0,21	7,64	0,70	-	-	
	Max. Versuch 4	6,97	0,27	8,44	0,51	-	-	
	Max. Versuch 5	8,39	0,29	8,41	0,61	-	-	
	Max. Versuch 6	8,22	0,18					
	Mittelwert	8,08	0,24	8,04	0,57	0,99	2,36	
	Standardabweichung	0,66	0,04	0,39	0,10	-	-	
	Variationskoeffizient	8,13%	16,91%	4,82%	18,2%	-	-	
5%-Fraktil	4,59	0,46	5,98	1,12	1,30	2,45		
	h _{af} [mm]	85 mm		85 mm		-		<p>TMP - viele Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	-		-		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	3,09	0,33	3,34067	0,47	-	-	
	Max. Versuch 2	2,95	0,38	2,81256	0,42	-	-	
	Max. Versuch 3	3,01	0,35	2,53851	0,79	-	-	
	Max. Versuch 4			2,96459	0,51	-	-	
	Max. Versuch 5			3,0106	0,60	-	-	
	Mittelwert	3,02	0,36	2,93	0,56	0,97	1,57	
	Standardabweichung	0,07	0,03	0,29	0,15	-	-	
	Variationskoeffizient	2,35%	7,31%	9,99%	26,08%	-	-	
	5%-Fraktil	2,64	0,49	1,38	1,33	0,52	2,70	
	h _{af} [mm]	110 mm		110 mm		110 mm		<p>Hbl2 - 2 Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	-		-		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	9,96	1,05	11,53	1,11	-	-	
	Max. Versuch 2	8,29	0,65	13,38	1,22	-	-	
	Max. Versuch 3	10,51	1,27	9,51	1,00	-	-	
	Max. Versuch 4			11,90	0,74	-	-	
	Max. Versuch 5			16,70	1,04	-	-	
	Mittelwert	9,58	0,99	12,60	1,02	1,32	1,04	
	Standardabweichung	1,15	0,32	2,68	0,18	-	-	
	Variationskoeffizient	12,02%	31,93%	21,23%	17,68%	-	-	
	5%-Fraktil	3,47	2,66	-1,61	1,98	-0,46	0,74	
	h _{af} [mm]	85 mm		85 mm		85 mm		<p>Hbl1 - 1 Steg</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	-		-		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	5,83	0,52	6,21	0,53	-	-	
	Max. Versuch 2	5,76	0,59	4,83	1,37	-	-	
	Max. Versuch 3	5,50	0,19	5,40	0,67	-	-	
	Max. Versuch 4			5,59	0,60	-	-	
	Max. Versuch 5			5,67	0,50	-	-	
	Mittelwert	5,70	0,43	5,54	0,73	0,97	1,69	
	Standardabweichung	0,17	0,22	0,50	0,36	-	-	
	Variationskoeffizient	3,01%	49,82%	8,97%	49,20%	-	-	
	5%-Fraktil	4,79	1,58	2,90	2,64	0,61	1,67	

4.3 Versuche mit reduzierter Abstützbreite

In den nachfolgenden Tabellen sind die Versuchsergebnisse der Versuche mit reduzierter Abstützbreite für die unterschiedlichen Untergrundmaterialien dargestellt. Zusätzlich sind jeweils die Referenzversuche, die schon in Kapitel 4.1 dargestellt wurden, enthalten. Das Verhältnis der Mittelwerte der Versagenslasten in den Versuchen mit reduzierter Abstützung (hier „Bau“ genannt) zu den Referenzversuchen wurde in der Spalte „Verhältnis Bau/Ref“ gebildet. Zusätzlich wurden die 5 % Fraktilwerte ins Verhältnis gesetzt, aber auf Grund der geringen Versuchsanzahl nicht weiter für die Auswertung herangezogen. Für jeden Stein ist eine graphische Darstellung beigefügt, in der die Versagenslast mit zugehöriger Dübelverschiebung als Datenpunkt dargestellt wurde. Die Referenzversuche wurden jeweils blau und die Baustellenversuche orange abgebildet.

Tabelle 4-5: Versuchsergebnisse Referenzversuche und Versuche mit reduzierter Abstützbreite im Ziegel


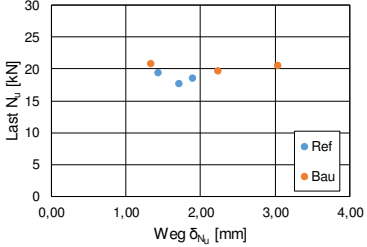

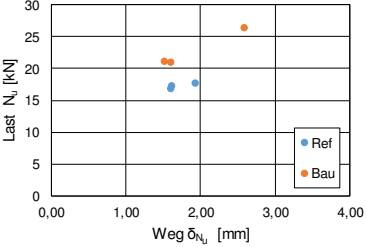

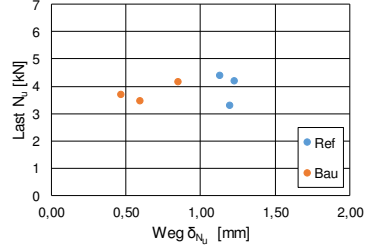
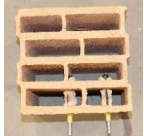
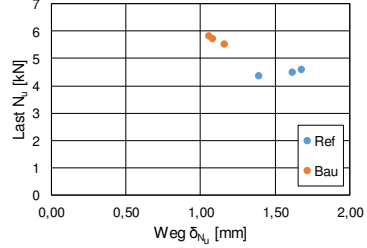
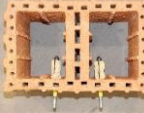
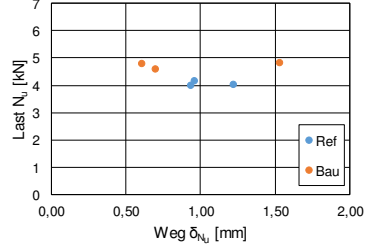
Stein	Versuchstyp	Ref		Bau		Verhältnis Bau/Ref		graphische Darstellung
	h_{ef} [mm]	80		80		-		<p>Vollstein 2DF Binder</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	17,59	1,72	19,61	2,24	-	-	
	Max. Versuch 2	18,53	1,90	20,51	3,04	-	-	
	Max. Versuch 3	19,39	1,44	20,81	1,34	-	-	
	Mittelwert	18,50	1,69	20,31	2,21	1,10	1,31	
	Standardabweichung	0,90	0,23	0,62	0,85	-	-	
	Streuung	4,87%	13,74%	3,07%	38,54%	-	-	
	5%-Fraktile	13,72	2,92	16,99	6,72	1,24	2,30	
	h_{ef} [mm]	80		80		-		<p>Vollstein 2DF</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	16,74	1,61	21,07	1,52	-	-	
	Max. test2	17,19	1,62	20,92	1,61	-	-	
	Max. test3	17,66	1,93	26,4	2,59	-	-	
	Mittelwert	17,20	1,72	22,80	1,91	1,33	1,11	
	Standardabweichung	0,46	0,18	3,12	0,59	-	-	
	Streuung	2,68%	10,58%	13,69%	31,13%	-	-	
	5%-Fraktile	14,75	2,69	6,22	5,06	0,42	1,88	
	h_{ef} [mm]	80		80		-		<p>Plan-T12 - viele Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	4,37	1,13	3,44	0,60	-	-	
	Max. test2	3,30	1,20	4,16	0,85	-	-	
	Max. test3	4,20	1,23	3,68	0,47	-	-	
	Mittelwert	3,96	1,19	3,76	0,64	0,95	0,54	
	Standardabweichung	0,58	0,05	0,37	0,19	-	-	
	Streuung	14,53%	4,32%	9,75%	30,18%	-	-	
	5%-Fraktile	0,90	1,46	1,81	1,67	2,01	1,14	
	h_{ef} [mm]	80		80		-		<p>T8 - 2 Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	4,58	1,68	5,83	1,06	-	-	
	Max. test2	4,48	1,62	5,71	1,08	-	-	
	Max. test3	4,34	1,39	5,51	1,16	-	-	
	Mittelwert	4,47	1,56	5,68	1,10	1,27	0,70	
	Standardabweichung	0,12	0,15	0,16	0,05	-	-	
	Streuung	2,70%	9,79%	2,84%	4,81%	-	-	
	5%-Fraktile	3,83	2,38	4,82	1,38	1,26	0,58	
	h_{ef} [mm]	80		80		-		<p>PFZ-T24 - 1 Steg</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	320 (3-Punkt)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	3,97	0,94	4,58	0,70	-	-	
	Max. test2	4,14	0,96	4,81	1,53	-	-	
	Max. test3	4,01	1,22	4,79	0,61	-	-	
	Mittelwert	4,04	1,04	4,73	0,95	1,17	0,91	
	Standardabweichung	0,09	0,16	0,13	0,51	-	-	
	Streuung	2,20%	15,02%	2,70%	53,58%	-	-	
	5%-Fraktile	3,57	1,87	4,05	3,64	1,14	1,95	

Tabelle 4-6: Versuchsergebnisse Referenzversuche und Versuche mit reduzierter Abstützbreite im Kalksandstein


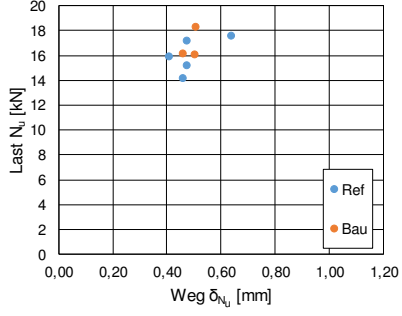

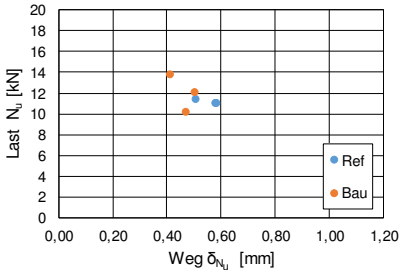

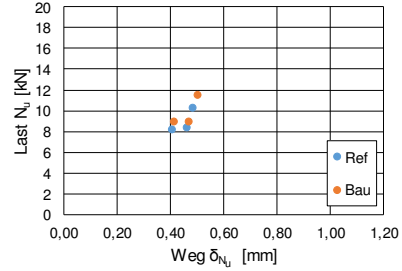

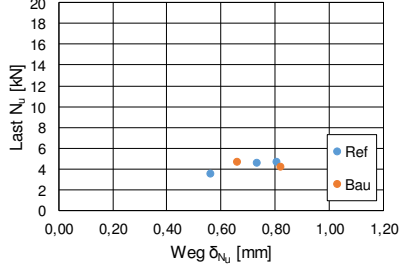

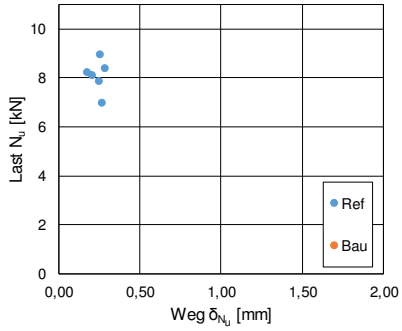

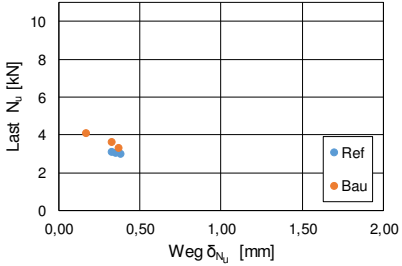

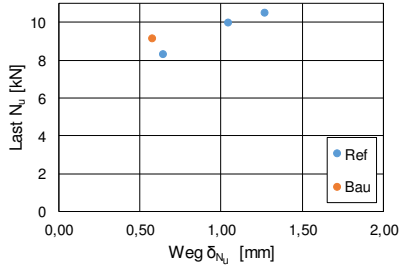

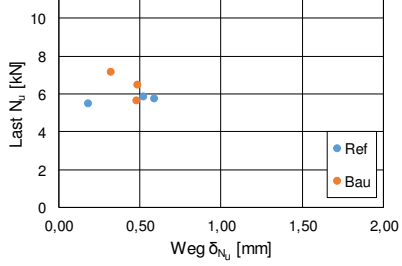
Stein	Versuchstyp	Ref		Bau		Verhältnis Bau/Ref		graphische Darstellung
	h _{ef} [mm]	50		50		-		<p style="text-align: center;">Vollstein</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	300 (Ring)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	17,19	0,47	18,23	0,51			
	Max. Versuch 2	15,15	0,47	16,15	0,46			
	Max. Versuch 3	14,10	0,46	16,02	0,51	-	-	
	Max. Versuch 4	17,59	0,64					
	Max. Versuch 6	15,92	0,41					
	Mittelwert	15,99	0,49	16,80	0,49	1,05	1,00	
	Standardabweichung	1,44	0,09	1,24	0,03	-	-	
Streuung	8,98%	17,73%	7,37%	5,30%				
5%-Fraktile	8,36	0,95	10,22	0,63	1,22	0,66		
	h _{ef} [mm]	130		130		-		<p style="text-align: center;">KSL 8DF - 3 Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	450 (Ring)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. test1	11,05	0,59	10,14	0,47			
	Max. test2	11,03	0,58	12,06	0,50			
	Max. test3	11,39	0,51	13,80	0,41			
	Mittelwert	11,16	0,56	12,00	0,46	1,08	0,83	
	Standardabweichung	0,20	0,04	1,83	0,05			
	Streuung	1,81%	8,03%	15,26%	9,82%			
	5%-Fraktile	10,08	0,80	2,27	0,70	0,23	0,89	
	h _{ef} [mm]	130		130		-		<p style="text-align: center;">KSL 8DF - 2 Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	450 (Ring)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. test1	10,26	0,49	8,92	0,47			
	Max. test2	8,16	0,41	11,45	0,50			
	Max. test3	8,38	0,46	8,92	0,41			
	Mittelwert	8,93	0,45	9,76	0,46	1,09	1,02	
	Standardabweichung	1,15	0,04	1,46	0,05			
	Streuung	12,90%	9,01%	14,97%	9,82%			
	5%-Fraktile	2,81	0,67	2,00	0,70	0,71	1,05	
	h _{ef} [mm]	85		85		-		<p style="text-align: center;">KSL 8DF - 1 Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	450 (Ring)		150 (3-Punkt)		-		
		Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [kN]	Weg δ _{Nu} [mm]	Last N _u [-]	Weg δ _{Nu} [-]	
	Max. test1	3,52	0,56	4,66	0,66			
	Max. test2	4,62	0,81	3,74	1,10			
	Max. test3	4,54	0,73	4,18	0,82			
	Mittelwert	4,22	0,70	4,19	0,86	0,99	1,23	
	Standardabweichung	0,61	0,13	0,46	0,22			
	Streuung	14,45%	17,86%	10,97%	25,94%			
	5%-Fraktile	0,98	1,37	1,75	2,05	1,78	1,50	

Tabelle 4-7: Versuchsergebnisse Referenzversuche und Versuche mit reduzierter Abstützbreite im Leichtbeton

Stein	Versuchstyp	Ref		Bau		Verhältnis Bau/Ref		graphische Darstellung
	h_{ef} [mm]	50				-		<p style="text-align: center;">Vollstein 2DF</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	115				-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. Versuch 1	8,95	0,26	Die Versuche in den Leichtbetonsteinen wurden im Einzelstein durchgeführt, weshalb eine Abstützung mit $a_{abst} = 150$ mm beim 2DF Stein nicht möglich war.				
	Max. Versuch 2	7,86	0,25					
	Max. Versuch 3	8,11	0,21					
	Max. Versuch 4	6,97	0,27					
	Max. Versuch 5	8,39	0,29					
	Max. Versuch 6	8,22	0,18					
	Mittelwert	8,08	0,24	-	-	-	-	
	Standardabweichung	0,66	0,04	-	-	-	-	
Streuung	8,13%	16,91%	-	-	-	-		
5%-Fraktile	4,59	0,46	-	-	-	-		
	h_{ef} [mm]	85		85		-		<p style="text-align: center;">TMP - viele Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	250		150 (Dreipunkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	3,09	0,33	3,61	0,33			
	Max. test2	2,95	0,38	3,30	0,37			
	Max. test3	3,01	0,35	4,07	0,17			
	Mittelwert	3,02	0,36	3,66	0,29	1,21	0,82	
	Standardabweichung	0,07	0,03	0,39	0,11			
	Streuung	2,35%	7,31%	10,57%	36,03%			
	5%-Fraktile	2,64	0,49	1,61	0,85	0,61	1,73	
	h_{ef} [mm]	110		110		-		<p style="text-align: center;">Hbl2 - 2 Stege</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	240		150		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	9,96	1,05	11,35	0,75			
	Max. test2	8,29	0,65	9,13	0,58			
	Max. test3	10,51	1,27	14,9	0,68			
	Mittelwert	9,58	0,99	11,79	0,67	1,23	0,68	
	Standardabweichung	1,15	0,32	2,91	0,09			
Streuung	12,02%	31,93%	24,68%	12,75%				
5%-Fraktile	3,47	2,66	-3,66	1,12	-1,06	0,42		
	h_{ef} [mm]	85		85		-		<p style="text-align: center;">Hbl1 - 1 Steg</p> 
	Abstützdurchmesser [mm]	240		150 (Dreipunkt)		-		
		Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [kN]	Weg δ_{Nu} [mm]	Last N_u [-]	Weg δ_{Nu} [-]	
	Max. test1	5,83	0,52	7,13	0,33			
	Max. test2	5,76	0,59	5,66	0,48			
	Max. test3	5,50	0,19	6,49	0,49			
	Mittelwert	5,70	0,43	6,42	0,43	1,13	1,00	
	Standardabweichung	0,17	0,22	0,74	0,09			
Streuung	3,01%	49,82%	11,44%	21,30%				
5%-Fraktile	4,79	1,58	2,52	0,92	0,53	0,58		

5 Versuchsauswertung

5.1 Ermittlung einer möglichen Vorschädigung – Bewertung der Stufentests

5.1.1 Vergleich der Bruchlasten

Die folgende Abbildung zeigt die Verhältnismittelwerte der Mittelwerte aus den Referenz- und den Stufenversuchen gemäß Tabelle 4-2 bis Tabelle 4-4.

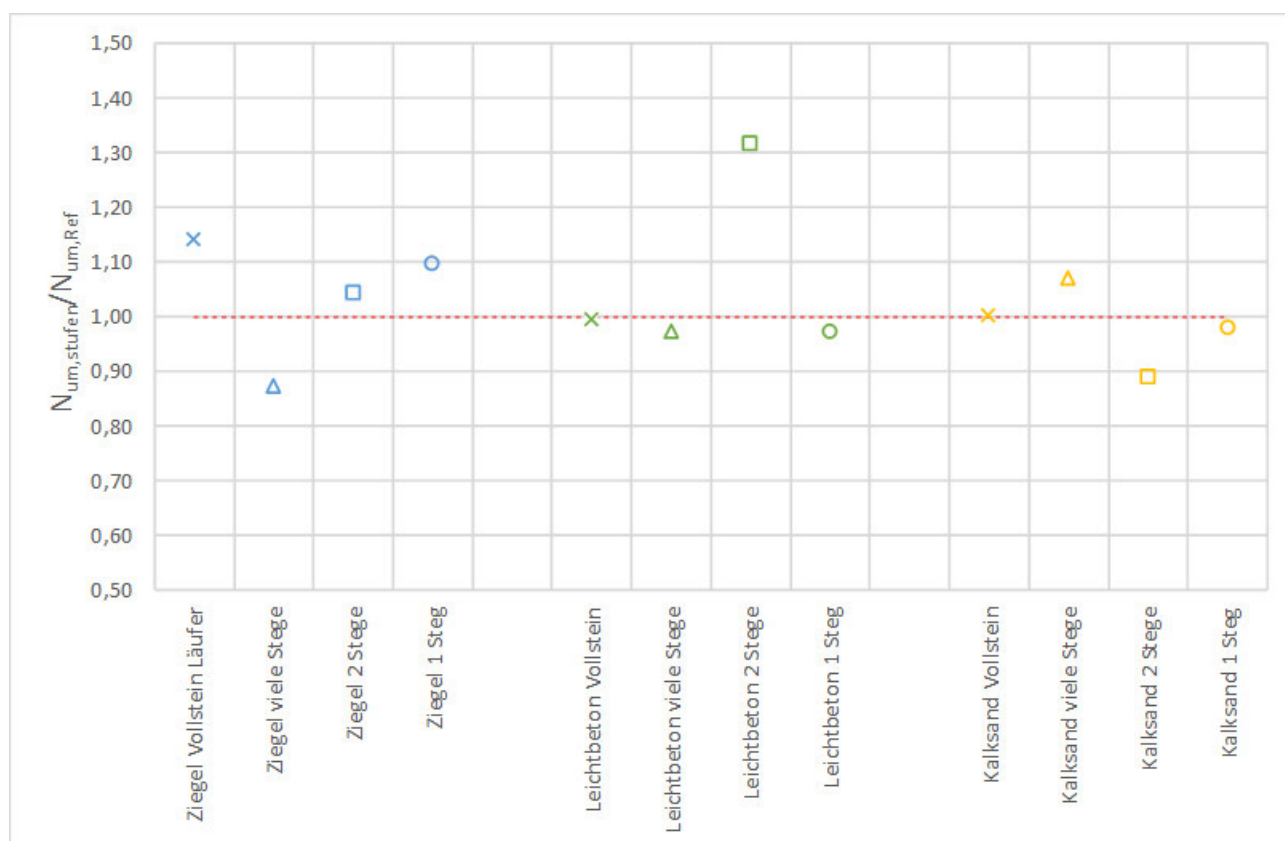


Abbildung 5-1 Vergleich der Verhältnismittelwerte der Mittelwerte der Referenz- und der Stufentests

Einige der Stufentest führen zu mittleren Tragfähigkeiten, die das Niveau der Referenzversuche übertreffen (vgl. auch Abbildung 5-2). Lediglich die Versuche im Ziegel mit vielen Stegen und im Kalksand-Lochstein bei Aktivierung von zwei Stegen zeigen eine auffällige Reduktion der mittleren Tragfähigkeit in den Stufentests im Vergleich zu den Referenzversuchen. Die Tragfähigkeit in den Stufentests zeigt im Vergleich zu den Referenzversuchen jedoch einen geringeren Variationskoeffizienten. Eine statistische Analyse auf der Basis eines 2-Stichproben-t-Tests zeigt, dass kein Lageunterschied der Mittelwerte der zugeordneten Grundgesamtheit unterstellt und daher gefolgert werden kann, dass alle Versuchsergebnisse einer Grundgesamtheit entnommen sind. Der Testwert der zugrundeliegenden t-Verteilung berechnet sich dabei gemäß [4] nach der folgenden Gleichung (5.1).

$$T = \frac{|F_{Ru,m,1} - F_{Ru,m,2}|}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \times s^2}} \quad (5.1)$$

Der nach den verschiedenen Versuchsanzahlen gewichtete Schätzer s ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen.

$$s = \sqrt{\frac{n_1 - 1}{n_1 + n_2 - 2} s_1^2 + \frac{n_2 - 1}{n_1 + n_2 - 2} s_2^2} \quad (5.2)$$

Bei einem Signifikanzniveau von 5 % liegen die jeweiligen Testwerte T unterhalb des zugehörigen Schwellwertes, so dass die Entnahme der Stichproben aus einer gemeinsamen Grundgesamtheit gefolgert werden kann.

Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich für die Versuchsergebnisse der Stufentests im Kalksand-Lochstein bei zwei aktivierten Stegen. Auch diese Ergebnisse liefern einen geringeren Variationskoeffizienten als die Referenzversuche, entstammen aber aus statistischer Sicht der gleichen Grundgesamtheit.

Zusätzlich ist zu beachten, dass einige der Stufentests die Ergebnisse der Referenzversuche z. T. deutlich übertreffen. Die Ergebnisse der Versuche im Leichtbetonstein mit zwei aktivierten Stegen unterliegen einem hohen Variationskoeffizienten von $v = 21,2\%$ im Stufentest. Daher liegen auch diese Ergebnisse im Streuband der Referenzversuche und entstammen der gleichen Grundgesamtheit.

Sowohl die Ergebnisse der Stufenversuche im Vollziegel als auch im Lochziegel mit einem aktivierten Steg liegen jeweils nicht im Streuband der zugehörigen Referenzversuche, so dass bei diesen Ergebnissen von einem sog. Trainingseffekt ausgegangen werden sollte.

Dieser Trainingseffekt sorgt aufgrund der Belastungshistorie für eine Anpassung der Verankerung an den Verankerungsgrund und ist beispielsweise auch im Bereich der Ermüdung bekannt.

Ein Vergleich der Einzelergebnisse aus den Stufentests und den Referenzversuchen ist in der folgenden Abbildung 5-2 dargestellt.

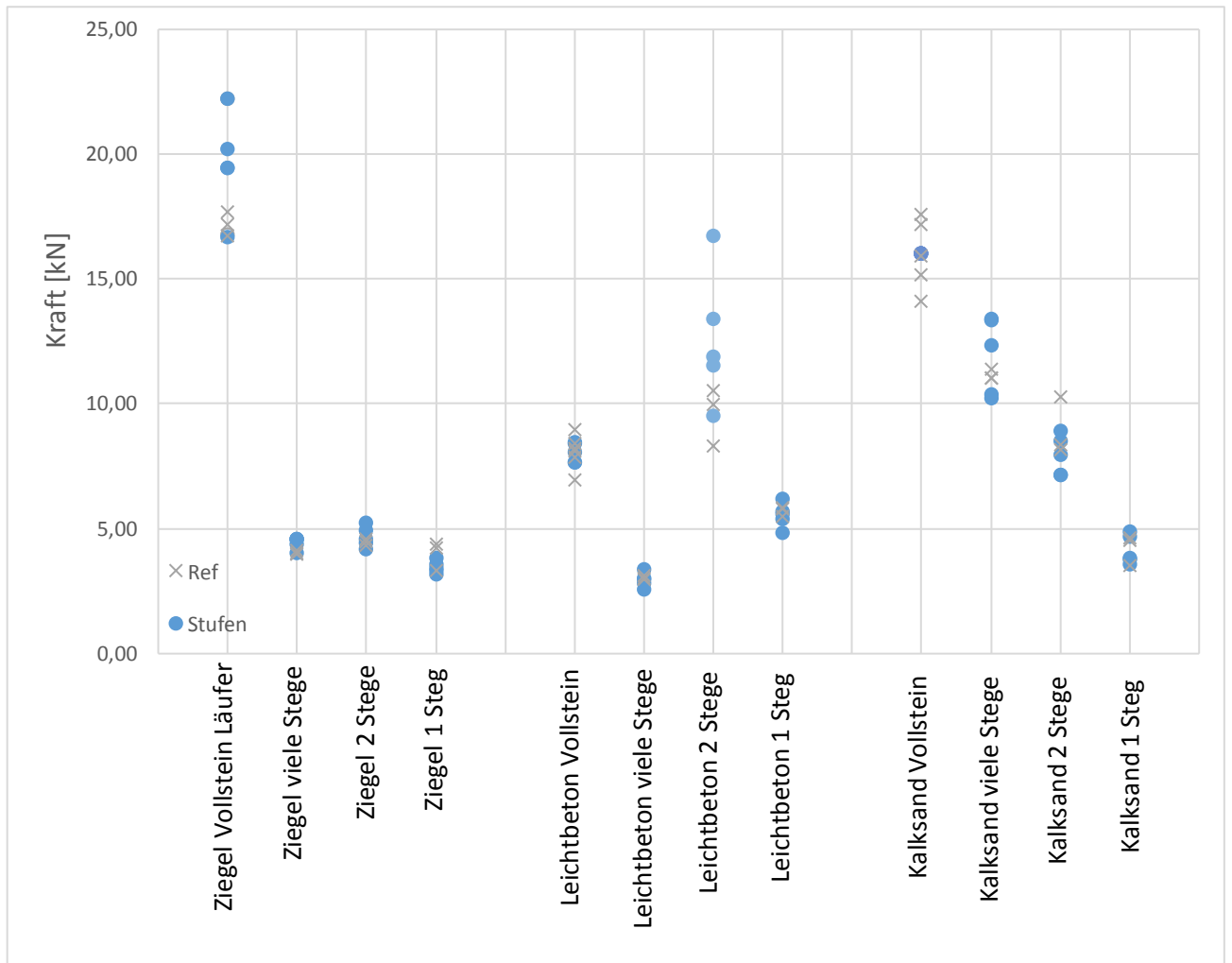


Abbildung 5-2 Vergleich der Einzelergebnisse der Referenz- und der Stufentests

5.1.2 Vergleich der Verformungszunahme

5.1.2.1 Mauerwerk aus Ziegeln

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 5-3 bis Abbildung 5-7) zeigen die Zunahme der Standardabweichung der Verformung für die jeweiligen Laststufen.

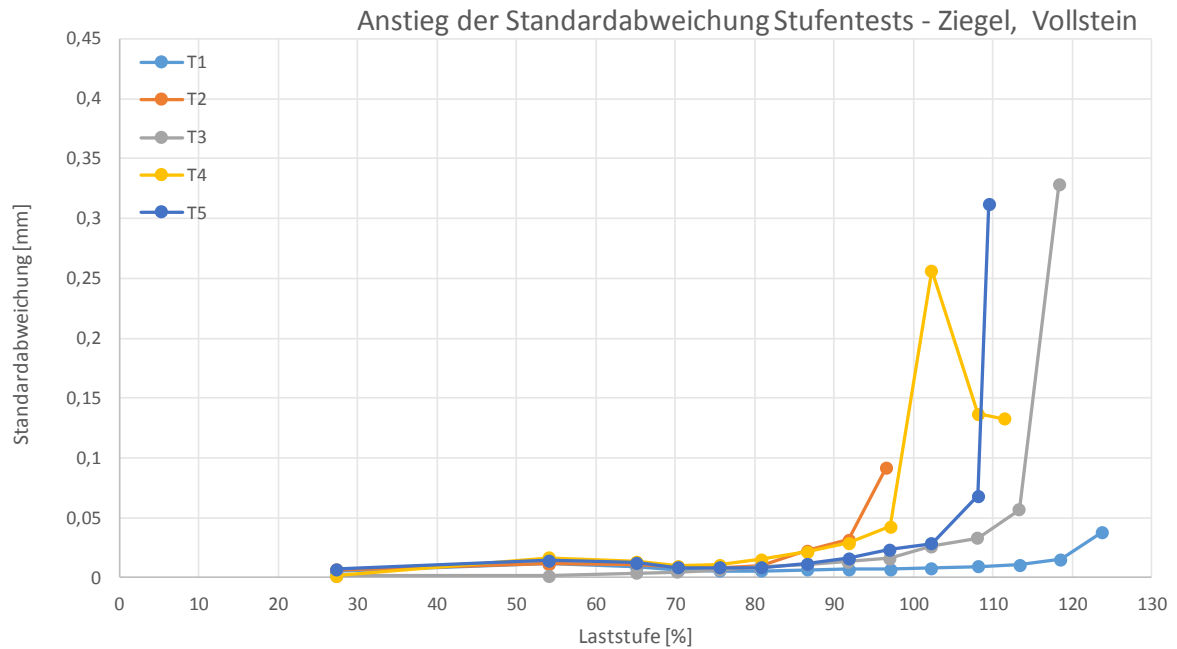


Abbildung 5-3 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Vollziegel, Läuferseite

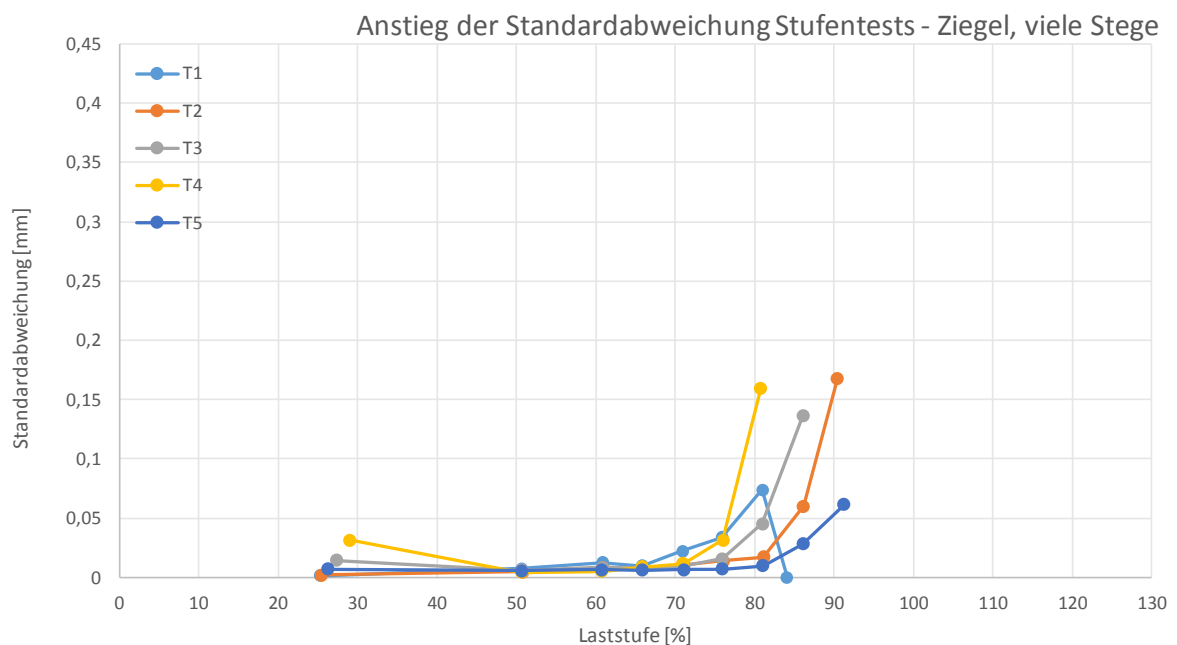


Abbildung 5-4 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Lochziegel, viele Stege

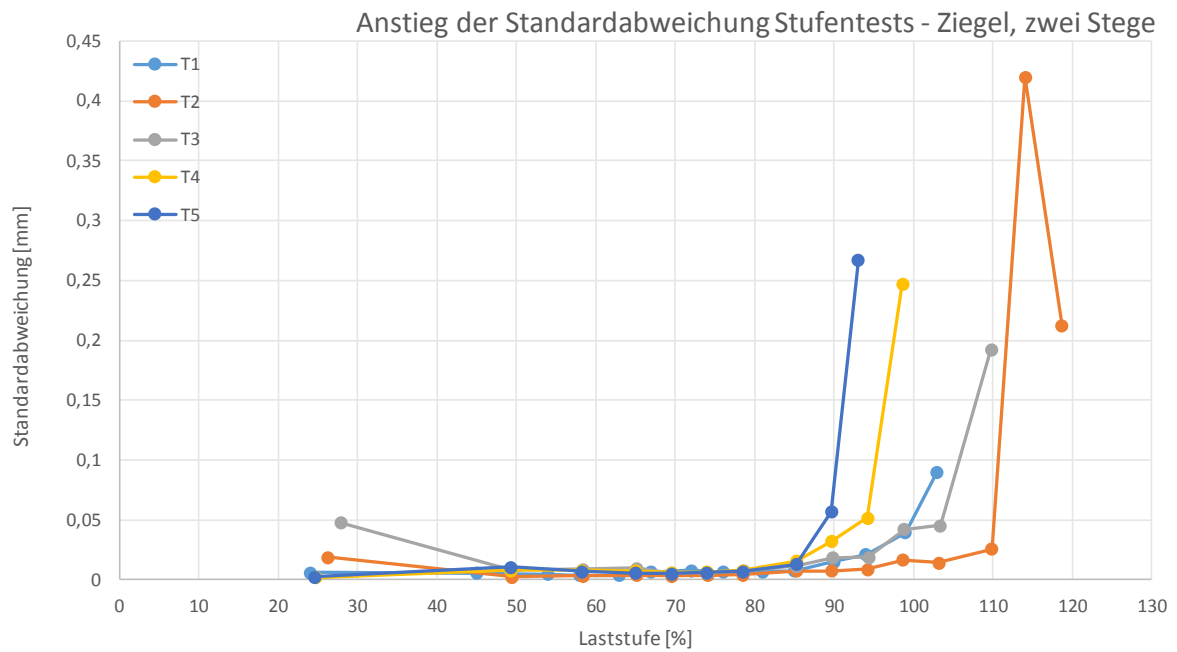


Abbildung 5-5 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Lochziegel, zwei Stege

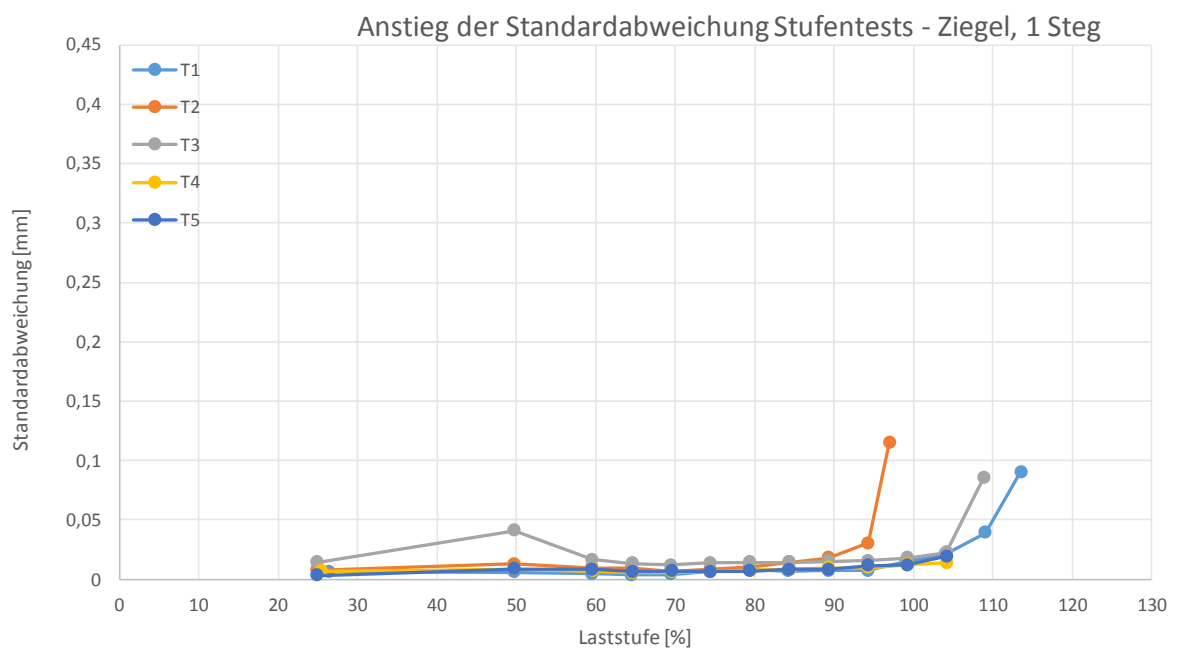


Abbildung 5-6 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Lochziegel, ein Steg

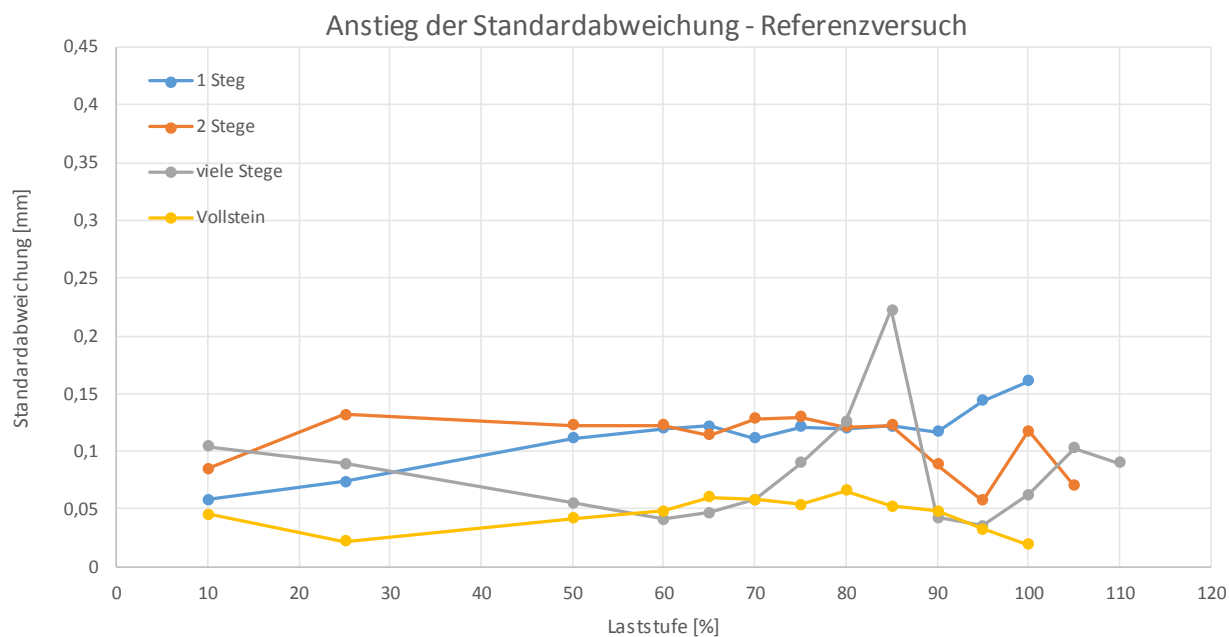


Abbildung 5-7 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen im Referenzversuch – alle Ziegel

Die folgende Tabelle stellt die Laststufen von Referenz- und Laststufenversuch gegenüber, ab denen eine Zunahme der Streuung der Verformung zu beobachten ist.

Tabelle 5-1: Laststufe mit Anstieg der Streuung der Verformung - Ziegelmauerwerk

Untergrund	Referenztest	Stufentest
Vollziegel	100 %	92 %
Lochziegel, viele Stege	60 %	65 %
Lochziegel, zwei Stege	95 %	85 %
Lochziegel, ein Steg	90 %	95 %

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 5-1 kann entnommen werden, dass sich die Verformungszunahme während der Versuche in den Stufentests ähnlich entwickelt wie in den Referenzversuchen. Eine vorzeitige Schädigung des Untergrunds durch die Stufenbelastung kann daher aus dieser Bewertung nicht abgeleitet werden.

Im Folgenden sind daher für die verschiedenen Verankerungsgründe die Schar der Referenzversuche den Laststufen der einzelnen Stufentests gegenübergestellt.

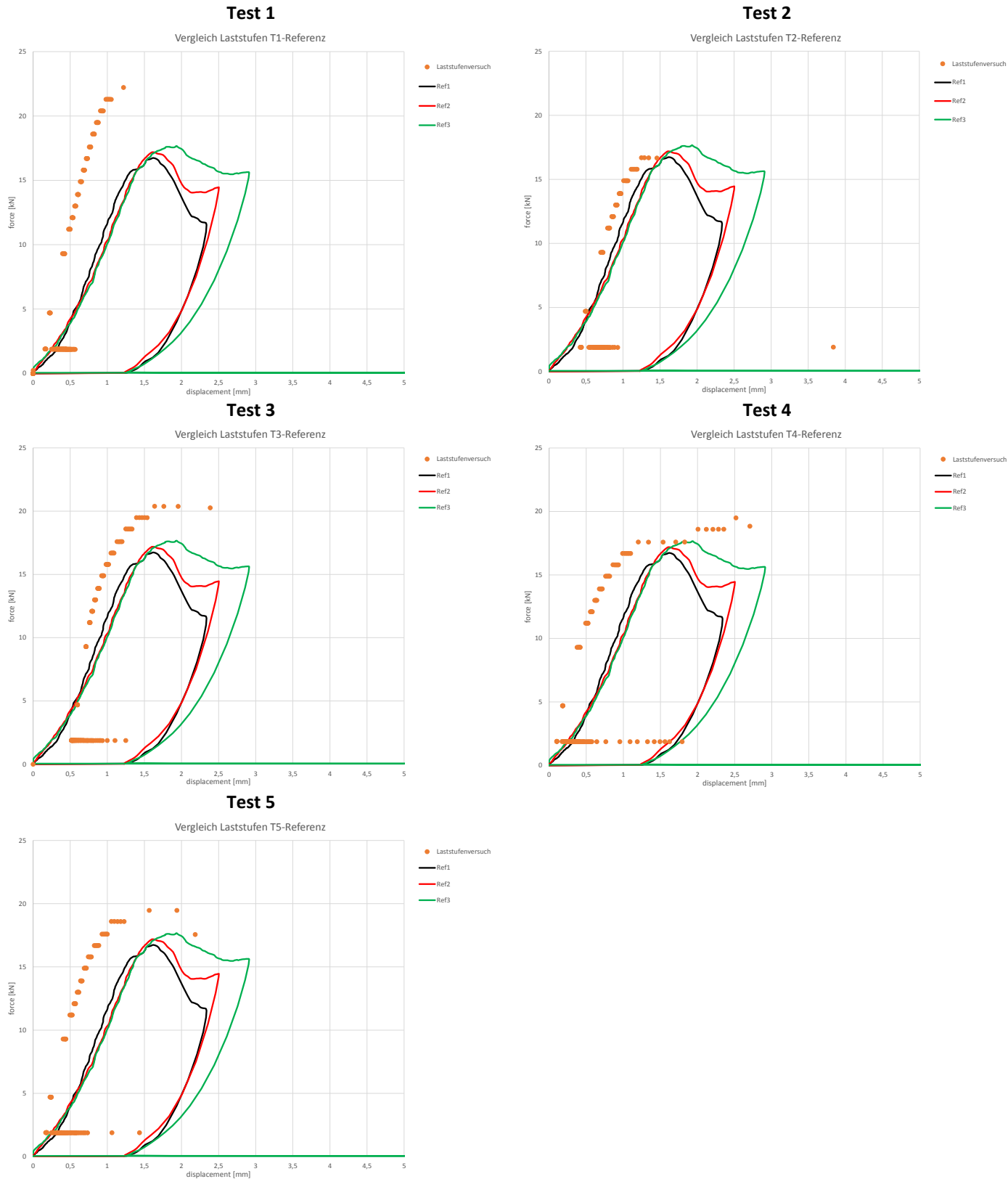


Abbildung 5-8 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Vollziegel, Läuferseite

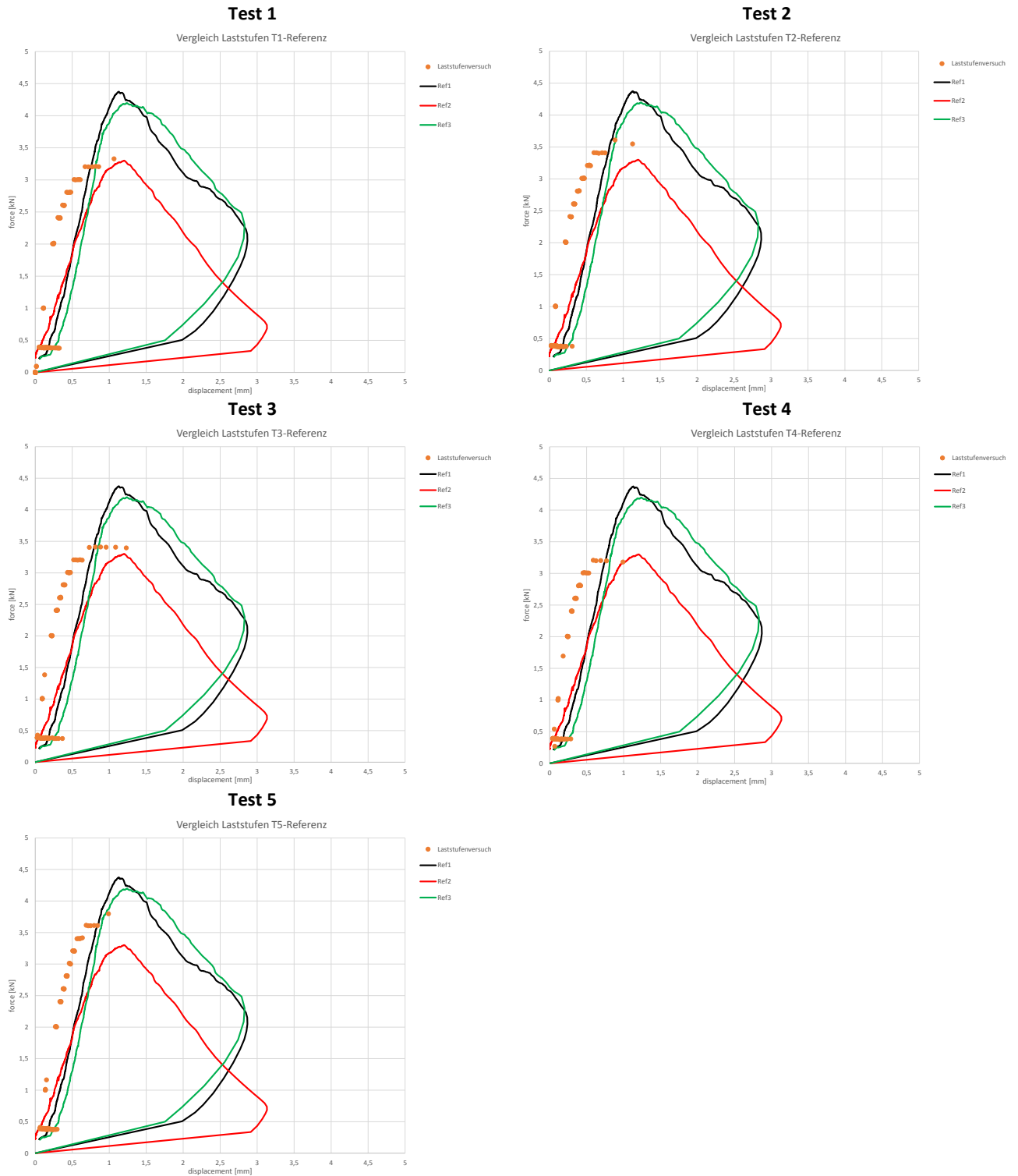


Abbildung 5-9 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Lochziegel, viele Stege

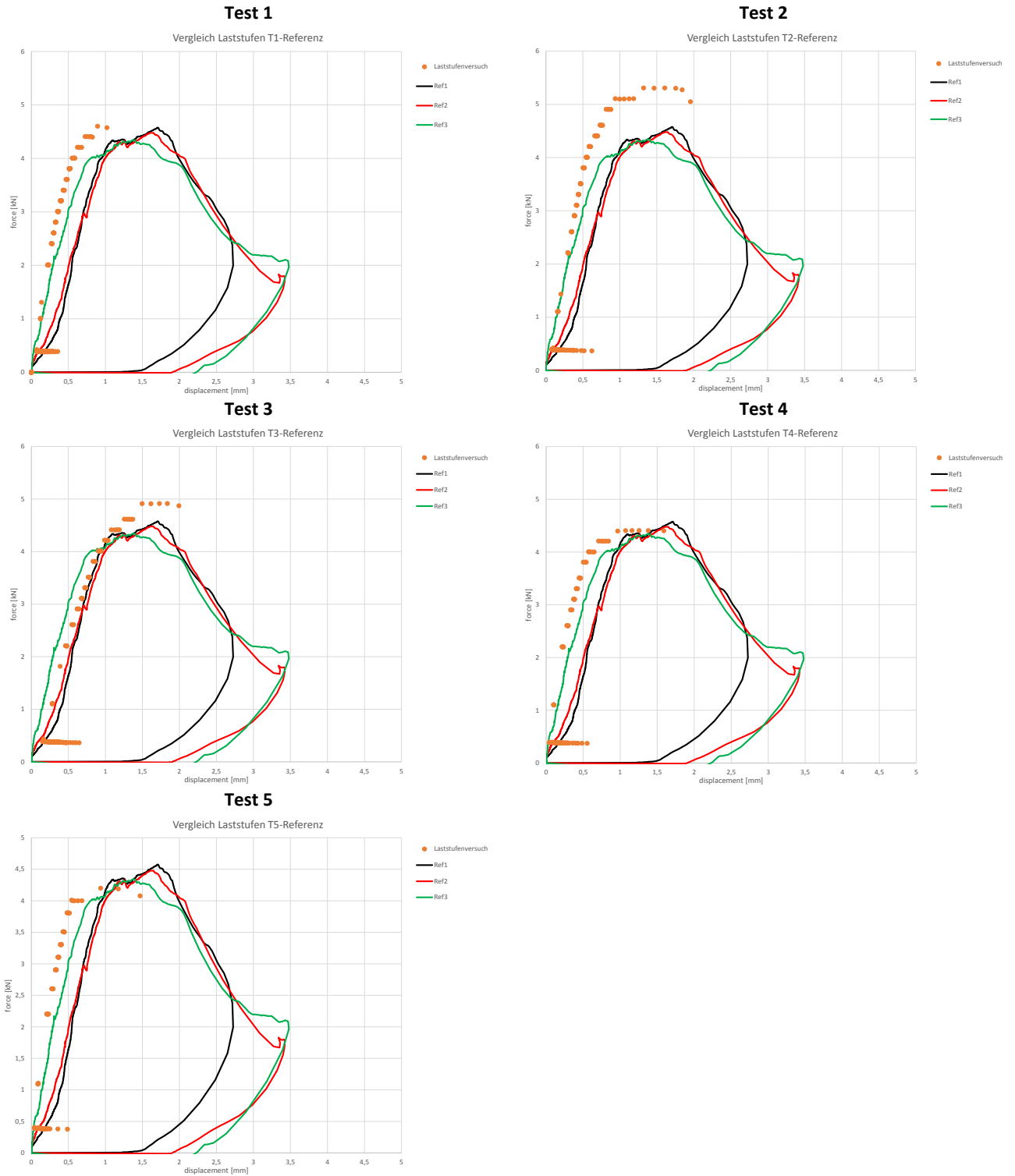


Abbildung 5-10 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Lochziegel, zwei Stege

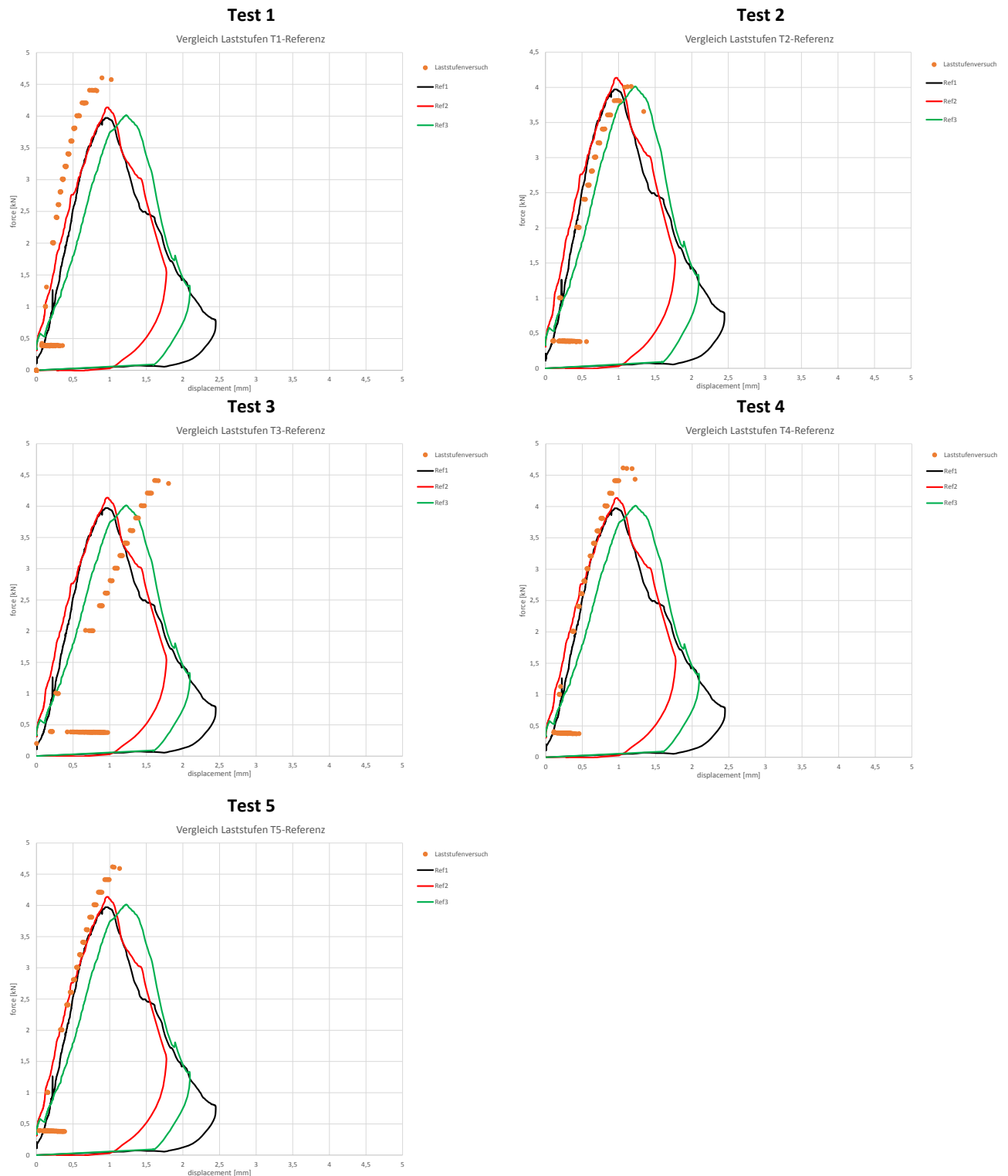


Abbildung 5-11 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Lochziegel, ein Steg

Es wird deutlich, dass die Stufentests eine steifere Last-Verformungscharakteristik aufweisen und daher zu geringeren Verformungen führen als die Referenzversuche. Dieses Verhalten deutet ebenfalls auf einen Trainingseffekt durch die Belastungshistorie in den Stufentests hin.

Es wird daher empfohlen, für Mauerwerk aus Ziegeln einen Abschlag von 10 % vorzunehmen.

5.1.2.2 Mauerwerk aus Leichtbeton

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 5-12 bis Abbildung 5-16) zeigen die Entwicklung der Standardabweichung der Verformung für die jeweiligen Laststufen.

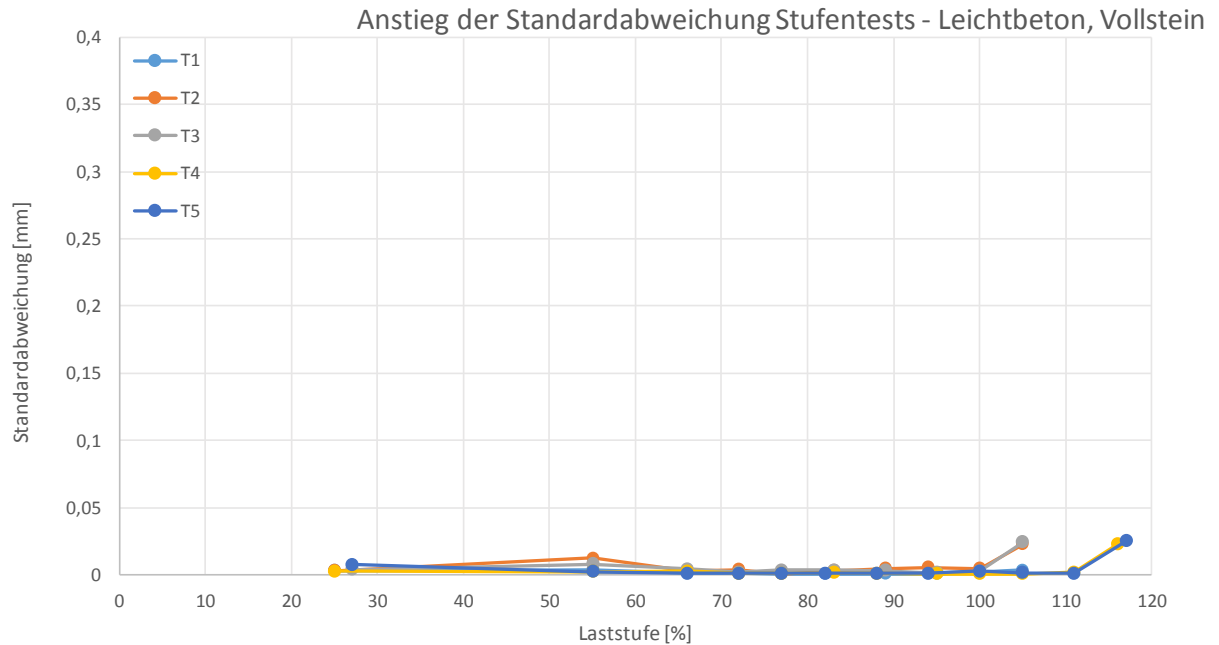


Abbildung 5-12 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Leichtbeton, Vollstein

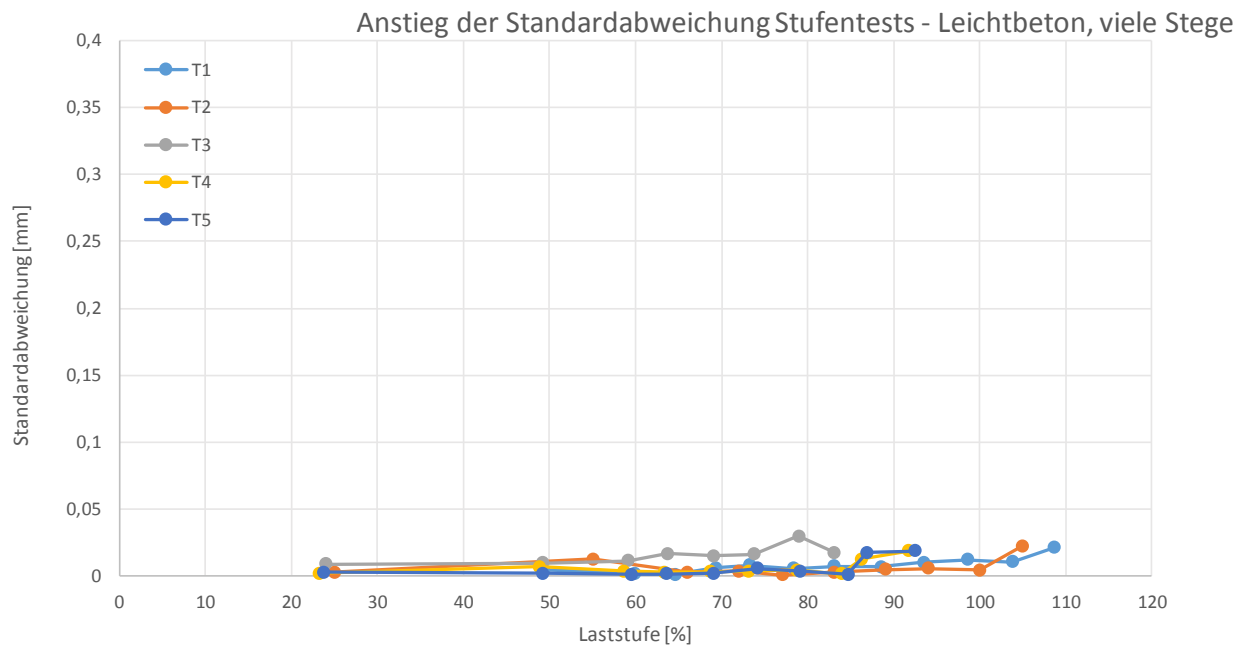


Abbildung 5-13 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Leichtbeton, viele Stege

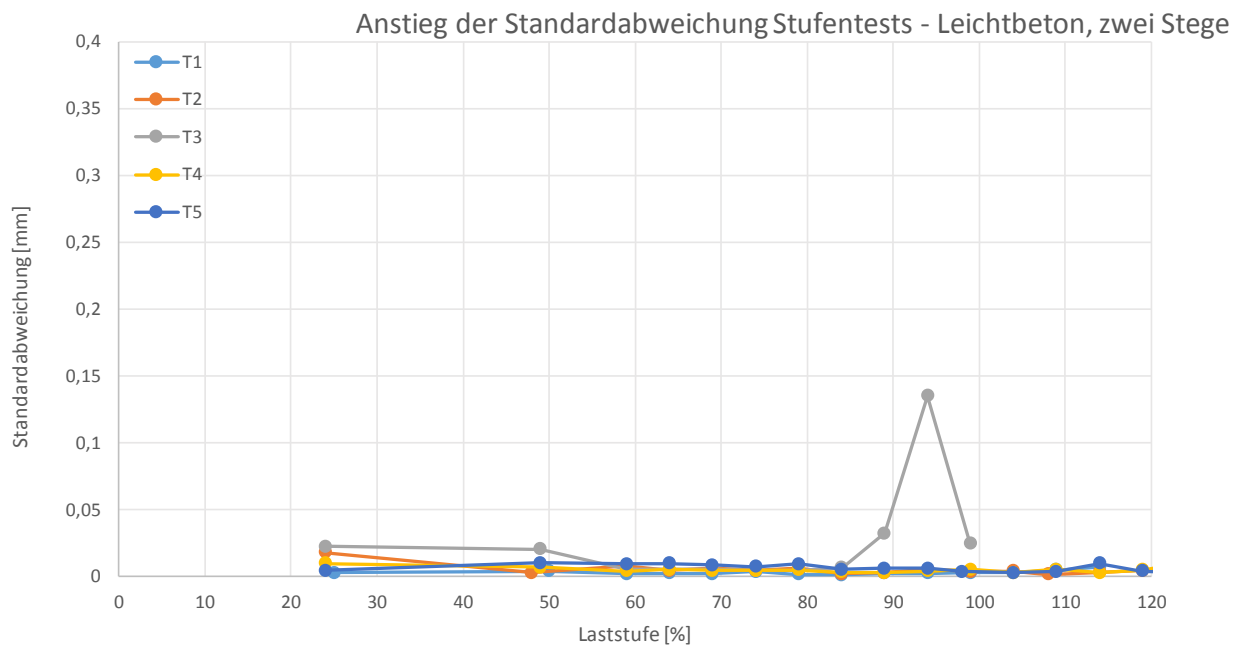


Abbildung 5-14 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Leichtbeton, zwei Stege

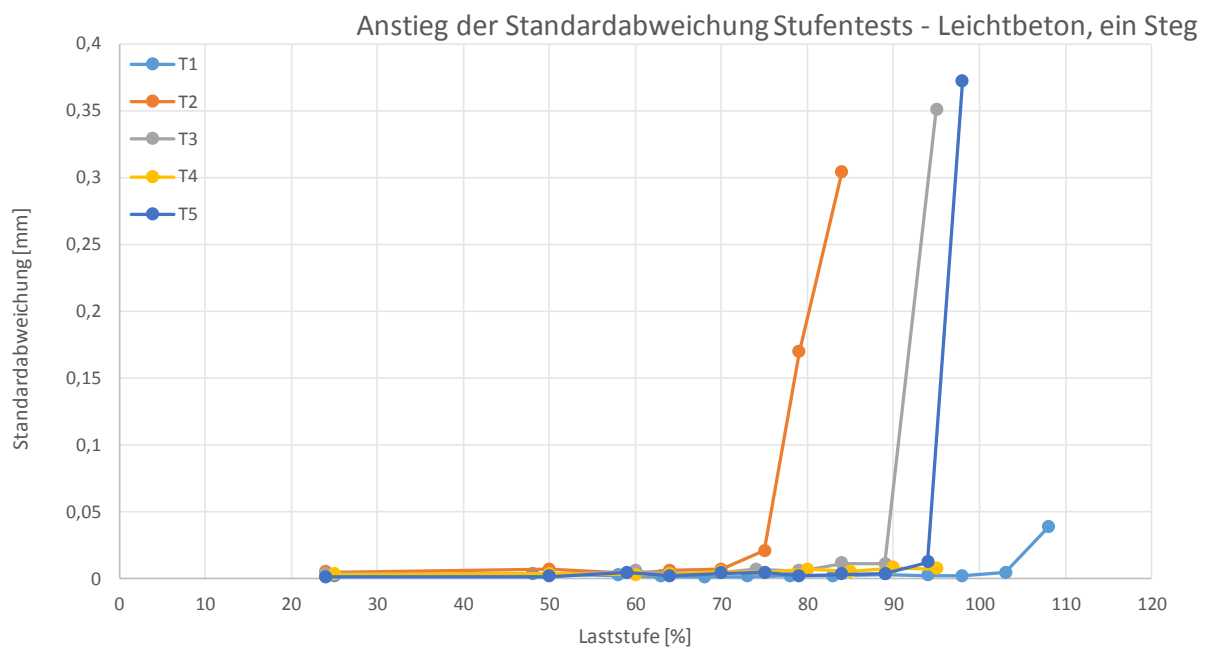


Abbildung 5-15 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Leichtbeton, ein Steg

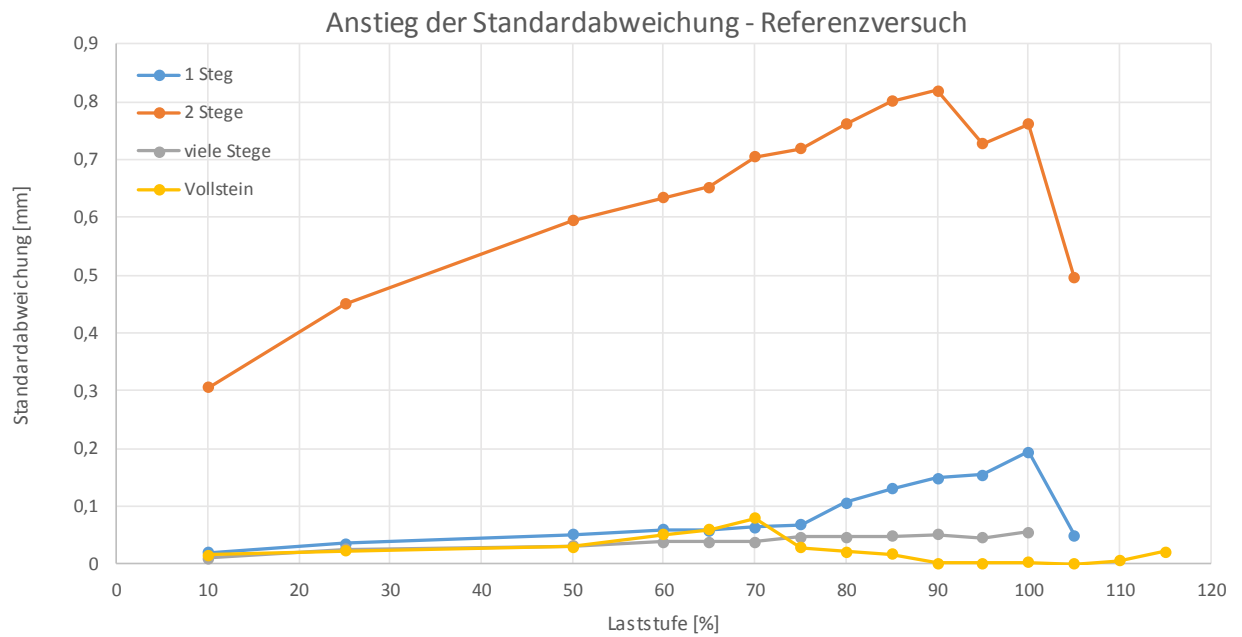


Abbildung 5-16 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Leichtbeton, Referenz

Tabelle 5-2: Laststufe mit Anstieg der Streuung der Verformung – Mauerwerk aus Leichtbeton

Untergrund Leichtbeton	Referenztest	Stufentest
Vollstein	100 %	100 %
Hohlstein, viele Stege	100 %	75 %
Hohlstein, zwei Stege	k. B. ¹⁾	85 %
Hohlstein, ein Steg	75 %	70 %

¹⁾ keine Bewertung möglich

Die Bewertung der Standardabweichung der Verformungen in den einzelnen Laststufen liefert in den Leichtbetonsteinen kein schlüssiges Bild.

Im Folgenden sind für die verschiedenen Verankerungsgründe die Schar der Referenzversuche den Laststufen der einzelnen Stufentests gegenübergestellt.

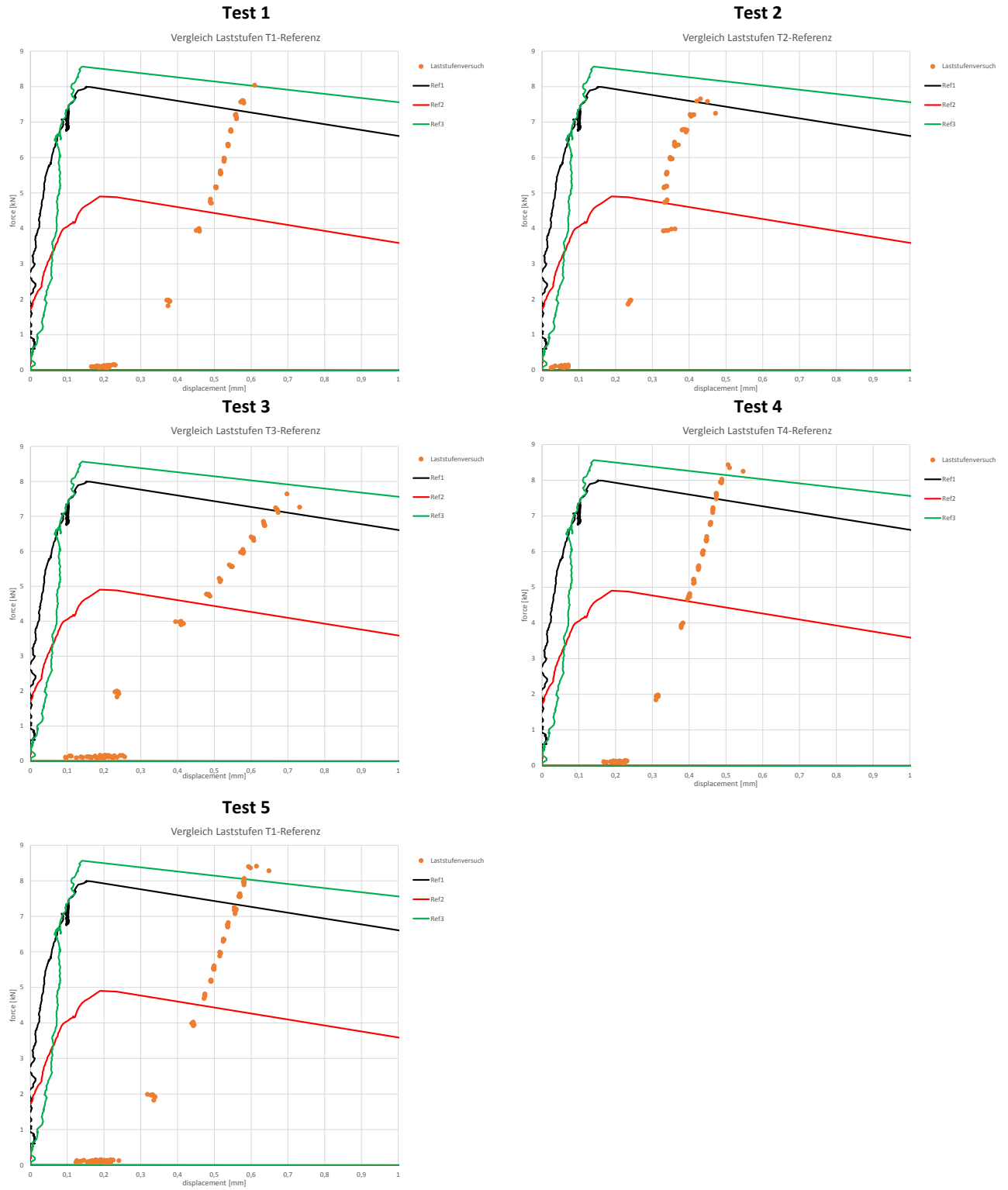


Abbildung 5-17 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Leichtbeton, Vollstein

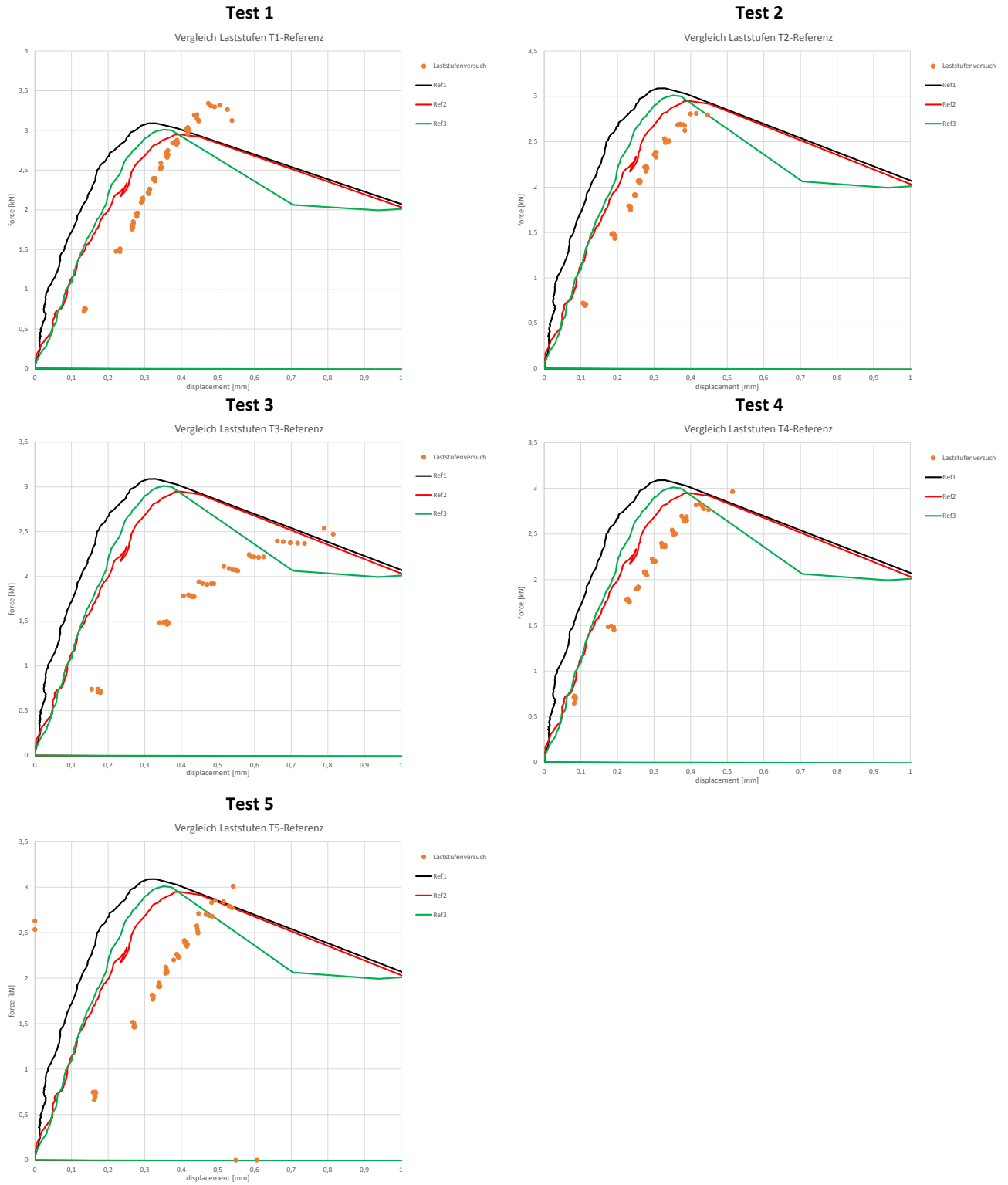


Abbildung 5-18 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Leichtbeton, viele Stege

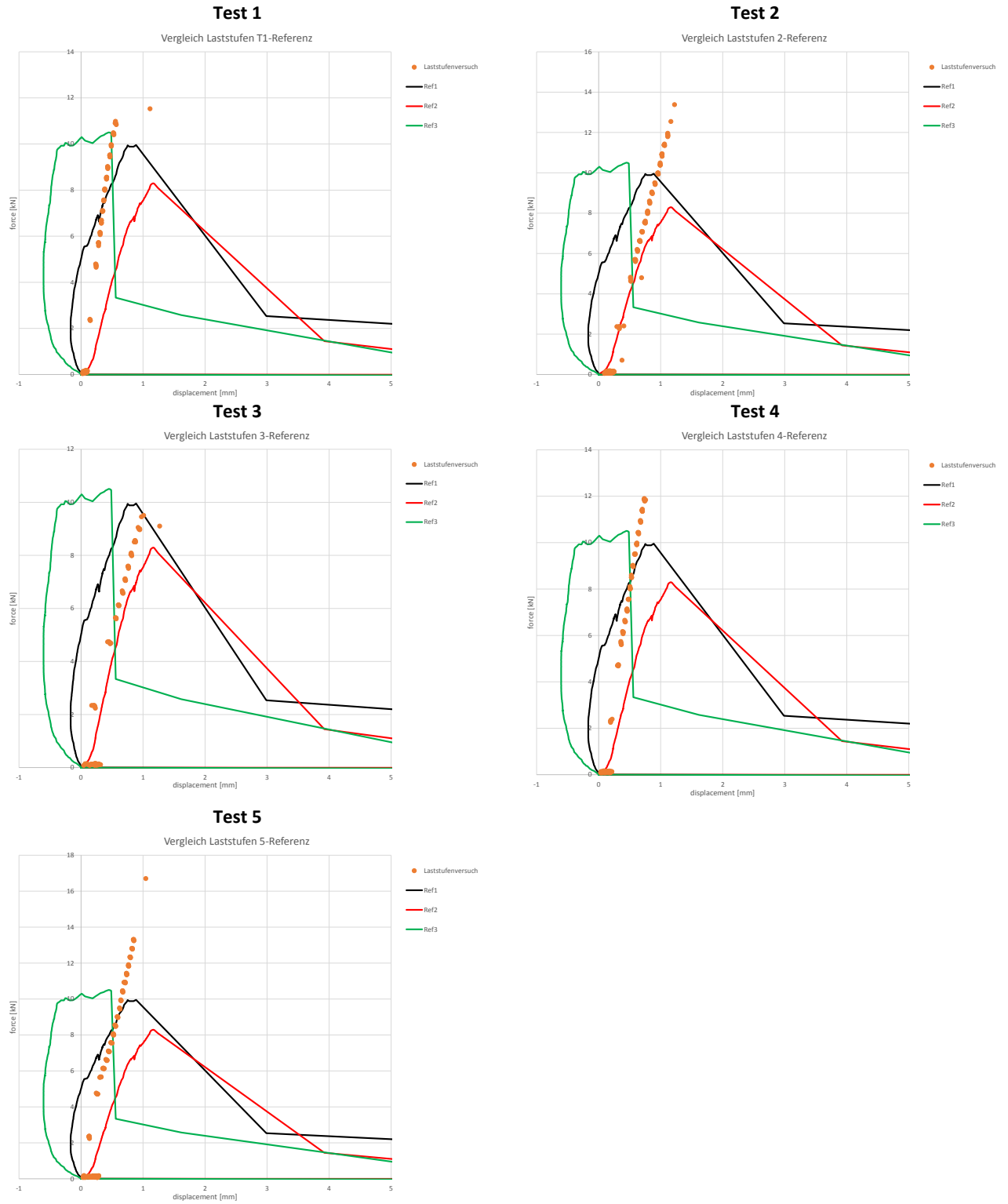


Abbildung 5-19 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Leichtbeton, zwei Stege

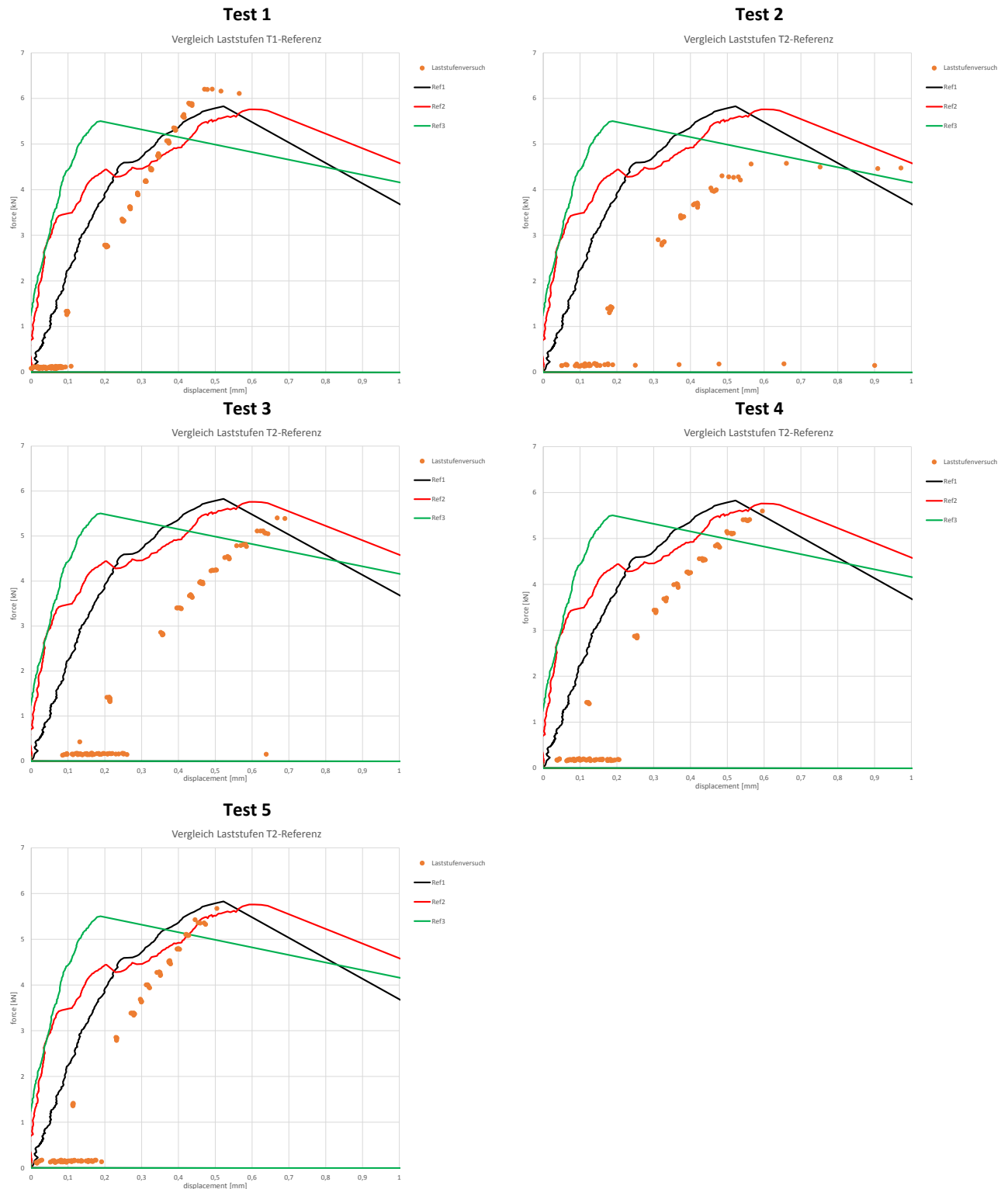


Abbildung 5-20 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Leichtbeton, ein Steg

In den Stufentests zeigen sich teilweise deutlich größere Verformungen und eine deutliche veränderte Last-Verformungscharakteristik, die möglicherweise mit der Art der Verformungsmessung in Zusammenhang steht. Aufgrund der sehr unregelmäßigen Oberfläche der Leichtbetonsteine scheint eine Verformungsmessung auf dieser Oberfläche nicht zielführend zu sein. Eine detaillierte Bewertung ist daher nicht möglich.

5.1.2.3 Mauerwerk aus Kalksandstein

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 5-21 bis Abbildung 5-25) zeigen die Entwicklung der Standardabweichung der Verformung für die jeweiligen Laststufen.

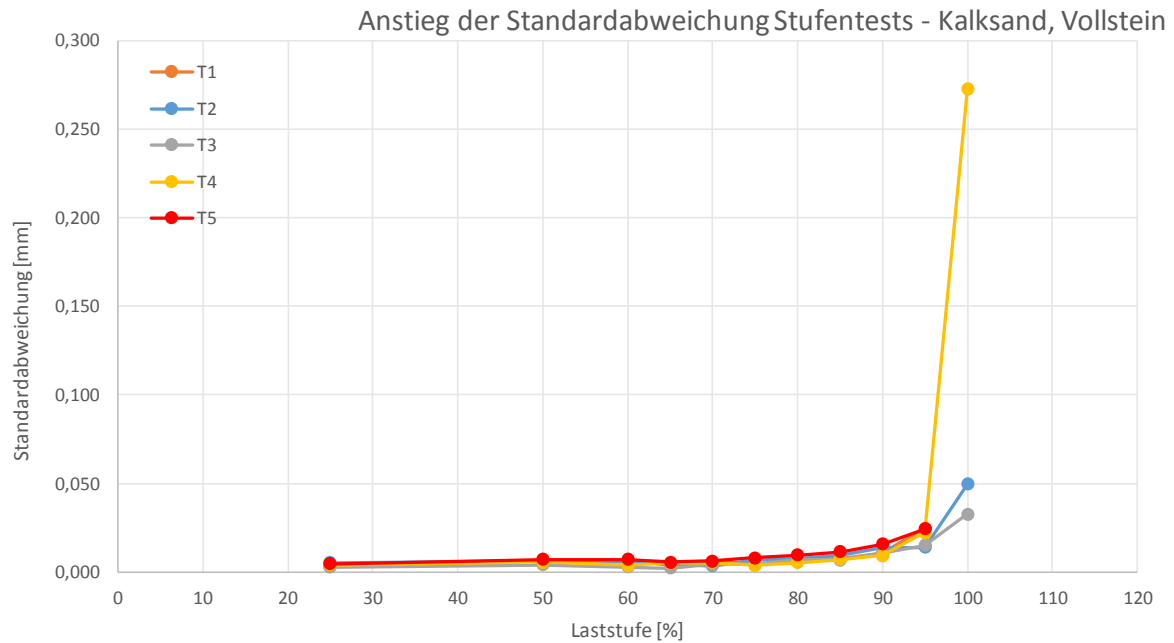


Abbildung 5-21 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Kalksand, Vollstein

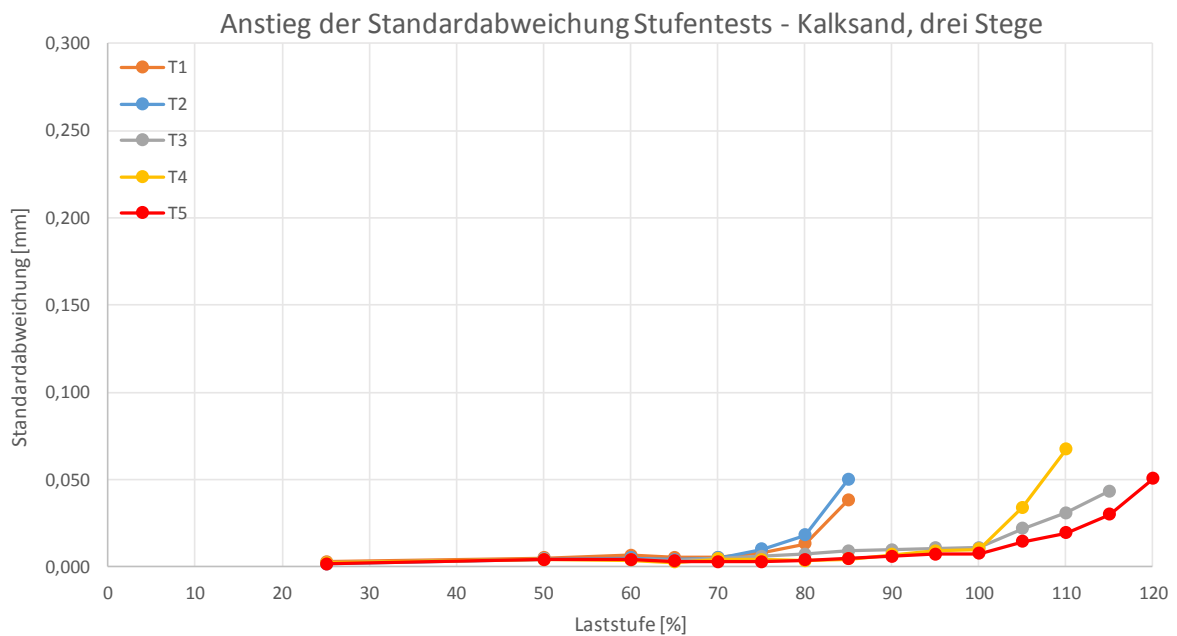


Abbildung 5-22 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Kalksand, drei Stege

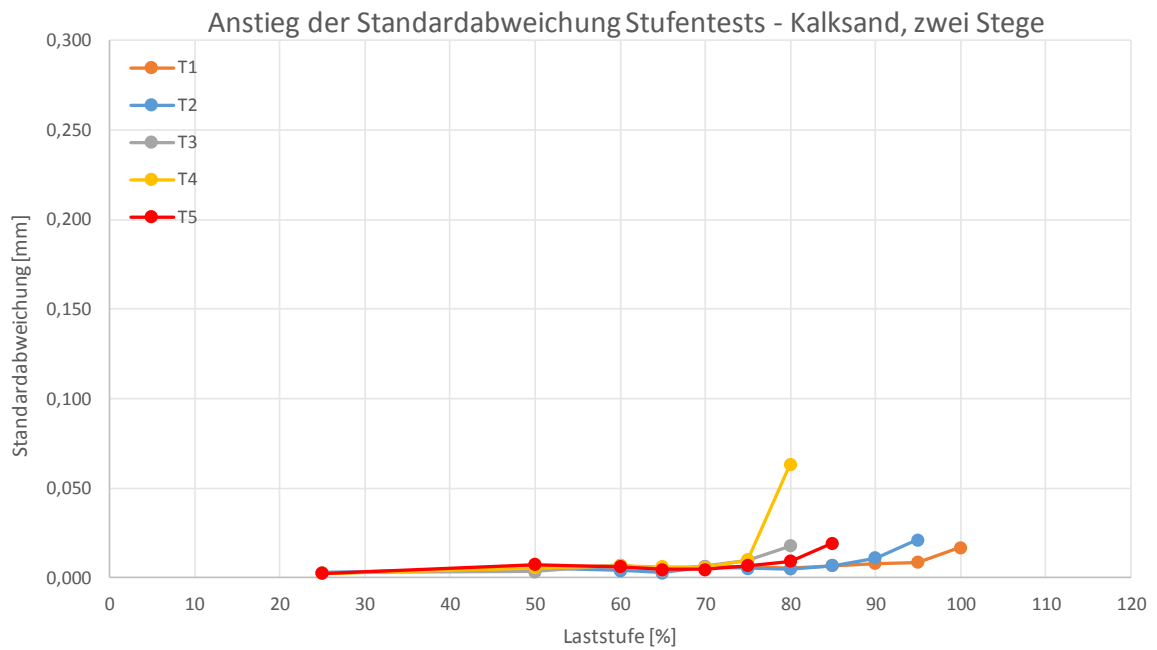


Abbildung 5-23 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Kalksand, zwei Stege

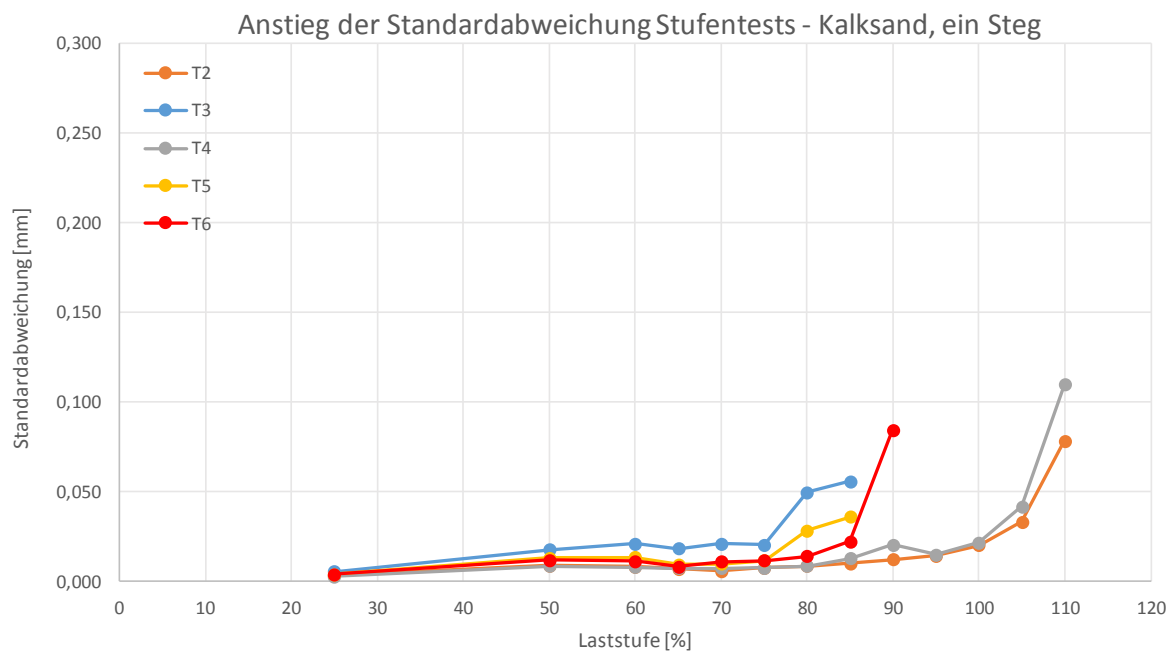


Abbildung 5-24 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Kalksand, ein Steg

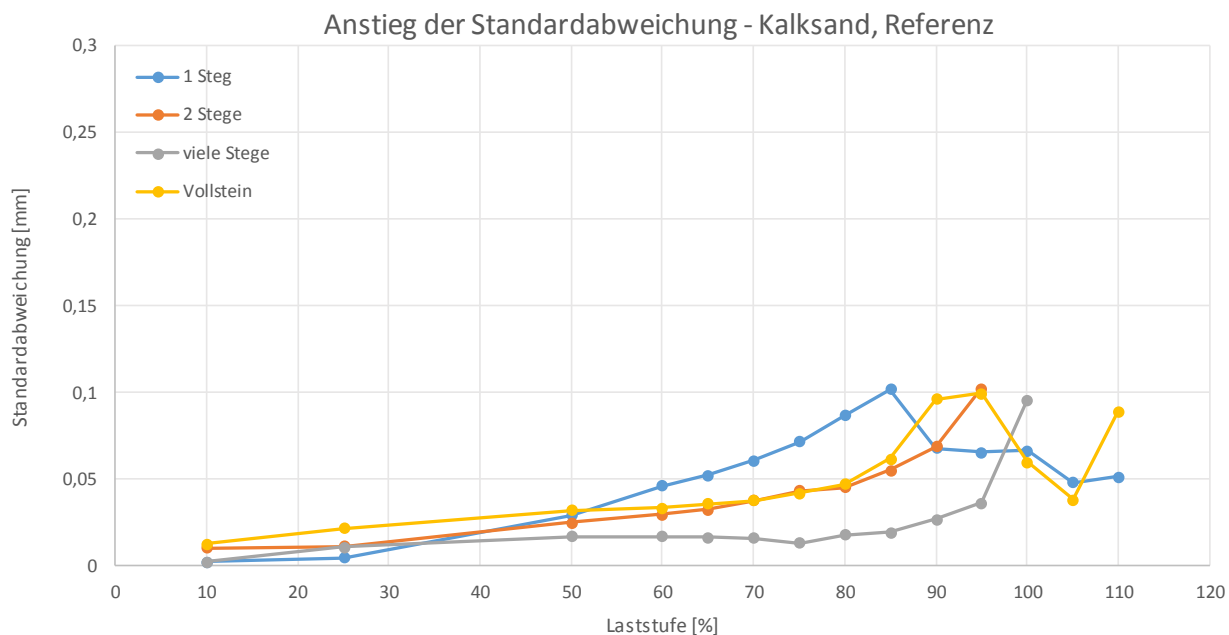


Abbildung 5-25 Entwicklung der Standardabweichung der Verformungen der einzelnen Laststufen – Kalksand, Referenz

Tabelle 5-3: Laststufe mit Anstieg der Streuung der Verformung – Mauerwerk aus Kalksandstein

Untergrund Leichtbeton	Referenztest	Stufentest
Vollstein	80 %	95 %
Hohlstein, viele Stege	95 %	70 %
Hohlstein, zwei Stege	80 %	75 %
Hohlstein, ein Steg	70 %	75 %

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 5-3 kann entnommen werden, dass sich die Verformungszunahme während der Versuche in den Stufentests ähnlich entwickelt wie in den Referenzversuchen. Eine vorzeitige Schädigung des Untergrunds durch die Stufenbelastung kann daher aus dieser Bewertung nicht bzw. nur bedingt abgeleitet werden.

Im Folgenden sind daher für die verschiedenen Verankerungsgründe die Schar der Referenzversuche den Laststufen der einzelnen Stufentests gegenübergestellt.

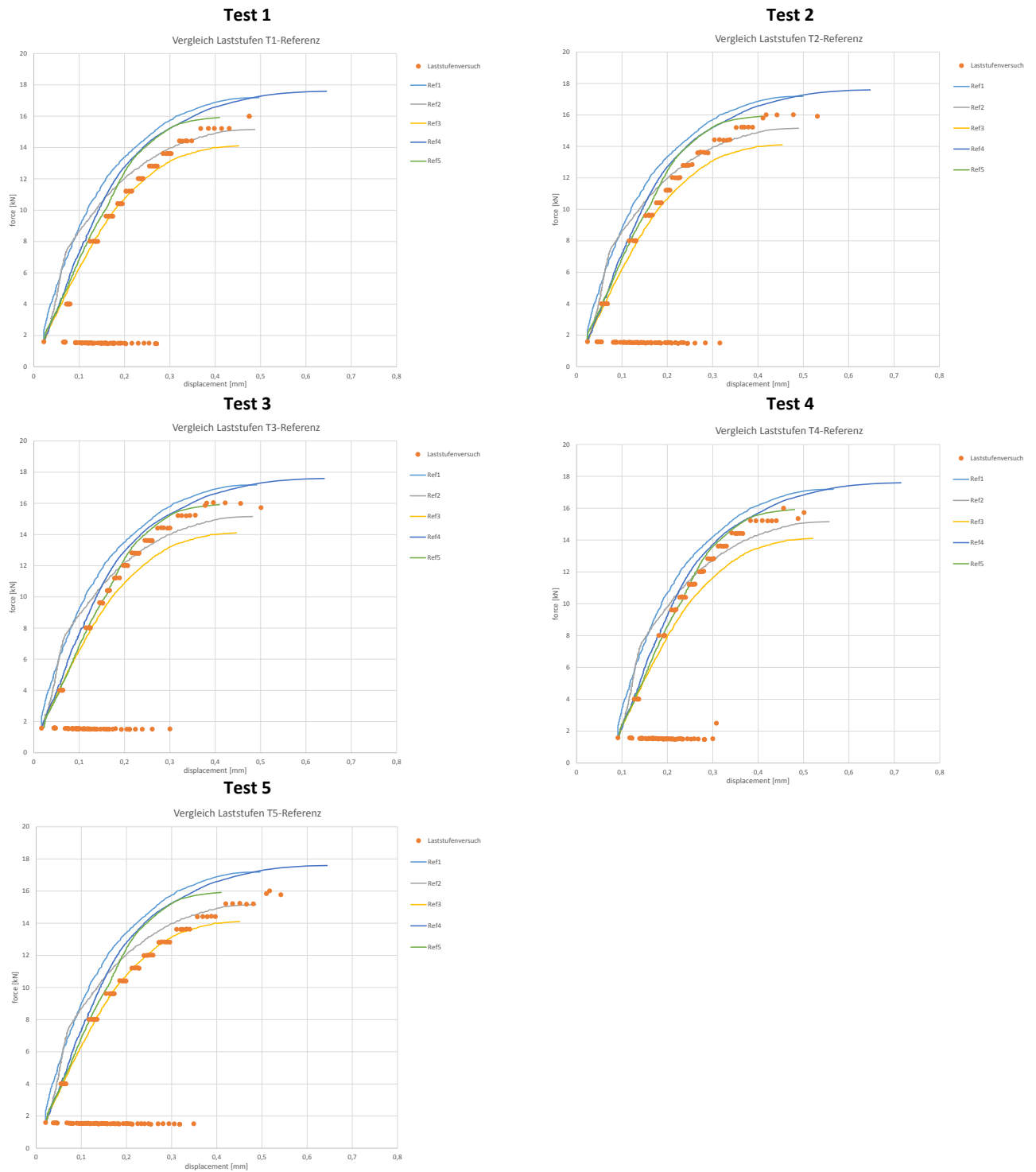


Abbildung 5-26 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Kalksand, Vollstein

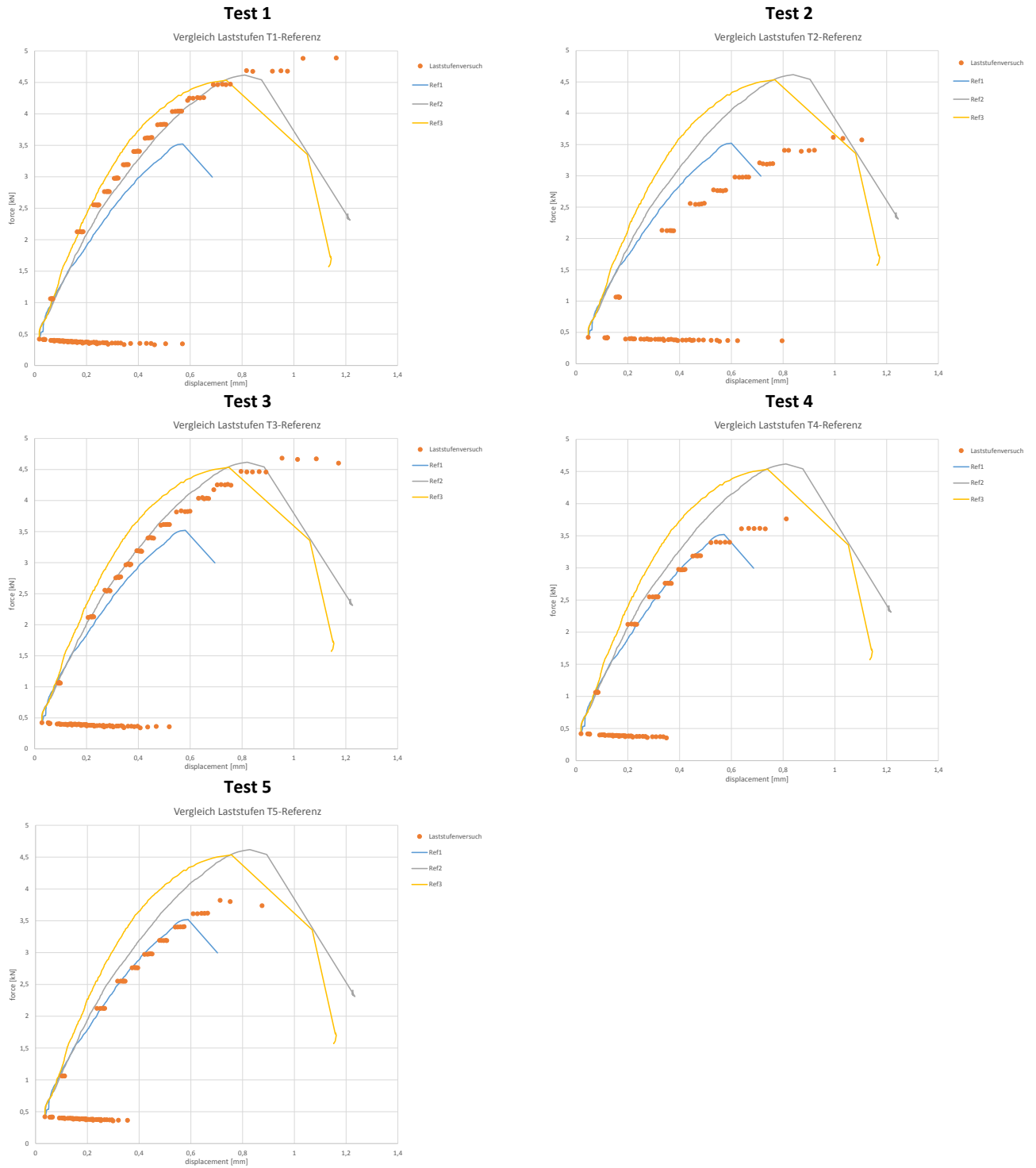


Abbildung 5-27 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Kalksand, ein Steg

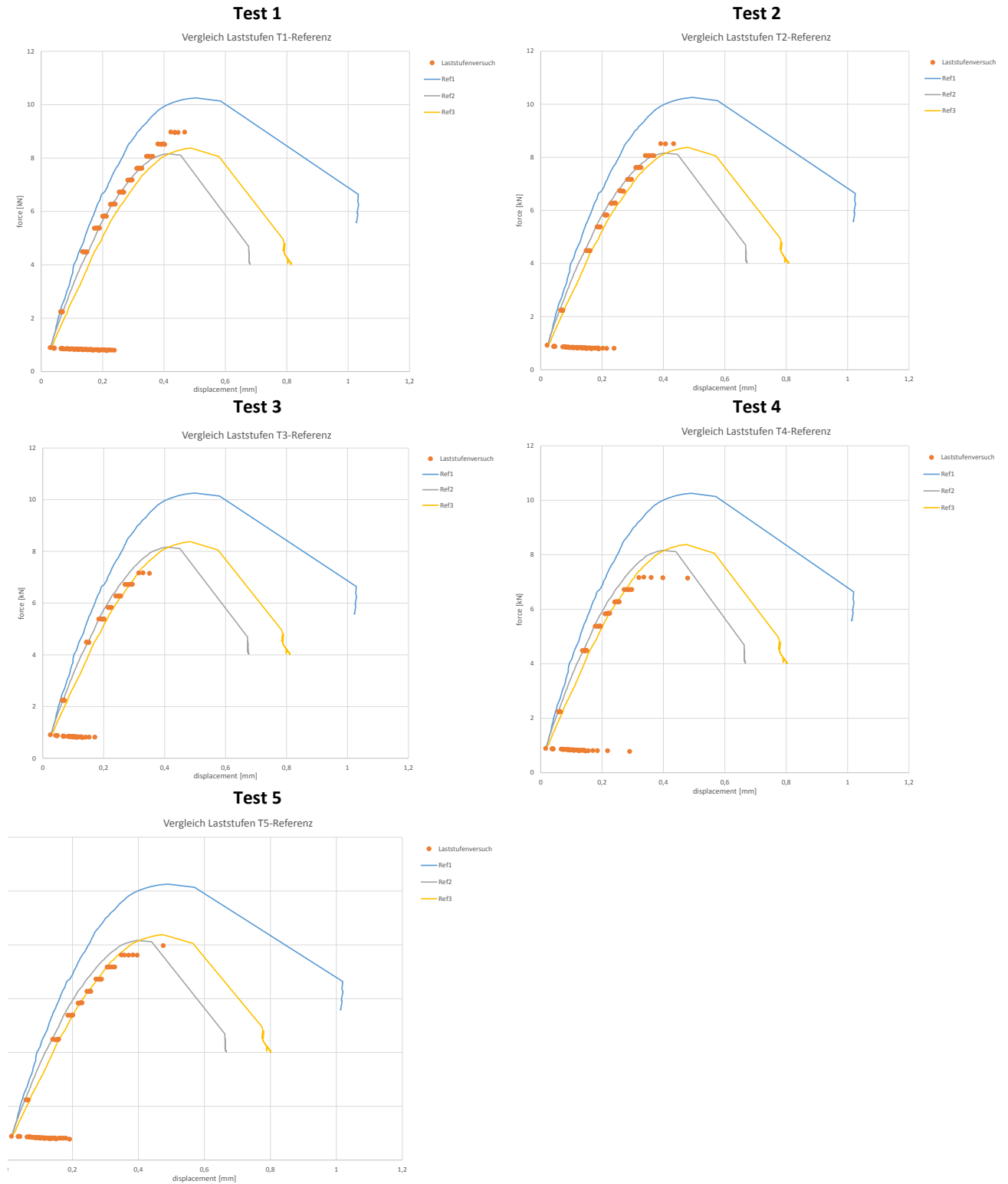


Abbildung 5-28 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Kalksand, zwei Stege

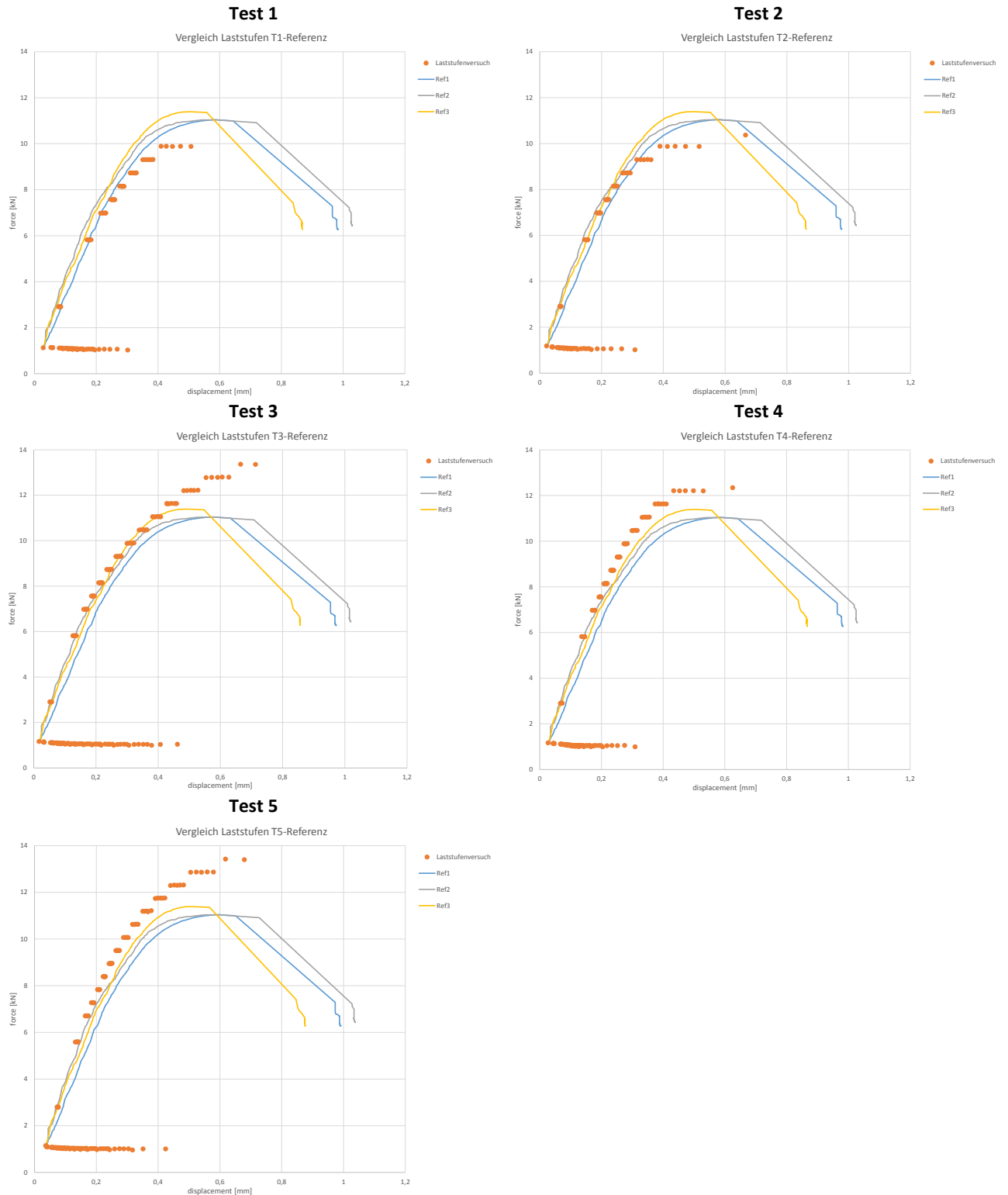


Abbildung 5-29 Vergleich der Schar der Referenzversuche mit den einzelnen Laststufen – Kalksand, drei Stege

Die Stufentests im Kalksandstein zeigen ein mit den Referenztests vergleichbares Lastverformungsverhalten. Ein Einfluss aus den Stufentests und damit einer signifikanten Vorschädigung ist nicht erkennbar.

5.1.3 Fazit aus den Stufentests

In Stufentests mit ansteigenden Laststufen wurde das Bruchniveau von verschiedenen Injektionsverankerungen in Steinen unterschiedlicher Geometrie und unterschiedlichen Materials untersucht.

Aus dem Vergleich der Bruchlasten lassen sich keine Vorschädigungen ableiten, obwohl der Mittelwert der Referenzversuche als Bezugswert zugrunde gelegt wurde. Es zeigt sich aber ein sog. Trainingseffekt, insbesondere in den Versuchen im Ziegelmauerwerk, so dass eine Reduktion auf 90 % berücksichtigt werden sollte.

Die Analyse der Verformungen zeigen im Ziegel und im Kalksandstein keine Auffälligkeiten, so dass kein Einfluss einer Vorschädigung erkennbar wird. Die Verformungen in den Leichtbetonsteinen ließen keine Bewertung zu.

ETAG 029 lässt einen Variationskoeffizienten von 20 % für die Versagenslasten in den Anwendungstests zu. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen lagen die ermittelten Variationskoeffizienten der Versagenslasten mit 0,1 % und maximal 21,2 % ebenfalls in diesem Bereich. Daher folgt, dass das charakteristische Niveau z. T. sehr nahe am Mittelwert liegt, aber teils auch deutlich entfernt ist. Ein möglicher Einfluss aus einer Vorschädigung wird zusätzlich durch einem sog. Trainingseffekt überlagert, so dass keine eindeutige Aussage zum Einfluss einer Vorschädigung getroffen werden kann.

Es wird daher empfohlen, die Prüfungen am Bauwerk nicht auf dem charakteristischen Niveau durchzuführen und den Faktor $\alpha_{\text{Probe}} = 0,9$ zu wählen.

5.2 Einfluss der Abstützbreite der Versuchseinrichtung - α_{dist}

Bei einer 3-Punkt-Abstützung ist als Abstützbreite a_{dist} der Durchmesser des Kreises um den Injektionsanker zu verstehen, auf dem die drei Auflagerpunkte der Testeinrichtung auf dem Stein abstützen (siehe Abbildung 5-30). Somit entspricht die Abstützbreite dem doppelten Abstand vom Injektionsanker zu einem Abstützpunkt.

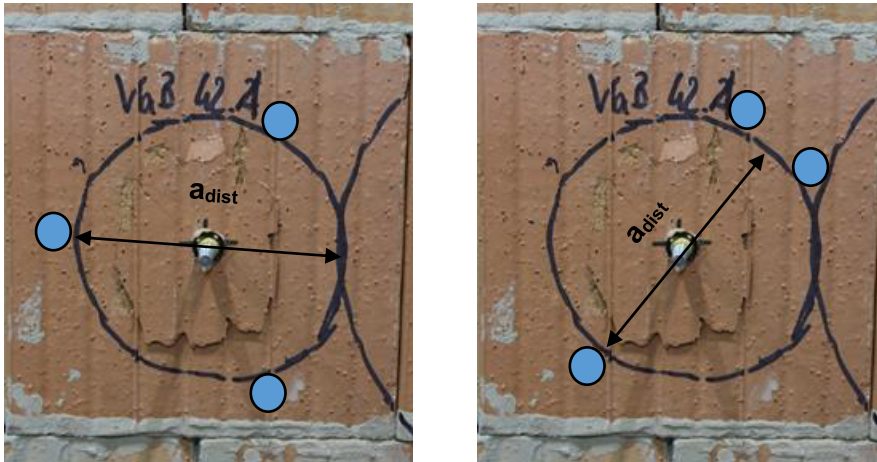


Abbildung 5-30: Beispiele für eine 3-Punkt-Abstützung

In Abbildung 5-31 sind die Verhältniszerte der Mittelwerte aus den Versuchen mit reduzierter Abstützbreite ($a_{dist} = 150 \text{ mm}$) zu den Referenzversuchen (Abstützbreite $a_{dist} \geq 3 h_{ef}$) dargestellt. Erwartungsgemäß liegen die Tragfähigkeiten bei reduzierter Abstützung über den Tragfähigkeiten der Referenzversuche. Während in Kalksandsteinen die maximale Tragfähigkeitssteigerung ca. 9 % beträgt, sind sowohl in den Ziegel- als auch in den Leichtbetonsteinen Tragfähigkeitssteigerungen von bis zu 33 % zu beobachten.

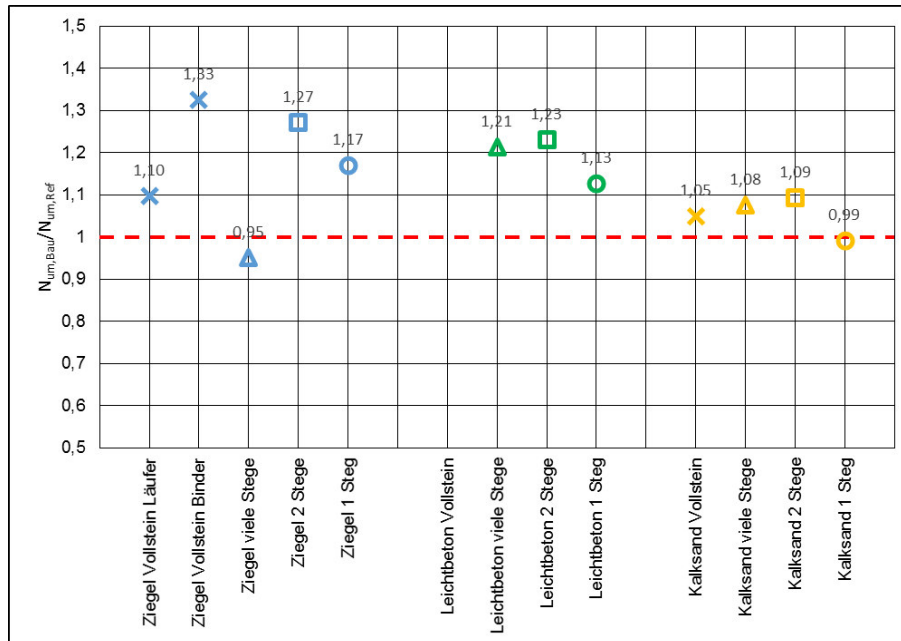


Abbildung 5-31: Darstellung der Versuchsergebnisse in allen Steinen als Verhältniszert $N_{num,Bau} / N_{num,Ref}$

Diese Tragfähigkeitssteigerung ist nicht vernachlässigbar und muss deshalb bei Abstützbreiten von $a_{dist} < 3 h_{ef}$ berücksichtigt werden. Im folgenden Diagramm sind die Versuchsergebnisse als Verhältnis

der Mittelwerte der Versagenslasten aus den Referenzversuchen zu den Versagenslasten bei reduzierter Abstützbreite („Bau“) angegeben. Diese Faktoren entsprechen einem Abminderungsfaktor, der bei reduzierter Abstützung berücksichtigt werden muss, um die Tragfähigkeit der Befestigung nicht zu überschätzen. Tendenziell kann beobachtet werden, dass die reduzierte Abstützbreite zu höheren Versagenslasten führt. In der realen Belastungssituation ist von einem ungehinderten Ausbruch entsprechend einer großen Abstützung ($a_{\text{dist}} \geq 3 h_{\text{ef}}$) auszugehen. Deshalb führt die Versuchsdurchführung mit zu kleiner Abstützung zu Ergebnissen, die das Sicherheitsniveau verschlechtern. Um dies zu verhindern, muss bei Abstützbreiten $a_{\text{dist}} < 3 h_{\text{ef}}$ ein Faktor α_{dist} berücksichtigt werden.

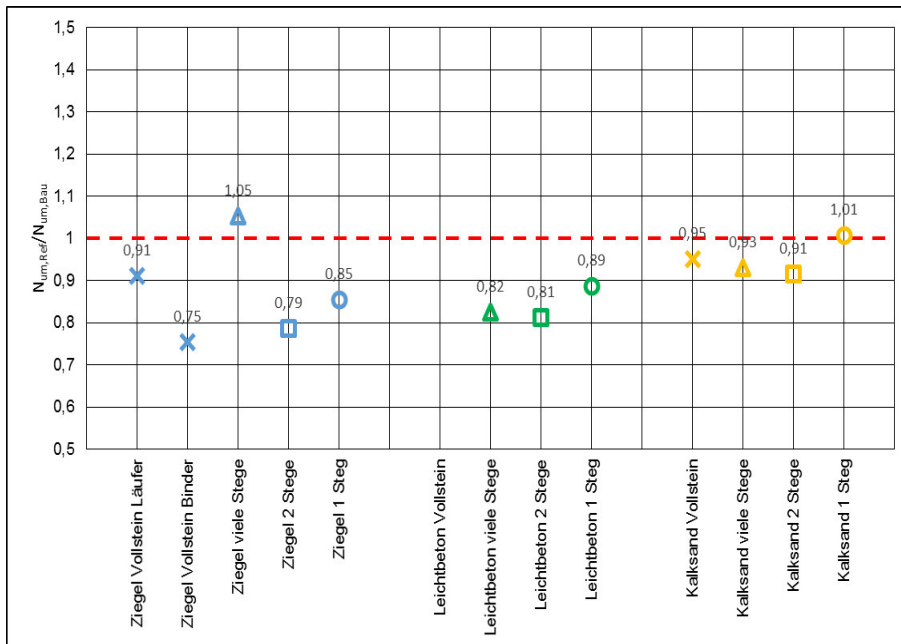


Abbildung 5-32: Darstellung der Versuchsergebnisse in alle Steinen als Verhältnswert $N_{\text{um,Ref}} / N_{\text{um,Bau}}$

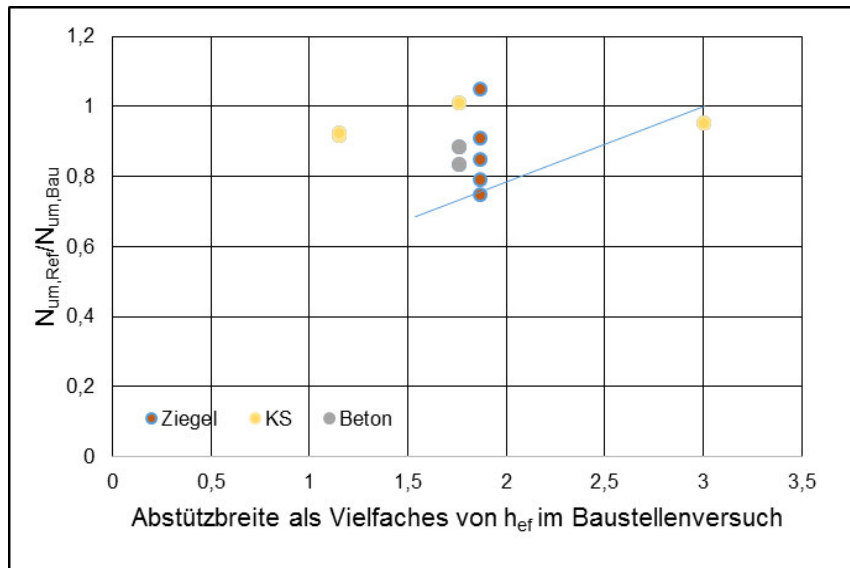


Abbildung 5-33: Darstellung der Versuchsergebnisse in alle Steinen als Verhältniswert $N_{\text{num,Ref}}/N_{\text{num,Bau}}$ über die Abstützbreite im Baustellenversuche als Vielfaches von h_{ef}

Aus den durchgeführten Versuchen resultiert ein kleinster Faktor von 0,75, der die maximale Abminderung der Versagenslast zwischen Versuchen mit Referenzabstützung ($a_{\text{dist}} \geq 3 h_{\text{ef}}$) und baupraktischer Abstützung ($a_{\text{dist}} = 150 \text{ mm}$) beschreibt. Der Einfachheit halber wird ein linearer Zusammenhang zwischen $a_{\text{dist}} = 1,5 h_{\text{ef}}$ und $a_{\text{dist}} = 3 h_{\text{ef}}$ angenommen. Basierend auf den Versuchsergebnissen (Abbildung 5-33) kann der Abminderungsfaktor α_{dist} , wie in Abbildung 5-34 und Gleichung 5.1 dargestellt, für Abstützbreiten zwischen $a_{\text{dist}} = 1,5 h_{\text{ef}}$ und $a_{\text{dist}} = 3 h_{\text{ef}}$ linear interpoliert werden. Abstützbreiten $a_{\text{dist}} < 1,5 h_{\text{ef}}$ sind nicht zulässig. Für Abstützbreiten $a_{\text{dist}} \geq 3 h_{\text{ef}}$ ist keine Abminderung und keine Lasterhöhung vorzunehmen.

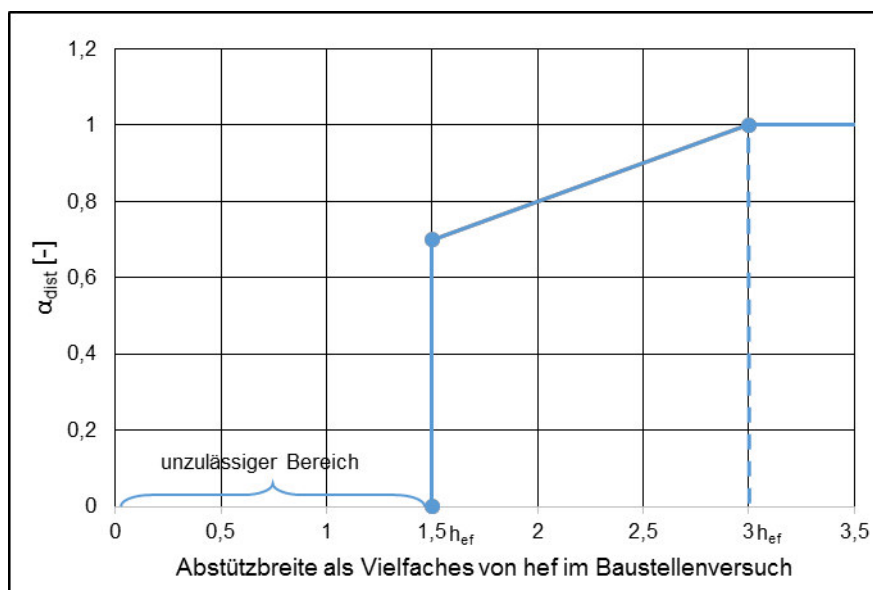


Abbildung 5-34: Abminderungsfaktor α_{dist} für Abstützbreiten kleiner $3 h_{\text{ef}}$

$$\alpha_{dist} = 0,4 + \frac{a_{dist}}{5 \cdot h_{ef}} \quad , \text{für} \quad 1,5 h_{ef} \leq a_{dist} < 3,0 h_{ef} \quad (5.3)$$

α_{dist} : Abminderungsfaktor durch kleine Abstützbreite

a_{dist} : Abstützdurchmesser (doppelter Abstand Injektionsanker-Abstützpunkt)

h_{ef} : Verankerungstiefe mit $h_{ef} \leq 150$ mm

In diesen Auswertungen wurde nicht die aktivierte Verankerungstiefe angesetzt, welche im Folgenden beschrieben wird, sondern die nominelle Verankerungstiefe.

Grundsätzlich hängt der Einfluss der Abstützbreite bei Hohlsteinen auch stark von der vorhandenen Lochgeometrie ab.

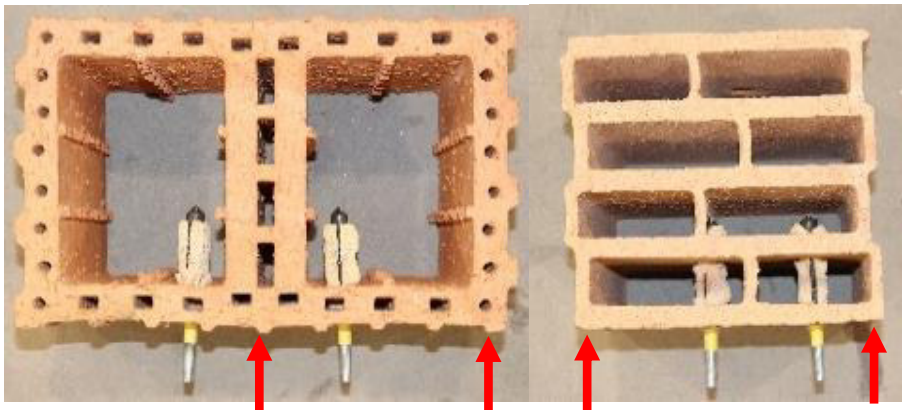


Abbildung 5-35: Beispiele zur Aktivierung von Stegen, links ein Steg, rechts zwei Stege

Bei Hohlsteinen kommt es je nach Kombination von Verankerungstiefe mit Hohlsteingeometrie zu Verankerungen, die zum Lastübertrag nicht die volle Verankerungstiefe aktivieren. In Abbildung 5-35 ist beispielhaft die Aktivierung von einem oder zwei Stegen dargestellt. In diesen Fällen kann bei genauer Kenntnis der Steingeometrie eine angepasste Abstützbreite gewählt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Abstützung mindestens auf den Quersteinen (siehe rote Pfeile in Abbildung 5-35) realisiert wird. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass sich die Verformung in den aktivierten Horizontalsteinen ungehindert einstellen kann.

Die hier durchgeführten Untersuchungen beschränkten sich auf Verankerungstiefen bis 130 mm. Die zuvor beschriebenen Auswertungen können nach Ermessen der Autoren für Verankerungstiefen bis 150 mm angewendet werden. Für größere Verankerungstiefen liegen uns keine Versuchsergebnisse vor.

6 Teilsicherheitskonzept

6.1 Allgemeines

Die rechnerischen Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit basieren auf einer Gegenüberstellung des Bemessungswertes der Auswirkungen von Einwirkungen mit dem Bemessungswert des Bauteilwiderstandes (siehe Gleichung 6.1).

Hierbei stellen E_d und R_d allgemeine Größen dar. Wegen des nichtlinearen Verhaltens von Befestigungen kann der Nachweis nicht anhand von Spannungen, sondern muss meist experimentell erbracht werden.

Das Sicherheitskonzept im Bauwesen basiert auf einem semi-probabilistischen Konzept. Bei diesem Konzept werden der Abstand der Bemessungseinwirkung E_d und des Bemessungswiderstandes R_d so festgelegt, dass eine ausreichend große Zuverlässigkeit β bzw. ausreichend kleine Versagenswahrscheinlichkeit p_f gewährleistet wird.

Ist die Bemessungseinwirkung E_d größer als der Bemessungswiderstand R_d kommt es zu einem Versagen. Um auf Bemessungsniveau ein Versagen zu vermeiden, muss Gleichung (6.1) erfüllt sein:

$$E_d < R_d \quad (6.1)$$

E_d = Bemessungseinwirkung

R_d = Bemessungswiderstand

Die Sicherheit bzw. die Zuverlässigkeit einer Verankerung wird zum einen durch die Streuungen der Einwirkungen und der Widerstände, sowie durch Fehler bei Planung, Ausführung und Nutzung (menschliches Fehlverhalten) gefährdet.

Menschliches Fehlverhalten ist in der Regel nicht durch ein Sicherheitskonzept zu erfassen, sondern muss durch zielgerichtete Maßnahmen wie z. B. die Prüfung (Prüfen von Einflüssen, Probelastungen, regelmäßige Inspektionen, usw.) bei der Herstellung während der Nutzungszeit möglichst ausgeschlossen werden. Lediglich der stochastische Charakter der Eingangsgröße für das menschliche Fehlverhalten kann durch probabilistische Verfahren erfasst werden.

Im Bauwesen wird dies – bauartübergreifend – durch den Ansatz charakteristischer Werte der Einwirkungen und der Widerstände bzw. Baustoffeigenschaften und die Vorgabe von Teilsicherheitsbeiwerten, die die Erfordernisse der Zuverlässigkeit in eine zahlenmäßige Bewertung umsetzen, erreicht. Die Basis des Sicherheitskonzepts bildet daher die stochastische Beschreibung von Eingangsgrößen über Verteilungsfunktionen.

Basis für die Festlegung der Bemessungseinwirkung E_d und des Bemessungswiderstandes R_d sind die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite γ_f und der Widerstandsseite γ_M . Der Teilsicherheitswert γ_f erhöht die charakteristische Einwirkung E_k , der Teilsicherheitsbeiwert γ_M reduziert den charakteristischen Widerstand R_k .

Der Abstand zwischen der charakteristischen Einwirkung und des charakteristischen Widerstandes wird als Teilsicherheitszone bezeichnet. Der Abstand von mittlerer Einwirkung E_m und mittlerem Widerstand R_m wird hingegen als zentrale Sicherheitszone γ_{ges} bezeichnet.

Um einen globalen Sicherheitsfaktor und damit die zentrale Sicherheitszone (γ_{ges}) ermitteln zu können, sind die Einwirkung und der Widerstand auf Basis des Mittelwerts und auf charakteristischer Basis zu

bestimmen. Dazu müssen für die Einwirkung und den Widerstand jeweils eine Verteilung angenommen werden.

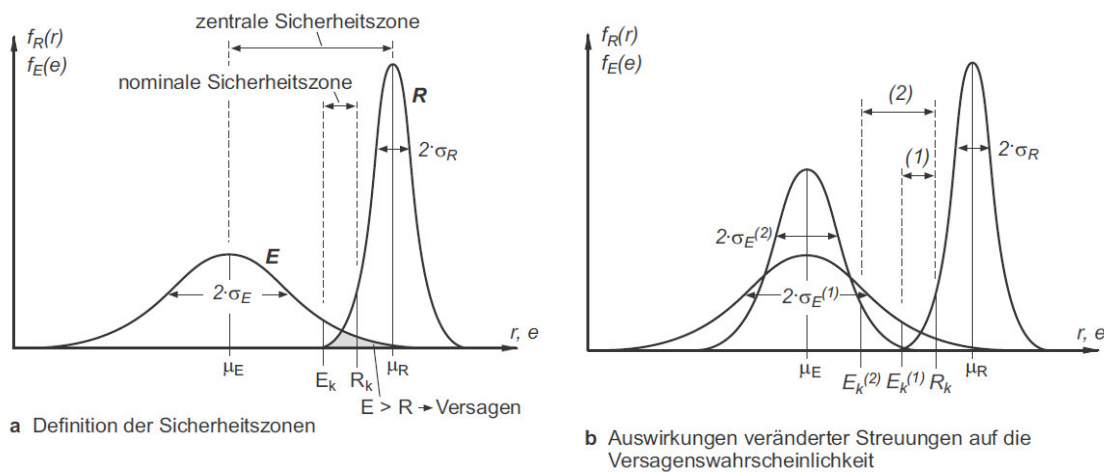


Abbildung 6-1: Definition der zentralen Sicherheitszone zwischen Einwirkung und Widerstand nach dem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept im Bauwesen [3].

Die Verteilungen, die auf der Einwirkungsseite angesetzt werden können, sind komplex und hängen maßgeblich von der Art der Einwirkung ab. In DIN EN 1990 [3] werden daher charakteristische Lasten angegeben, die je nach Belastungsart der 50%-Fraktile (Mittelwert), der 95%- oder 98%-Fraktile entsprechen. Schneelasten und Windlasten werden zudem mittels Extremwertverteilungen beschrieben. Es sollte daher bei der Definition der Einwirkungen auf die Angaben in DIN EN 1990 [3] zurückgegriffen werden.

Auf der Widerstandsseite kann eine Normalverteilung oder logarithmische Normalverteilung angenommen werden. Eine logarithmische Verteilung ist vor allem bei großen Streuungen (Variationskoeffizient $COV > 25\%$) anzunehmen, da ansonsten der rechnerische charakteristische Widerstand negativ wird, was physikalisch nicht möglich ist. Unter Annahme einer logarithmischen Normalverteilung werden negative Widerstände ausgeschlossen.

6.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Verankerungen in Mauerwerk

Es wird jeweils ein Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite und auf der Widerstandsseite angesetzt. Die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite werden durch die Prüfungen am Bau nicht beeinflusst. Die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite hingegen können auf Basis der Ergebnisse von Baustellenversuchen ggf. angepasst werden.

Der Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite teilt sich in zwei Anteile auf. Ein Teil des Sicherheitswertes deckt die Unsicherheiten bei den repräsentativen Baustoffeigenschaften ab. Zudem wird durch den Teilsicherheitsbeiwert die vorhandene Modellunsicherheit (Übertragung der Ergebnisse auf ein Bemessungsmodell) berücksichtigt. Der gesamte Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite beträgt (je nach Baustoff) zwischen 1,05 und 2,5. Die Höhe hängt dabei maßgeblich von der zu erwartenden Materialstreuung ab. Menschliches Fehlverhalten ist in derzeitigen Teilsicherheitsbeiwert nicht abgedeckt, da dies in den Qualifizierungsprüfungen mit abgeprüft wird.

Nach derzeitigem Stand sind für Verankerungen in Mauerwerk ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 2,5$ (Ziegel-, Kalksandsteine und Betonsteine) und $\gamma_M = 2,0$ für Porenbeton zu verwenden. Für Verankerungen in Beton ist ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,5$ zu verwenden.

Für Beton muss in der Regel eine Streuung von $COV = 15\%$ bei Mauerwerk von ca. $COV = 20\%$ ausgegangen werden. Diese Streuung muss auch dann angenommen werden, wenn in Versuchen (Stichprobe) eine geringere Streuung ermittelt wurde. Grund dafür ist, dass die Streuung einer Stichprobe nicht die generelle Materialstreuung für eine unbegrenzte Stichprobe repräsentiert. Im Teilsicherheitsbeiwert ist auch die Modellunsicherheit enthalten. Dieser Anteil kann bei sehr geringer oder keiner Modellunsicherheit reduziert werden.

6.3 Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes aufgrund von Probelastungen

Es sind grundsätzlich drei Möglichkeiten für die Prüfung von Verankerungen am Bau vorgesehen. Dies sind die Auszugsversuche, die Probelastungen und die Abnahmeversuche.

Werden Auszugsversuche am Bauwerk durchgeführt, so entspricht dies der Vorgehensweise bei der Prüfung im Labor unter realen Baustellenbedingungen. Daher kann in diesem Fall die Modellunsicherheit im Teilsicherheitsbeiwert unberücksichtigt bleiben. Daher kann der Teilsicherheitsbeiwert verringert und der derzeit angenommenen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 2,5$ auf $\gamma_M = 2,5 / 1,1 \approx 2,25$ reduziert werden.

Werden bei Abnahmeversuchen alle Dübel am Bauwerk geprüft und ist die mittlere Bruchlast bekannt, so kann davon ausgegangen werden, dass keine Modellunsicherheit mehr vorliegt und ein Versagen unterhalb der Probelastung ausgeschlossen ist. Dadurch wird eine untere Grenze des Widerstandes abgeprüft, die bei der semi-probabilistischen Berechnung berücksichtigt werden kann. Dadurch ist es möglich, einen Teilsicherheitsbeiwert anzusetzen, der geringer ist als $\gamma_M = 2,25$. Grundlage hierfür ist die Berechnung mit dem semi-probabilistische Teilsicherheitskonzept.

Die Versagenswahrscheinlichkeit p_f und der Sicherheitsindex β sind über die Standardnormalverteilung miteinander gekoppelt (siehe Tabelle 6-1).

Unter Zuverlässigkeit versteht man das Komplement zur Versagenswahrscheinlichkeit, die Überlebenswahrscheinlichkeit $p_r = 1 - p_f$. Mit größerem Sicherheitsindex β sinkt die Versagenswahrscheinlichkeit und das Zuverlässigkeitsniveau steigt an (Tabelle 6-1). D. h. die Wahrscheinlichkeit für ein Versagen wird geringer.

Tabelle 6-1: Zusammenhang von Versagenswahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeitsindex

p_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β (1 a)	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20
β (50 a)	–	0,21	1,67	2,55	3,21	3,83	4,41

Die operative Versagenswahrscheinlichkeit p_f dient also der Definition eines einzuhaltenden Zuverlässigkeitsniveaus. Grundsätzlich beschreibt der Zusammenhang von p_f und β zeitunabhängige Zuverlässigkeitsprobleme. Veränderungen der Festigkeiten mit der Zeit (Alterung) sind nicht enthalten. Gleichzeitig werden aber in den Einwirkungsmodellen zeitabhängige Effekte berücksichtigt. Die Versagenswahrscheinlichkeiten gelten nur für den entsprechenden Bezugszeitraum der Einwirkung. Für Verankerungen muss aufgrund der Einwirkungen von einem Betrachtungszeitraum von 1 Jahr ausgegangen werden.

Die Berechnung des Teilsicherheitsbeiwertes für Mauerwerk kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$\gamma_m = \frac{R_k}{R_d} = \frac{\mu_R(1 - k \cdot \delta_R)}{\mu_R(1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot \delta_R)} = \frac{1 - k \cdot \delta_R}{1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot \delta_R} \quad (6.2)$$

- R_k : Charakteristischer Widerstand
- R_d : Bemessungswiderstand
- μ_R : Mittelwert des Widerstandes
- k : Statistikfaktor = 1.645 für Normalverteilung
- δ_R : Streuung des mittleren Widerstandes

Bei einer Annahme von $k = 1.645$, $\alpha_R = 0.8$ mit einer Grundstreuung $\delta_R = \text{COV} \leq 20\%$ ergibt sich ein Teilsicherheitsbeiwert von $> 2,5$. Dabei wird von einem Zuverlässigkeitsindex von 4,75 bzw. einer Versagenswahrscheinlichkeit von ca. 1×10^{-6} ausgegangen. Der Zuverlässigkeitsindex hängt sehr stark von der zu erwartenden Streuung des Widerstandes ab. Daher wird im Folgenden die Zuverlässigkeit anhand der globalen Sicherheit berechnet.

Die Berechnung des Sicherheitsindex erfolgt dabei unter Annahme einer globalen Sicherheit von $\gamma_{\text{ges}} = 8,0$ bezogen auf den Mittelwert der Einwirkung m_E und den Mittelwert des Widerstandes m_R (Siehe Abbildung 6-1 → globale Sicherheitszone).

Die Gesamtsicherheit kann für eine Streuung des Widerstandes von $\text{COV}_R = 18\%$ mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 2,5$ und der Streuung der Einwirkung von $\text{COV}_E \leq 30\%$ und einem durchschnittlichen Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_E = 1,4$ wie folgt berechnet werden:

$$\gamma_{\text{Ges}} = \gamma_E \cdot \gamma_M \cdot (1 + 1,645 \cdot 0,30) / (1 - 1,645 \cdot 0,2) = 1,4 \cdot 2,5 \cdot 1,5 / (0,7) \approx 7,8$$

Damit ergibt sich mit folgender Gleichung ein Sicherheitsindex von $\beta = 4,7$ mit einer Versagenswahrscheinlichkeit von ca. $1 \cdot 10^{-6}$.

$$\beta = \frac{\gamma_{\text{ges}} - 1}{\sqrt{\gamma_{\text{ges}}^2 \cdot V_R^2 + V_E^2}} \quad (6.3)$$

- V_E : Variationskoeffizient der Einwirkung
- V_R : Variationskoeffizient des Widerstandes
- γ_{ges} : Globaler Sicherheitsbeiwert (globale Sicherheitszone, Abbildung 6-1)

Die Versagenswahrscheinlichkeit kann auch anhand der Verteilungsfunktion der Einwirkung $E(x)$ unter der Verteilungsfunktion des Widerstandes $R(x)$ berechnet werden. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit der sich überlappenden Verteilungsfunktionen ergibt die Versagenswahrscheinlichkeit der Verankerung. Unter den oben genannten Annahmen ($\text{COV}_R = 18\%$; $\text{COV}_E \leq 30\%$; $\gamma_{\text{ges}} = 7,8$) ergibt sich ebenfalls eine Versagenswahrscheinlichkeit von $1 \cdot 10^{-6}$.

Für den Widerstand wird ein mittlerer Wert von 1,0 angenommen. Die Streuung des Widerstandes wird mit $COV_R \leq 20\%$ festgelegt. Für die Einwirkung wird eine mittlere Einwirkung von $m_E = 0,125$ angenommen, was einer globalen Sicherheit von $\gamma_{ges} = 8,0$ entspricht. Die Streuung der Einwirkung wird mit $COV_E \leq 20\%$ festgelegt.

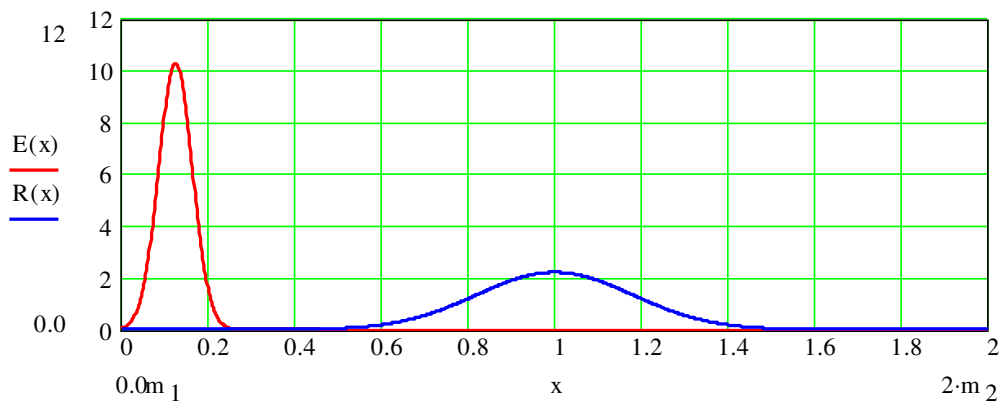


Abbildung 6-2: Angenommene Verteilungen der Einwirkung $E(x)$ und des Widerstandes $R(x)$ ohne Probelastung

Werden Probelastungen auf einem bestimmten Lastniveau auf alle Dübel aufgebracht, so kann der Teilsicherheitsbeiwert gesenkt werden, da die Streuung auf der Widerstandseite durch die Probelastung nach unten hin begrenzt wird und eine Mindesttragfähigkeit aller Dübel gewährleistet ist. Die Normalverteilung wird, abhängig von der Höhe der Probelastung abgeschnitten.

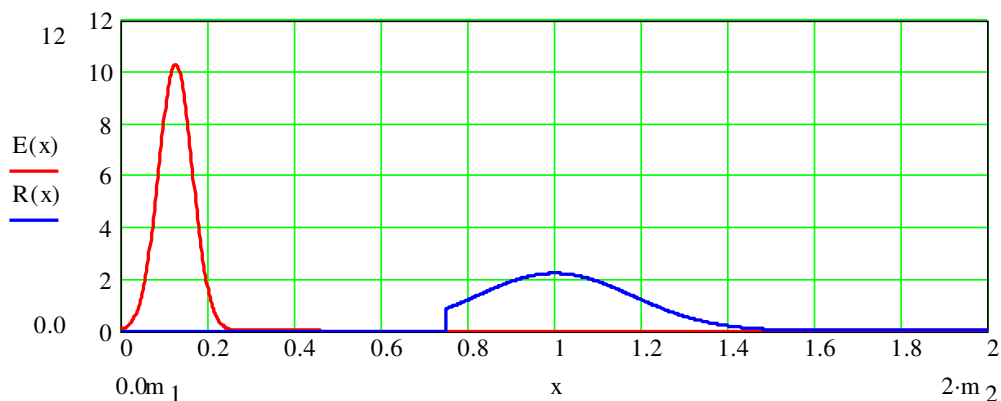


Abbildung 6-3: Angenommene Verteilungen der Einwirkung $E(x)$ und des Widerstandes $R(x)$ mit Probelastung bei 75% der mittleren Bruchlast der Verankerung.

Je nach Höhe der Probelastung ergibt sich dann eine andere Versagenswahrscheinlichkeit. Daraus kann dann der notwendige Teilsicherheitsbeiwert γ_M berechnet werden. Die Berechnungen für unterschiedlich hohe Probelastungen sind im Folgenden zusammengefasst:

- 0% $N_u \rightarrow P_f = 1,0 \cdot 10^{-6} \rightarrow$ Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes nicht möglich
- 10% $N_u \rightarrow P_f = 8,8 \cdot 10^{-7} \rightarrow$ Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes auf $0,97 \cdot \gamma_M$ möglich
- 15% $N_u \rightarrow P_f = 6,8 \cdot 10^{-7} \rightarrow$ Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes auf $0,92 \cdot \gamma_M$ möglich
- 20% $N_u \rightarrow P_f = 5,3 \cdot 10^{-7} \rightarrow$ Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes auf $0,88 \cdot \gamma_M$ möglich
- 25% $N_u \rightarrow P_f = 5,0 \cdot 10^{-7} \rightarrow$ Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes auf $0,86 \cdot \gamma_M$ möglich
- 30% $N_u \rightarrow P_f = 5,0 \cdot 10^{-7} \rightarrow$ Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes auf $0,86 \cdot \gamma_M$ möglich

Für höhere Probelastungen wird die Zuverlässigkeit nicht erhöht, da die Wahrscheinlichkeit für eine höhere Einwirkung als die Probelastung bereits sehr gering ist.

Lediglich eine Reduzierung der Streuung des Widerstandes bzw. der Einwirkung würde die Zuverlässigkeit erhöhen. D. h. wenn sowohl die Modellunsicherheit von 1,1 als auch eine Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwertes auf 0,86 erfolgen kann, so ergibt sich ein Teilsicherheitsbeiwert von $2,5 / 1,1 \cdot 0,86 = 1,95$. Dieser Teilsicherheitsbeiwert kann angesetzt werden, wenn alle verbauten Dübel einer Probelastung von mindestens 25 % der mittleren Bruchlast unterzogen werden.

6.4 Zusammenfassung

Es werden daher folgende Teilsicherheitsbeiwerte vorgeschlagen:

Tabelle 6-2: Zusammenfassung der notwendigen Teilsicherheitsbeiwerte bei unterschiedlichen Versuchsszenarien am Bauwerk für Ziegel und KS Steine

Mögliche Szenarien für Versuche am Bauwerk		COV < [%]	β	α_R	Prüflast	γ_M	Modellunsicherheit eliminiert	untere Widerstandsgrenze bekannt	Kommentare
3.2	5 x Auszug	20	4,7	0,8	-	2,25	ja	nein	wie Zulassungsversuch
3.3	15 x Probelastung	20	4,7	0,8	N_{Ed}	2,50	nein	nein	
3.4a	1 x Auszug + alle prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	1,95	ja	ja	
3.4b	3 x Auszug + alle prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	1,95	ja	ja	Eingangswert höher aufgrund 3 Auszugsversuchen
3.4c	1 x Auszug + 15 prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	2,25	ja	nein	
3.4d	3 x Auszug + 15 prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	2,25	ja	nein	Eingangswert höher aufgrund 3 Auszugsversuchen

Tabelle 6-3: Zusammenfassung der notwendigen Teilsicherheitsbeiwerte bei unterschiedlichen Versuchsszenarien am Bauwerk für Porenbeton Steine

Mögliche Szenarien für Versuche am Bauwerk		COV < [%]	β	α_R	Prüflast	γ_M	Modellunsicherheit eliminiert	untere Widerstandsgrenze bekannt	Kommentare
3.2	5 x Auszug	20	4,7	0,8	-	1,8	ja	nein	wie Zulassungsversuch
3.3	15 x Probelastung	20	4,7	0,8	N_{Ed}	2,0	nein	nein	
3.4a	1 x Auszug + alle prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	1,56	ja	ja	
3.4b	3 x Auszug + alle prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	1,56	ja	ja	Eingangswert höher aufgrund 3 Auszugsversuchen
3.4c	1 x Auszug + 15 prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	1,8	ja	nein	
3.4d	3 x Auszug + 15 prüfen mit Probelastung	20	4,7	0,8	$> 30\% N_u$	1,8	ja	nein	Eingangswert höher aufgrund 3 Auszugsversuchen

7 Danksagung

Das Forschungsvorhaben wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik DIBt und dem CFG Construction Fixings Germany - Die deutschen Dübelhersteller im FWI dankenswerterweise unterstützt.


Die Zusammenarbeit der beteiligten Institute war zu jedem Zeitpunkt des Forschungsvorhabens sehr angenehm und stets inspirierend.

8 Anhänge

8.1 Referenzversuche

8.1.1 Ziegel

8.1.1.1 Vollziegel – Mz-2DF, Binder

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Expiry date:	Jan 18					
Tester name:	Wendel	Temperature:	25 °C	Date:	22.06.2017			
test member :	Solid clay brick Mz, 2DF, header		prestressed wall with 0,2 N/mm ²		01			
minimum edge distance:	-	SC:	no	minimum spacing:				
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	12,25 mm	Fixture thickness:	-	Support width:	320 mm	
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	12,85 mm	Fixture hole:	-			
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	Spider-8	LVDT TR0050-1	# M.B. 15.13.102					
	KMD 100kN	Caliper	# M.B. 3.2.3	Depthmeter	M.B. 3.4.3			
Installation data								
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments	
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]		
1	13.4.2017 12:00	101,5	130,0	50,0	80,0	2:41:40		
2	13.4.2017 12:00	104,0	130,0	48,5	81,5	2:47:28		
3	13.4.2017 12:00	101,0	130,0	50,5	79,5	2:53:56		
								
Test Nr.	Test execution	tension load N _{ti}	Displacement at N _{ti} δ _{Nti}	Displacement at 0,5 N _{ti} δ _{0,5Nti}	N _{peak}	Displacement at N _{peak} δ _{Npeak}	Type of failure a)	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	13.4.2017 14:41	17,59	1,72	0,88	17,59	1,72	sp	
2	13.4.2017 14:47	18,53	1,90	1,18	18,53	1,90	sp	
3	13.4.2017 14:53	19,39	1,44	0,91	19,39	1,44	sp	
Interpretation:			N _{ti}	N _{peak}	δ _N	δ _{peak}	a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steal failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure	
Average value:			18,50 kN	18,50 kN	1,69 mm	1,69 mm		
Standard deviation:			0,90 kN	0,90 kN	0,23 mm	0,23 mm		
Coefficient of variation:			4,86%	4,86%	13,69%	13,69%		
Characteristic value:			13,73 kN	13,73 kN	2,91 mm	2,91 mm		
n = 3 k = 5,311			Imported row files name:			1		

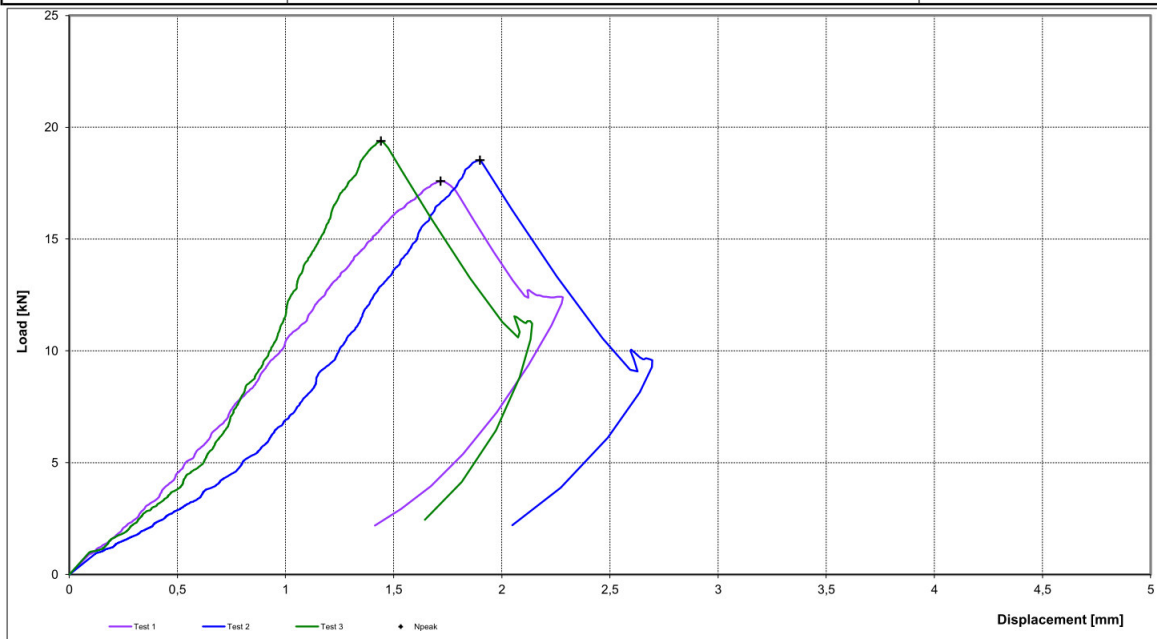




Abbildung 8-1: Versagensbild Ref Vollziegel – Mz-2DF, Binder – Test 1



Abbildung 8-2: Versagensbild Ref Vollziegel – Mz-2DF, Binder – Test 2



Abbildung 8-3: Versagensbild Ref Vollziegel – Mz-2DF, Binder – Test 3

8.1.1.2 Vollziegel – Mz-2DF, Läufer

Test document, according to ETAG 029			
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects			
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Nominal diam.:	10,0 mm
Tester name:	Wendel	Expiry date:	Jan 18
	Temperature: 25 °C	Date:	25.04.2017
test member :	Solid clay brick Mz, 2DF, stretcher prestressed wall with 0,2 N/mm ²		
minimum edge distance:	-	SC: no	minimum spacing: -
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	12,25 mm
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	12,85 mm
		Fixture thickness:	-
		Fixture hole:	-
		Support width:	320 mm
		MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow	
Measurement instrumentation:	Spider-8	LVDT TR0050-1	# M.B. 15.13.102
	KMD 100kN	Caliper	# M.B. 3.2.3
		Depthmeter	M.B. 3.4.3

Installation data							
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]	
1	13.4.2017 12:00	81,0	130,0	52,0	78,0	2:00:20	
2	13.4.2017 12:00	81,0	130,0	55,0	75,0	2:05:56	
3	13.4.2017 12:00	81,0	130,0	52,0	78,0	2:12:58	



Test Nr.	Test execution	tension load N _u	Displacement at N _u δ _{N_u}	Displacement at 0,5 N _u δ _{0,5N_u}	N _{peak}	Displacement at N _{peak} δ _{N_{peak}}	Type of failure ^{a)}	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	13.4.2017 14:00	16,74	1,54	0,72	16,74	1,54	sp	
2	13.4.2017 14:05	17,19	1,58	0,85	17,19	1,58	sp	
3	13.4.2017 14:12	17,66	1,94	0,92	17,66	1,94	sp	

Interpretation:		N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{peak}
Average value:		17,19 kN	17,19 kN	1,69 mm	1,69 mm
Standard deviation:		0,46 kN	0,46 kN	0,22 mm	0,22 mm
Coefficient of variation:		2,69%	2,69%	13,11%	13,11%
Characteristic value:		14,74 kN	14,74 kN	2,87 mm	2,87 mm
n = 3	k = 5,311	Imported row files name: 2			

- a) t = test interrupted
 bbe = bond break steel element
 bbs = bond break stone side
 sp = splitting failure
 mc = masonry cone failure
 s = steel failure
 anc = Adhesive not cure
 bbh = bearing bore hole
 spo = stone pull-out
 st = stone failure

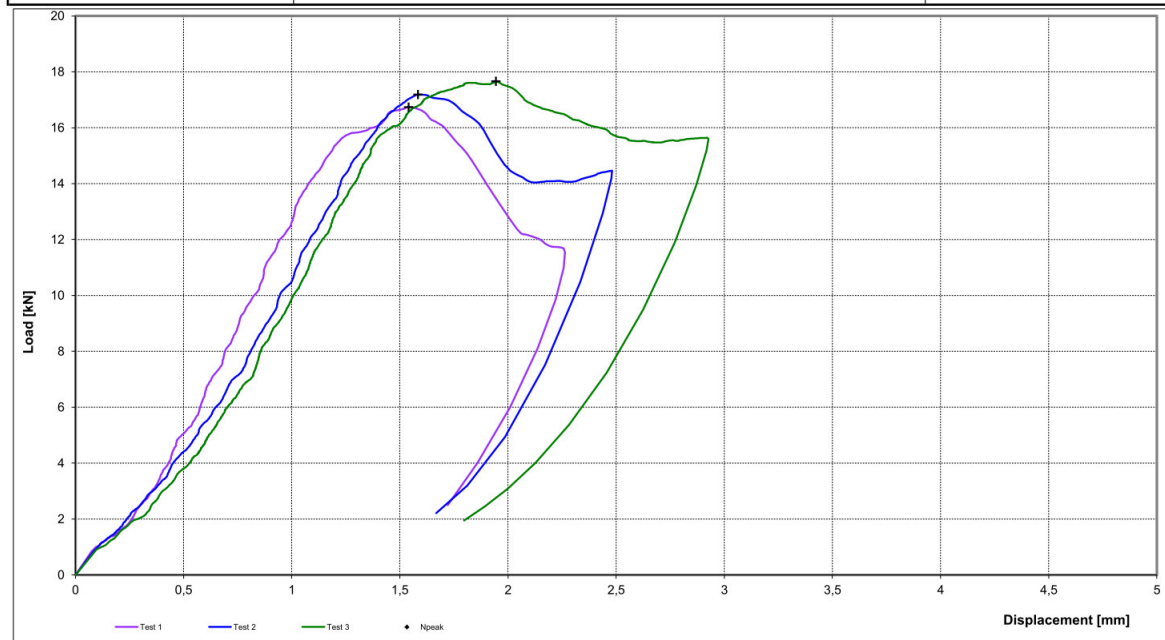




Abbildung 8-4: Versagensbild Ref Vollziegel – Mz-2DF, Läufer – Test 1




Abbildung 8-5: Versagensbild Ref Vollziegel – Mz-2DF, Läufer – Test 2



Abbildung 8-6: Versagensbild Ref Vollziegel – Mz-2DF, Läufer – Test 3

8.1.1.3 Plan-T12 – viele Stege

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Expiry date:	Jan 18					
Tester name:	Wendel	Temperature:	25 °C	Date:	25.04.2017			
test member :	Plan-T12, viele Stege			prestressed wall with 0,2 N/mm ²			11	
minimum edge distance:	-			SC: yes	minimum spacing: -			
Drilling machine:	Hilti TE7-C	Drill bit d _{cut} :	16,35 mm	Fixture thickness:	-		Support width:	
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	17,00 mm	Fixture hole:	-		320 mm	
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	Spider-8	LVDI TR0050-1	# M.B. 15.13.102		LVDI TR0050-2			
	KMD 100kN	Caliper	# M.B. 3.2.3		Depthmeter	M.B. 3.4.3		
Installation data								
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments	
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]		
1	13.4.2017 9:25	> 95	130,0	49,5	80,5	119:22:18		
2	13.4.2017 9:25	> 95	130,0	51,0	79,0	119:49:18		
3	13.4.2017 9:25	> 95	130,0	53,0	77,0	120:08:32		
								
Test Nr.	Test execution	tension load N _u	Displacement at N _u δ _{Nu}	Displacement at 0,5 N _u δ _{0,5Nu}	N _{peak}	Displacement at N _{peak} δ _{Npeak}	Type of failure a)	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	18.4.2017 8:47	4,37	1,13	0,56	4,37	1,13	innere Stege + sp	
2	18.4.2017 9:14	3,30	1,20	0,44	3,30	1,20	mc	
3	18.4.2017 9:33	4,20	1,23	0,64	4,20	1,23	sp	
Interpretation:			N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{Npeak}		
Average value:			3,96 kN	3,96 kN	1,19 mm	1,19 mm		
Standard deviation:			0,58 kN	0,58 kN	0,05 mm	0,05 mm		
Coefficient of variation:			14,55%	14,55%	4,49%	4,49%		
Characteristic value:			0,90 kN	0,90 kN	1,47 mm	1,47 mm		
n = 3 k = 5,311			Imported row files name:		11			
								a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steal failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure

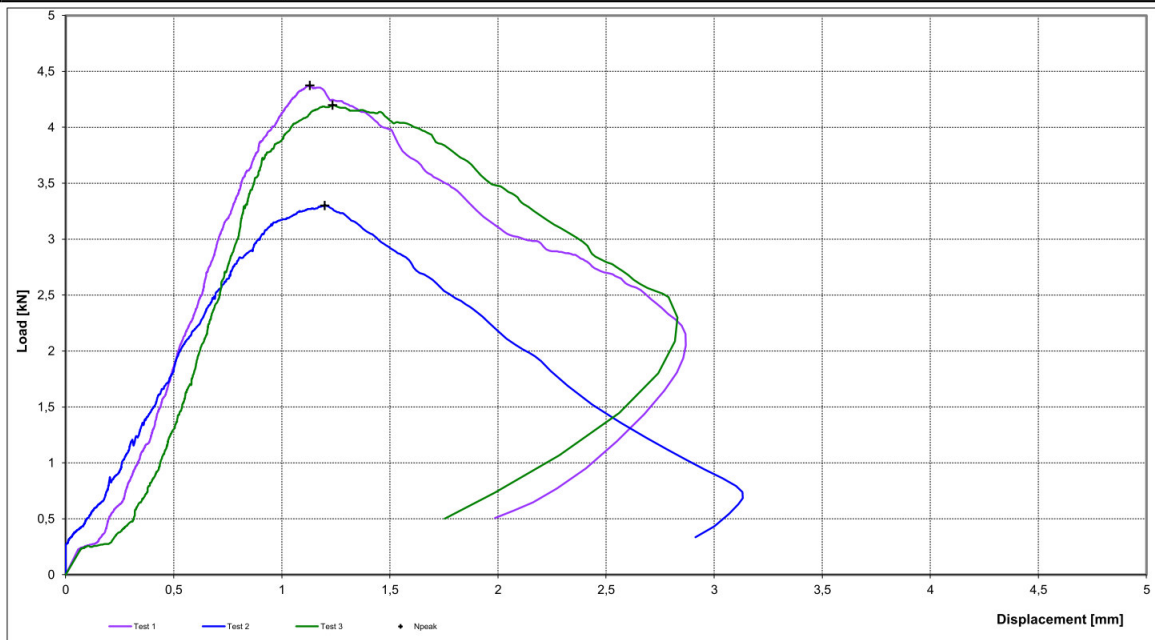




Abbildung 8-7: Versagensbild Ref Plan-T12 – viele Stege – Test 1




Abbildung 8-8: Versagensbild Ref Plan-T12 – viele Stege – Test 2



Abbildung 8-9: Versagensbild Ref Plan-T12 – viele Stege – Test 2

8.1.1.4 T8 24 – 2 Stege

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Expiry date:	Jan 18					
Tester name:	Wendel	Temperature:	23 °C	Date:	22.06.2017			
test member :	holow clay stone, 2 Stege, T8 24 ohne MW prestressed wall with 0,2 N/mm ²			41				
minimum edge distance:	-	SC:	yes	minimum spacing:	-			
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	16,30 mm	Fixture thickness:	-			
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	17,00 mm	Fixture hole:	-			
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	Spider-8	LVDT TR0050-1	# M.B. 15.13.102		LVDT TR0050-2			
	KMD 100kN	Caliper	# M.B. 3.2.3		Depthmeter		M.B. 3.4.3	
Installation data								
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments	
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]		
1	18.4.2017 15:20	> 95	130,0	51,0	79,0	15:31:26		
2	18.4.2017 15:20	> 95	130,0	49,5	80,5	15:47:38		
3	18.4.2017 15:20	> 95	130,0	51,0	79,0	16:14:08		
								
Test Nr.	Test execution	tension load N _{ti}	Displacement at N _{ti} δ _{Nti}	Displacement at 0,5 N _{ti} δ _{0,5Nti}	N _{peak}	Displacement at N _{peak} δ _{Npeak}	Type of failure a)	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	19.4.2017 6:51	4,58	1,68	0,56	4,34	1,08	sp	
2	19.4.2017 7:07	4,48	1,62	0,57	4,31	1,21	sp	
3	19.4.2017 7:34	4,34	1,39	0,35	4,02	0,85	sp	
Interpretation:			N _{ti}	N _{peak}	δ _N	δ _{peak}		
Average value:			4,47 kN	4,22 kN	1,56 mm	1,05 mm		
Standard deviation:			0,12 kN	0,18 kN	0,15 mm	0,18 mm		
Coefficient of variation:			2,61%	4,15%	9,77%	17,34%		
Characteristic value:			3,85 kN	3,29 kN	2,38 mm	2,01 mm		
n = 3 k = 5,311			Imported row files name:		41			
								a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steel failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure

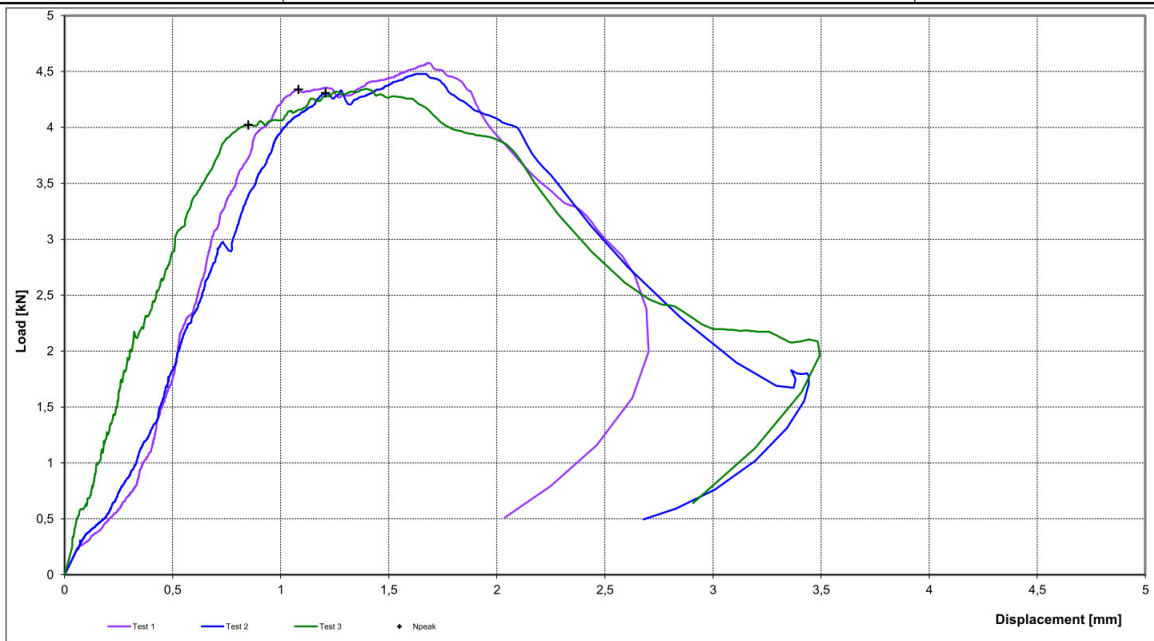




Abbildung 8-10: Versagensbild Ref T8 24 – 2 Stege – Test 1




Abbildung 8-11: Versagensbild Ref T8 24 – 2 Stege – Test 2



Abbildung 8-12: Versagensbild Ref T8 24 – 2 Stege – Test 3

8.1.1.5 PFZ-T24 – 1 Steg

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270			Expiry date:	Jan 18			
Tester name:	Wendel	Temperature:	25 °C	Date:	10.03.2017			
test member :	PFZ-T 24 - 1 Steg prestressed wall with 0,2 N/mm ²						31	
minimum edge distance:	-	SC:	yes	minimum spacing:	-			
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	16,35 mm	Fixture thickness:	-		Support width:	
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	17,00 mm	Fixture hole:	-		320 mm	
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	measuring amp: Quantum MX440A, MB 6.21.5	way transducers:	TR 0050, MB 3.15.103					
	load cell: 100 kN, MB 5.2.4	Caliper:	MB 3.2.3		Depthmeter: M.B. 3.4.3			
Installation data								
Test Nr.	Installation [date / time]	Depth of drill hole [mm]	Length of the rod [mm]	Overhang [mm]	Embedment depth h _{ef} [mm]	Curing Time [hh:mm]	Comments	
1	13.4.2017 9:25	≥ 95	130,0	51,5	78,5	1:09:26		
2	13.4.2017 9:25	≥ 95	130,0	50,5	79,5	1:18:26		
3	13.4.2017 9:25	≥ 95	130,0	50,0	80,0	1:26:06		
								
Test Nr.	Test execution [date / time]	tension load N _u [kN]	Displacement at N _u δ _{Nu} [mm]	Displacement at 0,5 N _u δ _{0,5Nu} [mm]	N _{peak} [kN]	Displacement at N _{peak} δ _{Npeak} [mm]	Type of failure ^{a)} [/]	Comments / masonry cone [cm] [/]
1	13.4.2017 10:34	3,97	0,98	0,45	3,97	0,98	mc	
2	13.4.2017 10:43	4,14	0,96	0,34	4,14	0,96	mc	
3	13.4.2017 10:51	4,01	1,22	0,55	4,01	1,22	mc	
Interpretation:			N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{Npeak}		
Average value:			4,04 kN	4,04 kN	1,05 mm	1,05 mm		
Standard deviation:			0,09 kN	0,09 kN	0,15 mm	0,15 mm		
Coefficient of variation:			2,12%	2,12%	13,87%	13,87%		
Characteristic value:			3,59 kN	3,59 kN	1,83 mm	1,83 mm		
n = 3 k = 5,311			Imported row files name:		31		a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steel failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure	

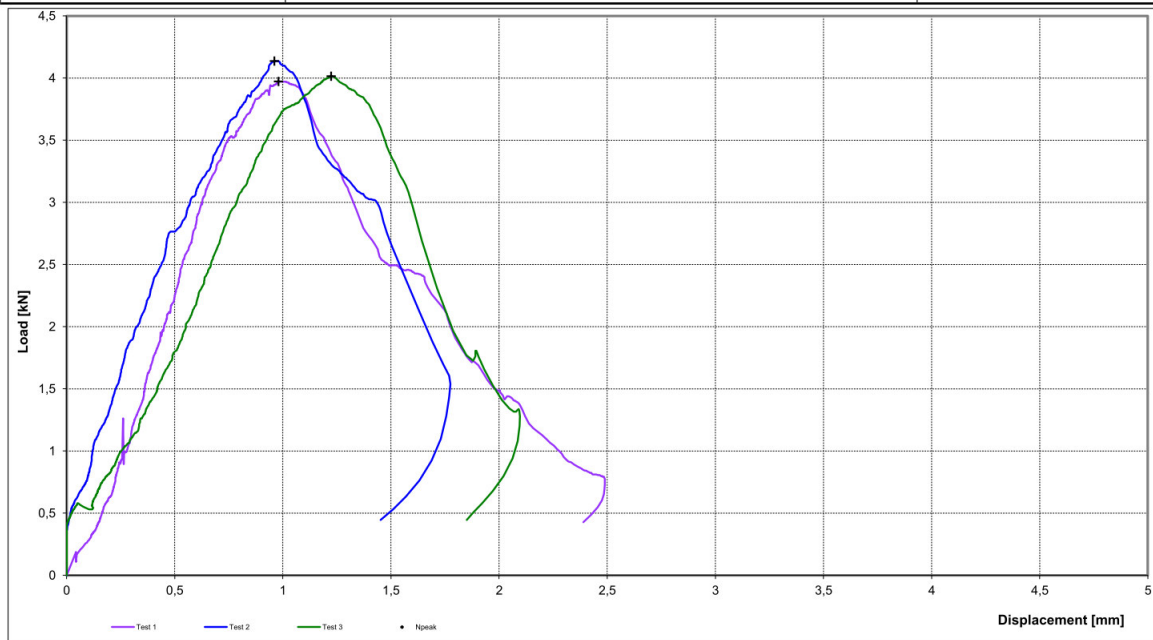




Abbildung 8-13: Versagensbild Ref PFZ-T24 – 1 Steg – Test 1



Abbildung 8-14: Versagensbild Ref PFZ-T24 – 1 Steg – Test 2



Abbildung 8-15: Versagensbild Ref PFZ-T24 – 1 Steg – Test 3

8.1.2 Kalksandstein

8.1.2.1 Kalksand Vollstein

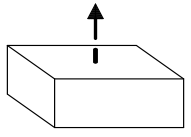
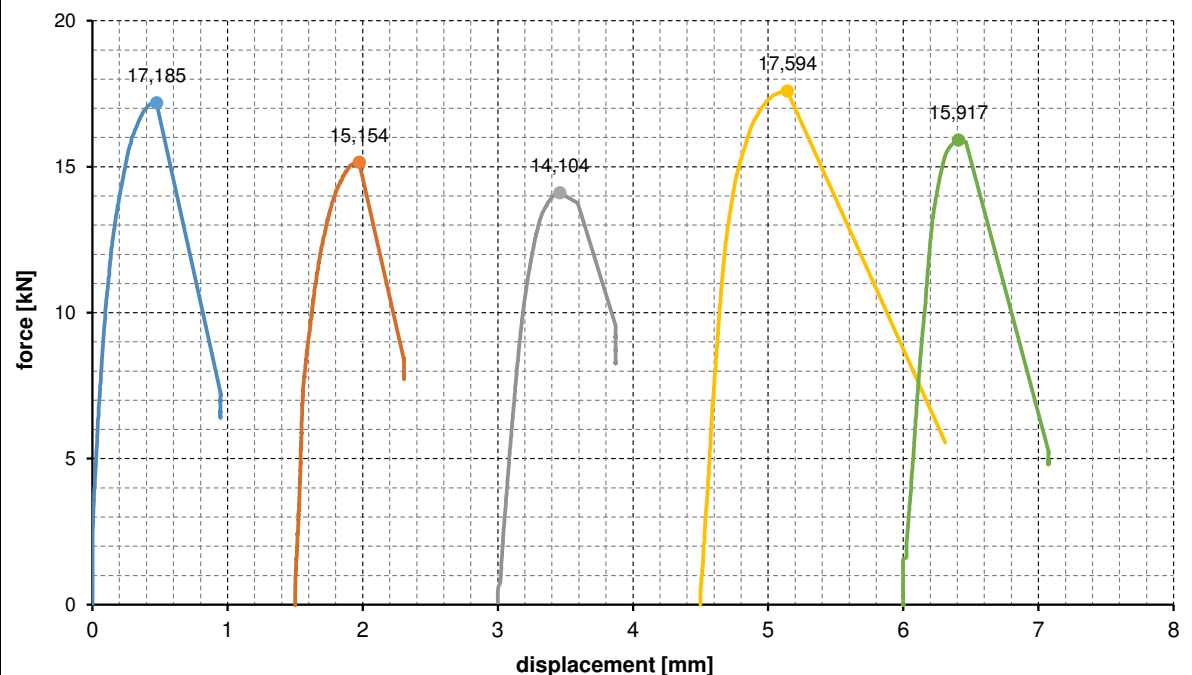
project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10x50	Chararistic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 12 / 12,26 mm h ₁ : 50 mm c : -- cleaning : 2xbl./2xbr./2xbl. test dev. / Ø : 300mm test speed : 100 N/s		base material : 771-2-003 strength / density : 33,3 N/mm ² dimensions : 50x50x18 cm ³ tester : JB mortar charge : 9865 temperature : 20°/51% mounting tool : none		F ^t _{Ru,m} = 15,99 kN v = 8,99 % F ^t _{Rk,NV} = 11,10 kN F ^t _{Rk,log} = 11,71 kN								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 50,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	14.12	14.12	14.12	15.12	15.12							
setting time [hh:mm]	9:37	9:37	9:37	11:26	11:26							
embed. depth [mm]	51,83	51,62	51,77	50,85	50,87							
date of test [dd.mm]	14.12	14.12	14.12	15.12	15.12							
test time [hh:mm]	13:29	13:47	14:32	14:11	14:01							
S _{u,adh} [mm]	0,23	0,19	0,34	0	0							
N _{u,adh} [kN]	14,62	12,07	13,51	15	16							
δ _{FRu} [mm]	0,47	0,47	0,46	0,64	0,41							
F _{tRu} [kN]	17,19	15,15	14,10	17,59	15,92							
kind of failure	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												



Abbildung 8-16 Ref KS M10x50mm Test 1



Abbildung 8-17: Ref KS M10x50mm Test 2



Abbildung 8-18 Ref KS M10x50mm Test 3

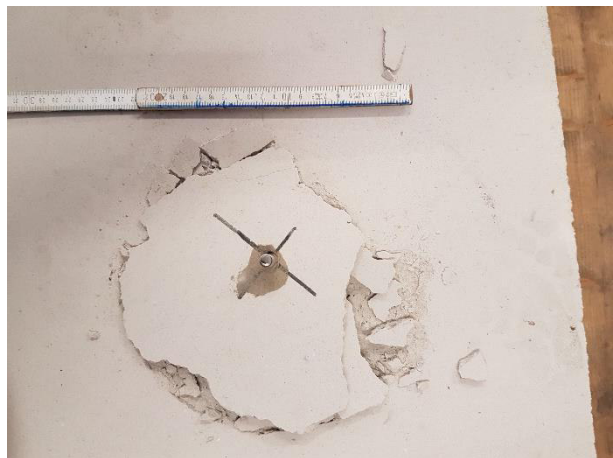
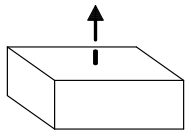
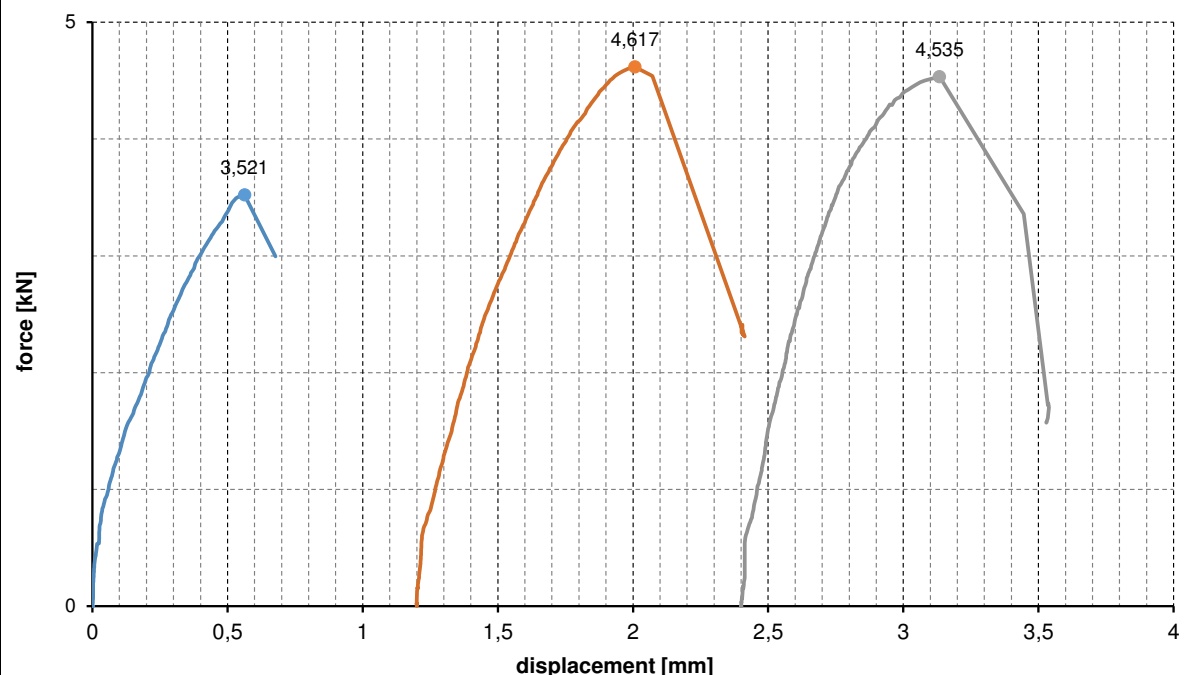


Abbildung 8-19: Ref KS M10x50mm Test 4



Abbildung 8-20 Ref KS M10x50mm Test 5

8.1.2.2 Kalksand Lochstein 8DF 1 Steg

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x85	Chararistic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 1 Steg c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 450mm test speed : 50 N/s		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/46% mounting tool : none		F ^t _{Ru,m} = 4,22 kN v = 14,45 % F ^t _{Rk,NV} = 0,98 kN F ^t _{Rk,log} = 1,87 kN								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 85,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	06.09	06.09	06.09									
setting time [hh:mm]	16:45	16:45	16:45									
embed. depth [mm]	83,74	83,06	84,03									
date of test [dd.mm]	07.09	07.09	07.09									
test time [hh:mm]	7:19	7:10	10:21									
S _{u,adh} [mm]	0,15	0,40	0,34									
N _{u,adh} [kN]	1,65	3,29	3,45									
δ _{FtRu} [mm]	0,56	0,81	0,73									
F _{tRu} [kN]	3,52	4,62	4,54									
kind of failure	Pt/CF	Pt/CF	Pt									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

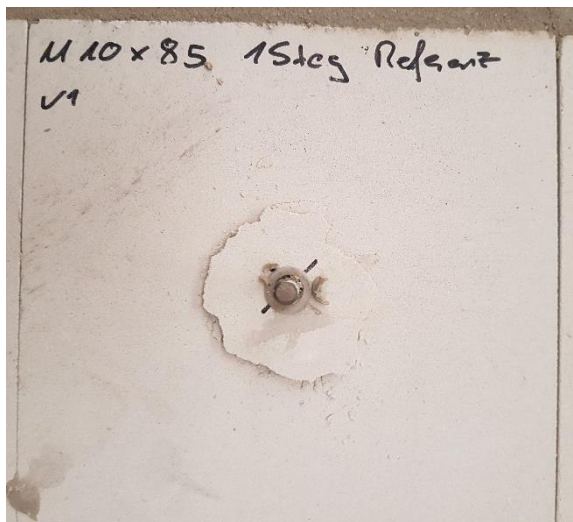


Abbildung 8-21 Ref KSL M10 16x85mm 1 Steg Test 1



Abbildung 8-22 Ref KSL M10 16x85mm 1 Steg Test 2

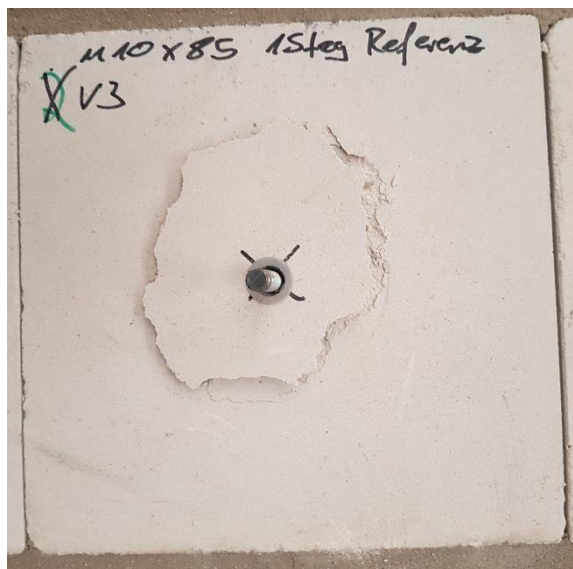
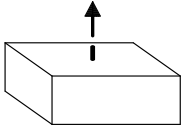
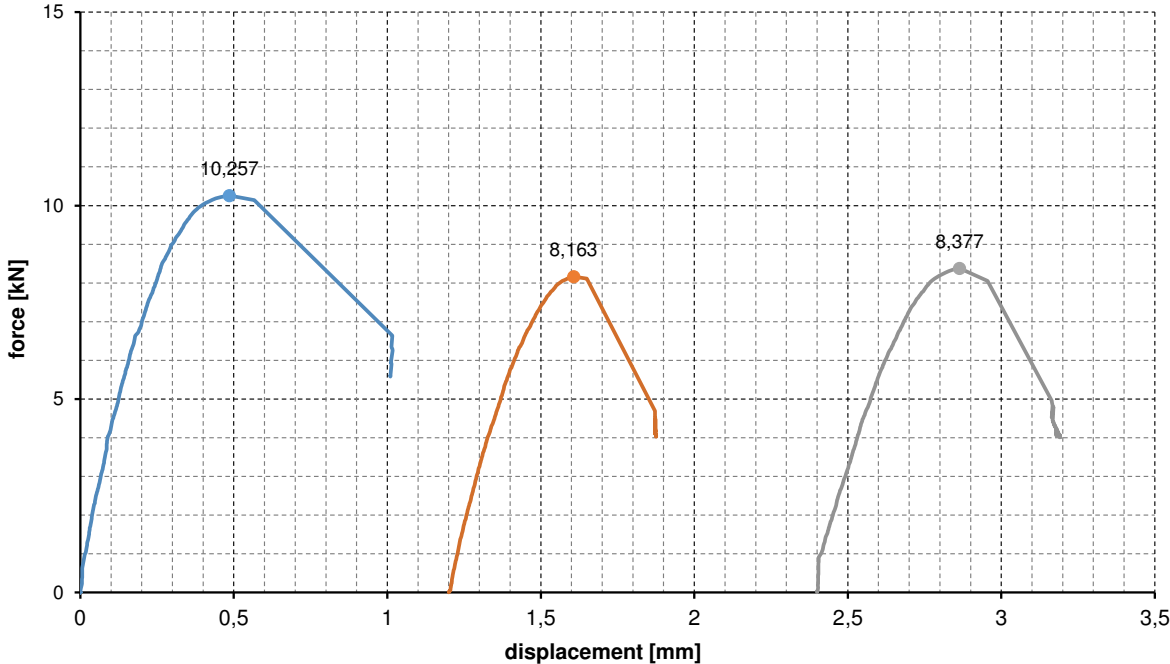


Abbildung 8-23 Ref KSL M10 16x85mm 1 Steg Test 3

Kalksand Lochstein 8DF 2 Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX16 / 16,28 mm h ₁ : 2 Stege c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 450mm test speed : 100 N/s		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/46% mounting tool : none		F _{Ru,m} ^t = 8,93 kN v = 12,90 % F _{Rk,NV} ^t = 2,81 kN F _{Rk,log} ^t = 4,57 kN								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	30.08	30.08	30.08									
setting time [hh:mm]	8:15	8:15	8:15									
embed. depth [mm]	128,98	128,87	128,56									
date of test [dd.mm]	30.08	30.08	30.08									
test time [hh:mm]	9:46	9:56	10:04									
S _{u,adh} [mm]	0,30	0,36	0,31									
N _{u,adh} [kN]	9,03	7,98	7,42									
δ _{FIRu} [mm]	0,49	0,41	0,46									
F _{tRu} [kN]	10,26	8,16	8,38									
kind of failure	Pt	Pt	Pt									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

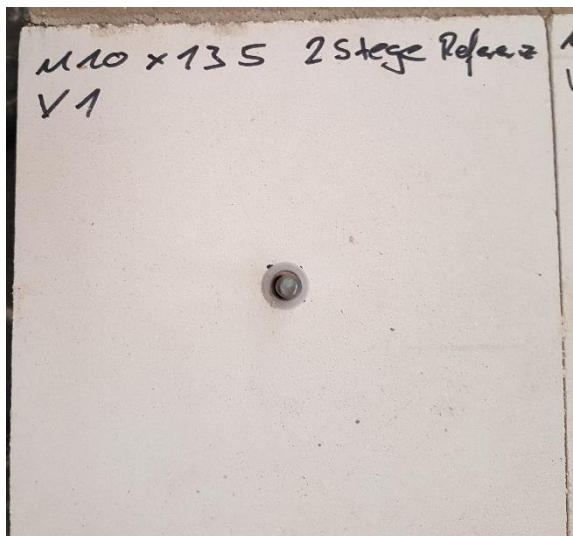


Abbildung 8-24 Ref KSL M10 16x130mm 2 Steg Test 1

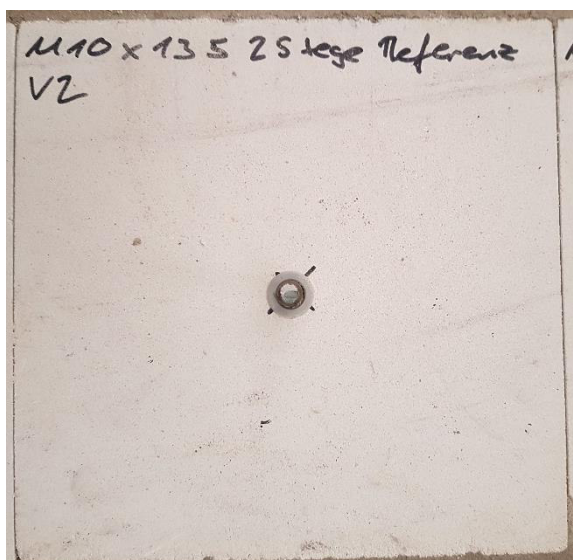


Abbildung 8-25 Ref KSL M10 16x130mm 2 Steg Test 2

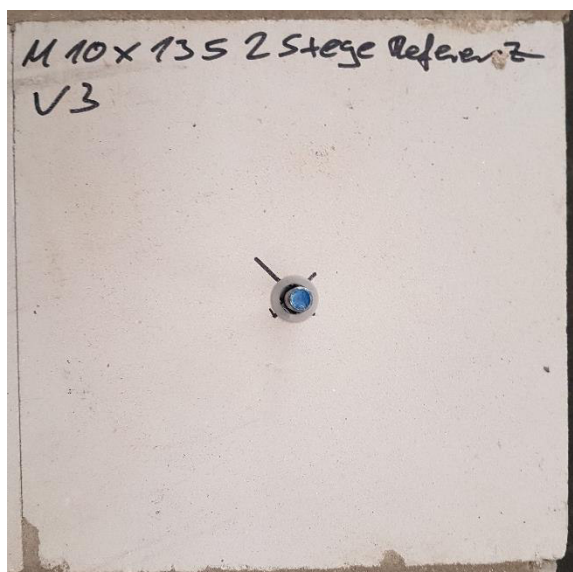
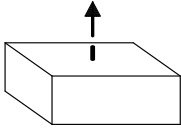
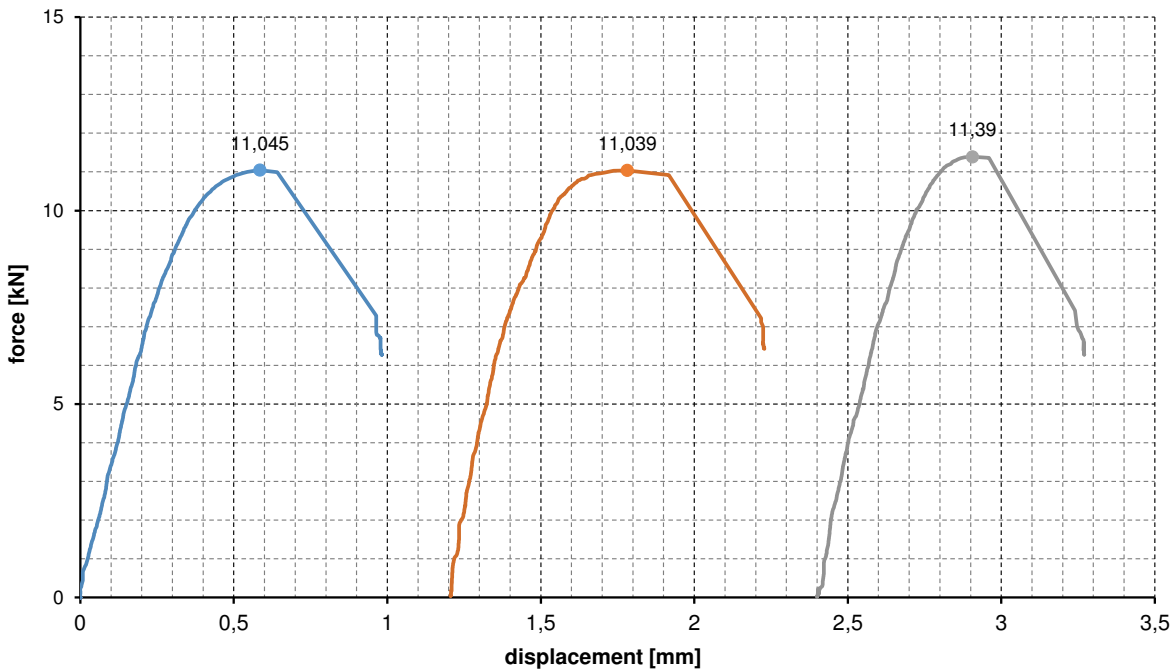


Abbildung 8-26 Ref KSL M10 16x130mm 2 Steg Test 3

8.1.2.3 Kalksand Lochstein 8DF 3 Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 3Stege c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 450mm test speed : 100 N/s		base material : 771-2-001 strength / density : 21,2 N/mm ² dimensions : 24,8x24x23,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 23°/40% mounting tool : none		F _{Ru,m} ^t = 11,16 kN v = 1,80 % F _{Rk,NV} ^t = 10,09 kN F _{Rk,log} ^t = 10,14 kN								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	28.08	28.08	28.08									
setting time [hh:mm]	14:20	14:20	14:20									
embed. depth [mm]	129,08	120,31	126,24									
date of test [dd.mm]	29.08	29.08	29.08									
test time [hh:mm]	11:27	11:43	11:35									
S _{u,adh} [mm]	0,47	0,33	0,42									
N _{u,adh} [kN]	10,76	9,92	11,13									
δ _{FIRu} [mm]	0,59	0,58	0,51									
F _{tRu} [kN]	11,05	11,04	11,39									
kind of failure	Pt	Pt/CF	Pt									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

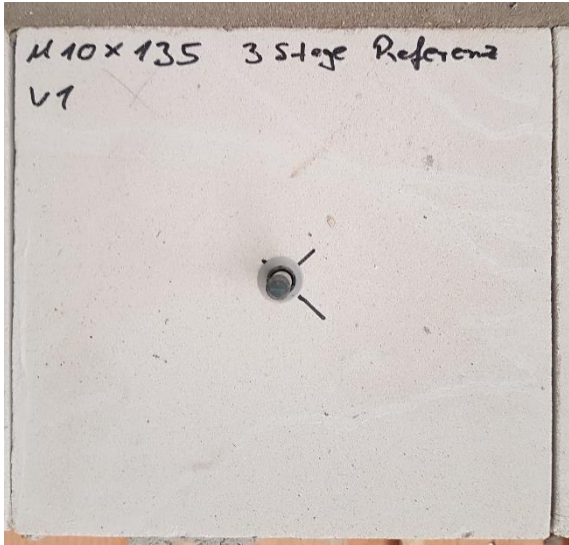


Abbildung 8-27 Ref KSL M10 16x130mm 3 Stege Test 1

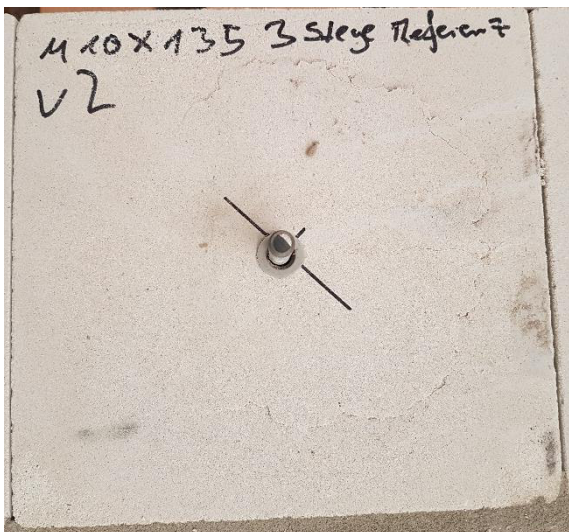


Abbildung 8-28 Ref KSL M10 16x130mm 3 Steg Test 2

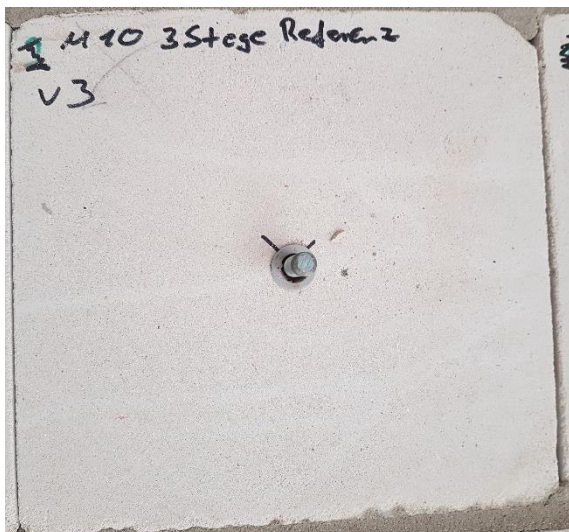


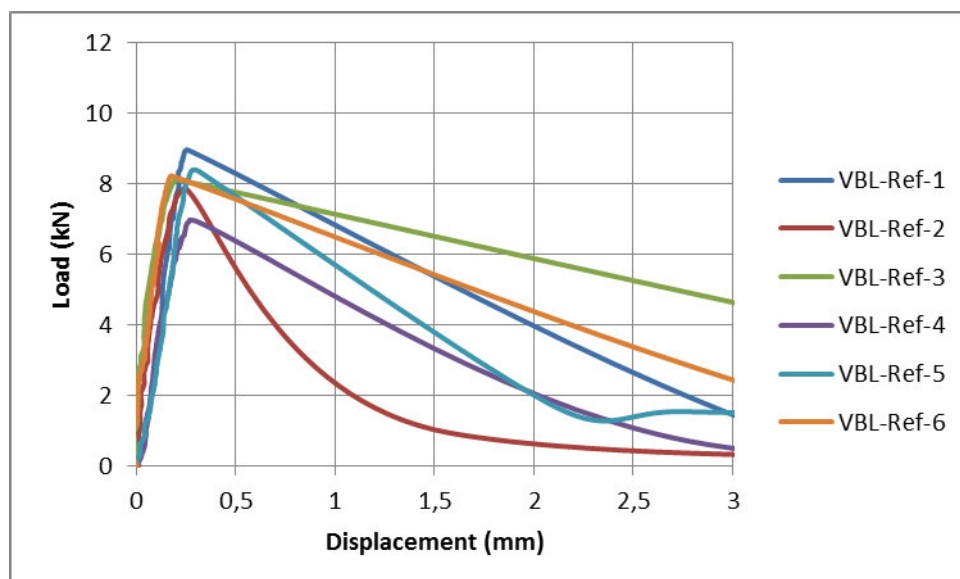
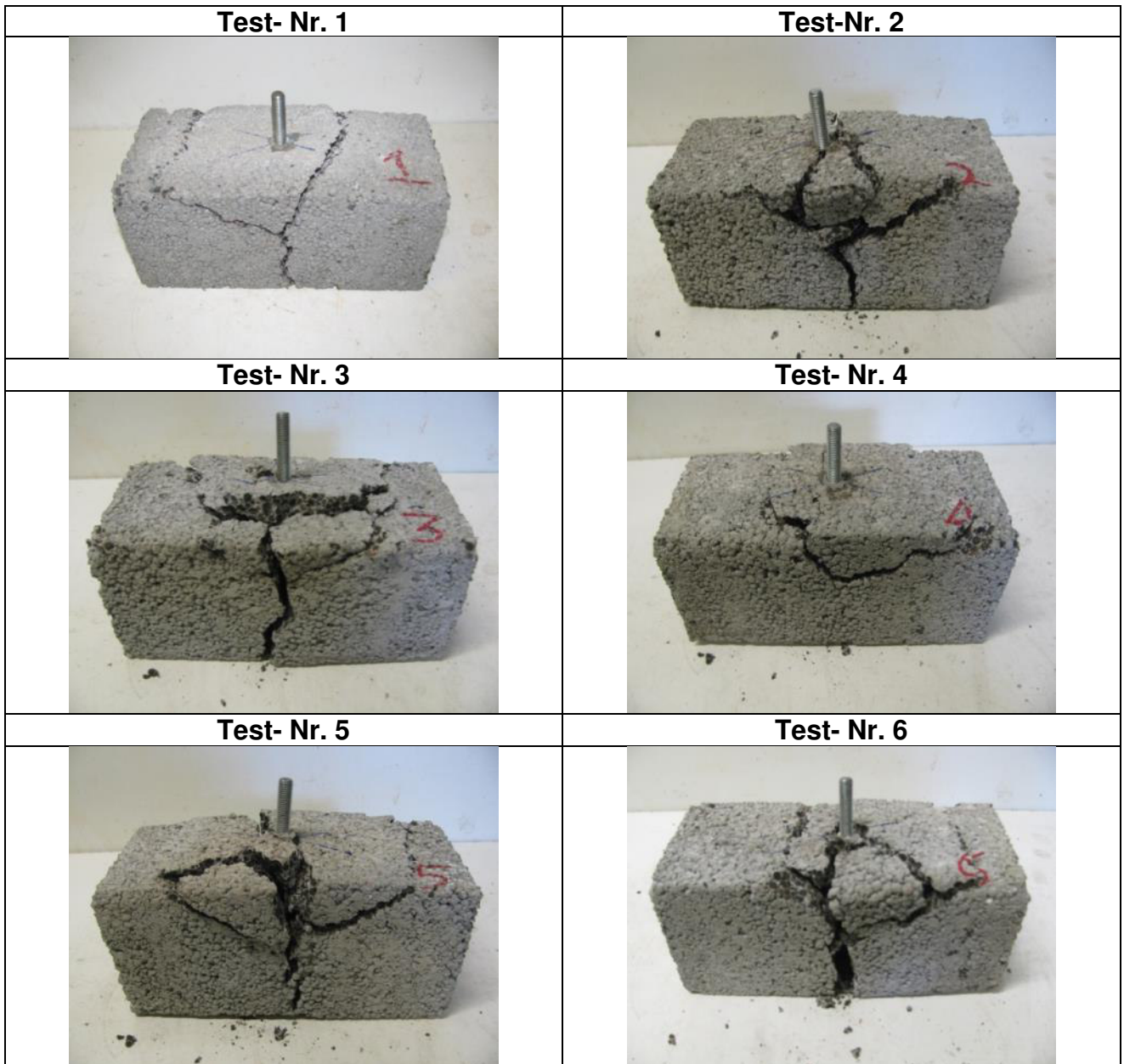
Abbildung 8-29 Ref KSL M10 16x130mm 2 Steg Test 3

8.1.3 Leichtbeton

8.1.3.1 Vollstein: 2DF – Referenzversuch

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No:	9088
Sleeve	-	(f _y /f _u MPa)	(534/593)
Anchor depth [mm]	50		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	ETAG 029, A2		
Description of the test	Characteristic resistance without spacing and edge effect under tensile load.		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Liapor Vollstein VBL 4 -0,9			
Description of the stone (applicable standards)	-	Mean compressive strength [N/mm ²]	10,33
Stone dimensions L x B x H [mm]	2DF 240 x 115 x 113	Mean stone density [kg/dm ³]	1,12
Installation			
Drill diameter d _{cut,m} (Ist) [mm]	12,27	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth h _{0z} [mm]	50	Edge distance c ₁ [mm]	120
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c ₂ [mm]	56,5
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d _B	13	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	5
Force [kN]	5,52	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD028 (9,9903)	Displacement transducer	WA150 (-0,077); WA151 (-0,077)
Fixture	-		

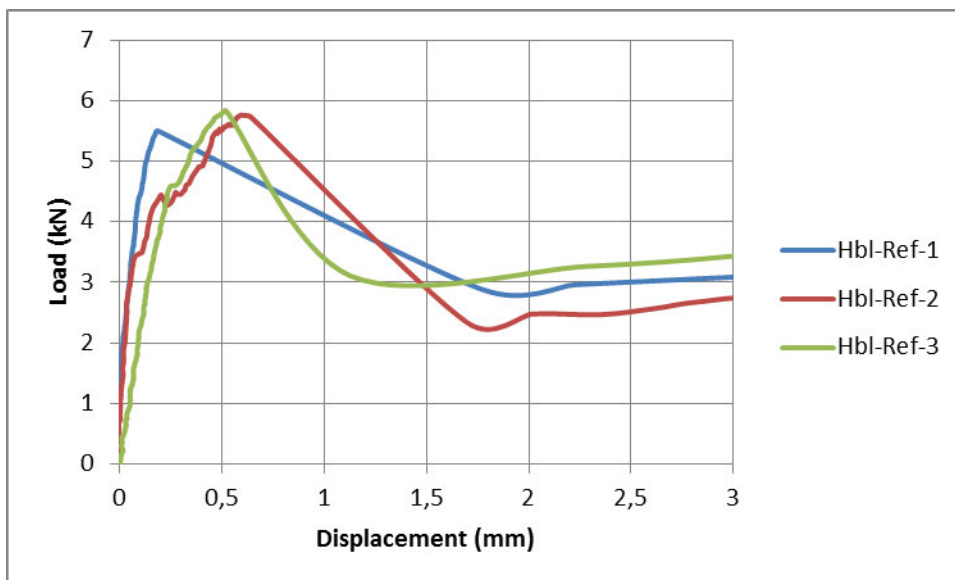
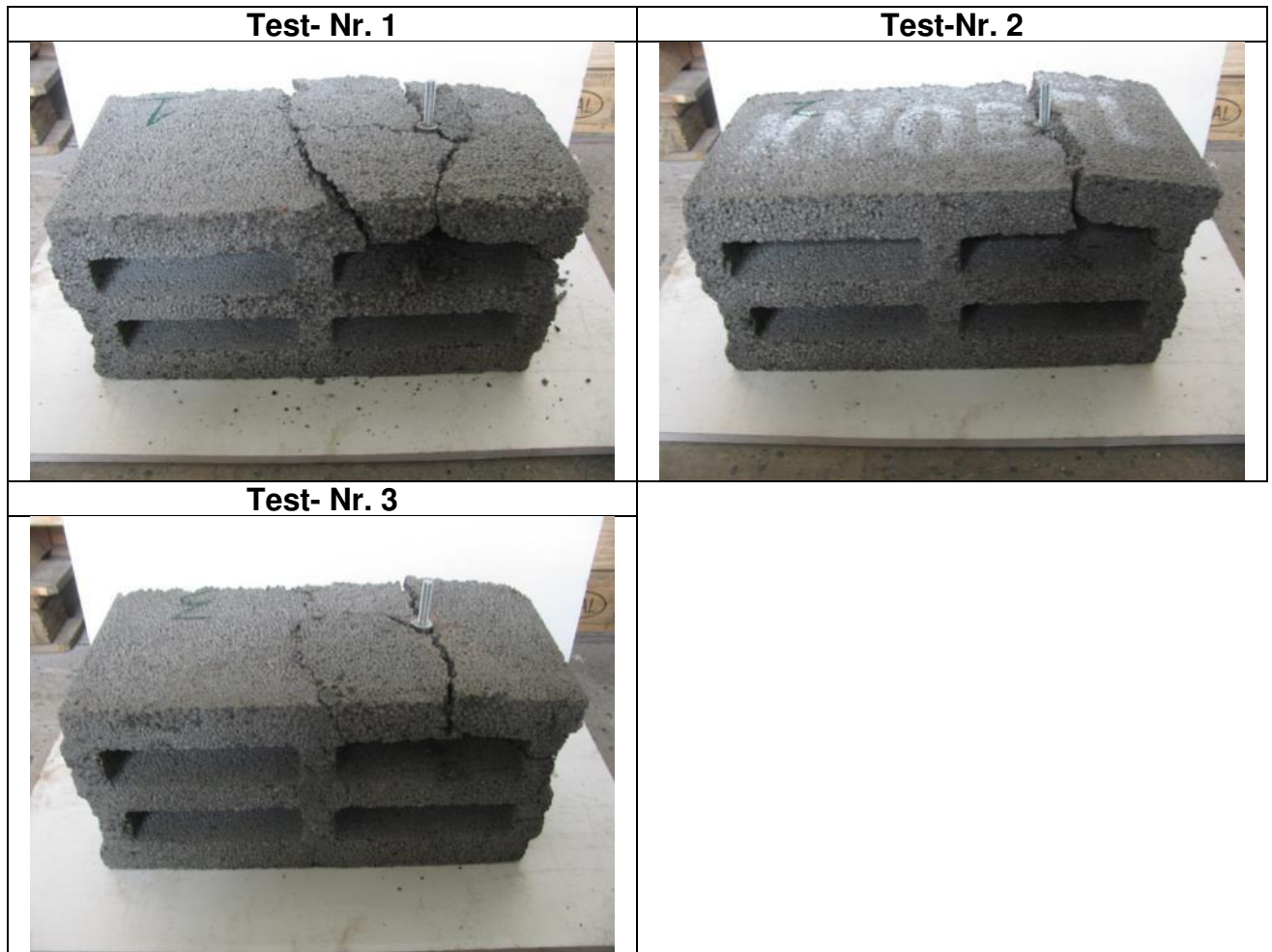
Test No:	VBL-Ref	1	2	3	4	5	
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout					
Temperature of the lab	[°C]	24,5					
Temperature of the stone	[°C]	24					
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	06.06.2017 / 16:40					
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	07.08.2017 / 10:00					
Curing time	[h:min]	1481:20					
Anchor depth h _{ef} (after curing)	[mm]	50	50	50	50	50	50
Adhesive failure N _{u,adh}	[kN]	-	-	-	-	-	-
displacement s _{adh} at N _{u,adh}	[mm]	-	-	-	-	-	-
1. Maximum load N ₁	[kN]	-	-	-	-	-	-
Displacement s ₁ at N ₁	[mm]	-	-	-	-	-	-
Failure load N _u	[kN]	8,95	7,86	8,11	6,97	8,39	8,22
Average failure load N _{u,m}	[kN]	8,08					
Coefficient of variation	[%]	8,13					
Displacement s _u at Load N _u	[mm]	0,26	0,25	0,21	0,27	0,29	0,18
Displacement s _{0.5u} at 0,5 N _u	[mm]	0,13	0,07	0,04	0,1	0,14	0,06
Average displacement s _{0.5u,m} at 0,5 N _u	[mm]	0,09					
Coefficient of variation	[%]	42,57					
Failure mode	[-]	CC/Sp	CC/Sp	CC/Sp	CC/Sp	CC/Sp	CC/Sp
Remarks							



8.1.3.2 Hbl: 1 Steg – Referenzversuch

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No: (fy/fu MPa)	545474 (780/860)
Sleeve	Würth WIT-SH 16x85		
Anchor depth [mm]	85		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	ETAG 029, A2		
Description of the test	Characteristic resistance without spacing and edge effect under tensile load.		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Knobel Liapor Hohlblock Hbl 2 -0,6			
Description of the stone (applicable standards)	DIN 18151; EN 771-3	Mean compressive strength [N/mm ²]	3,97
Stone dimensions L x B x H [mm]	16 DF 495 x 240 x 238	Mean stone density [kg/dm ³]	0,68
Installation			
Drill diameter $d_{out,m}$ (Ist) [mm]	16,3	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth h_{0z} [mm]	95	Edge distance c_1 [mm]	113
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c_2 [mm]	119
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d_B	17	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	5
Force [kN]	23,562	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD067 (9,9819)	Displacement transducer	WA148 (-0,0771); WA152 (-0,0776)
Fixture	-		

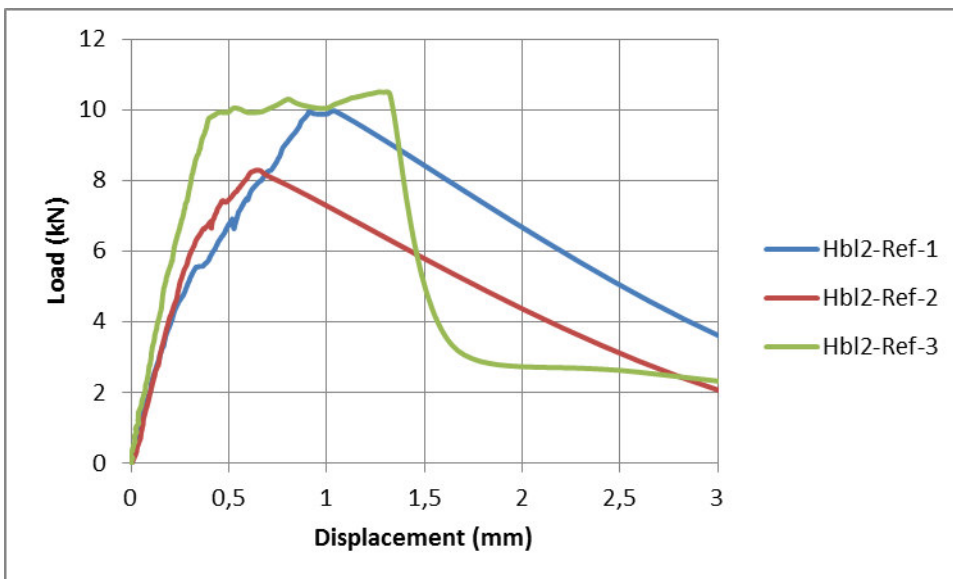
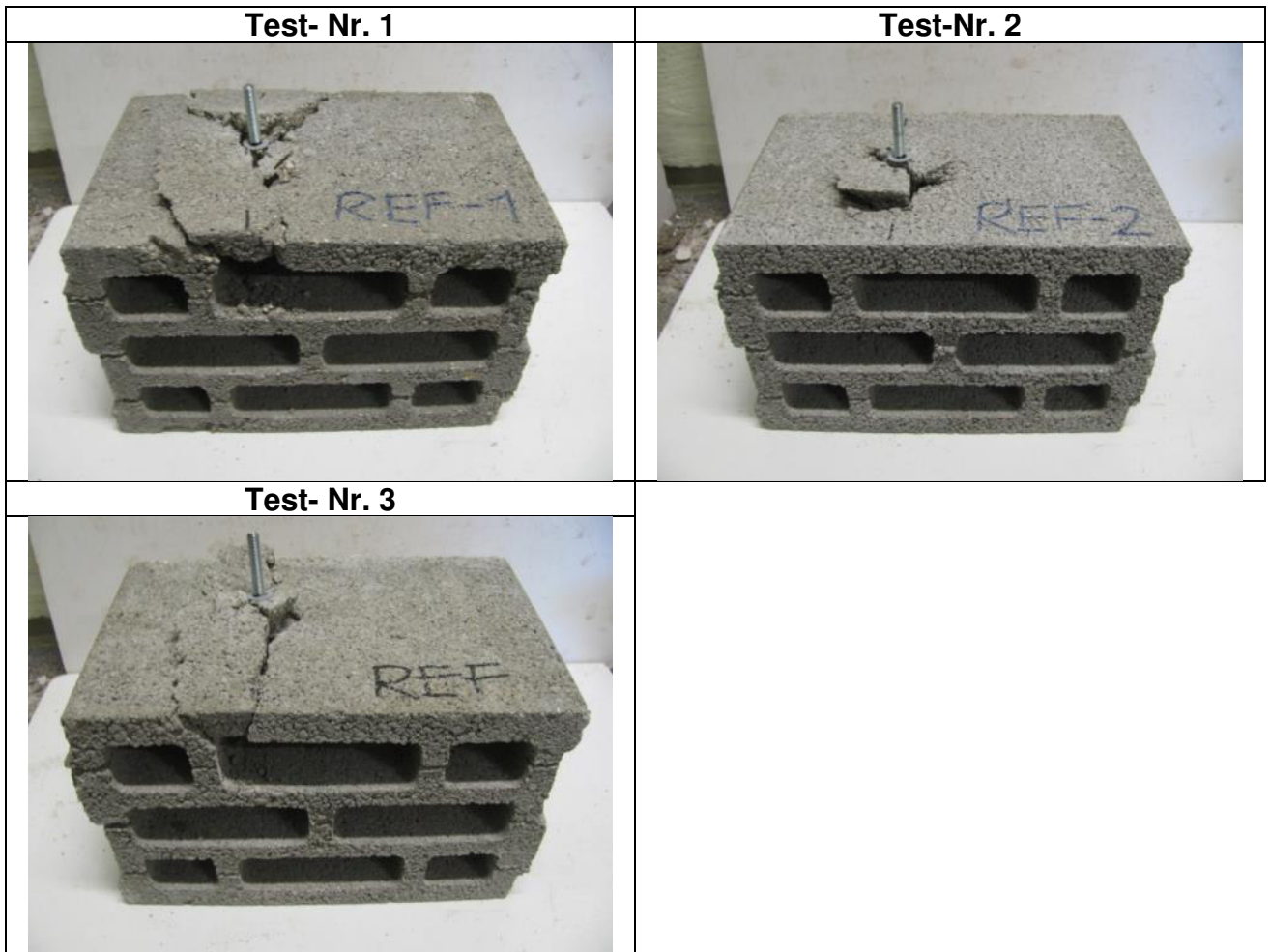
Test No:	HBL-Ref	1	2	3	-	-
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout				
Temperature of the lab	[°C]	22,6				
Temperature of the stone	[°C]	21,1				
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	24.05.2017 / 16:00				
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	25.04.2017 / 16:00				
Curing time	[h:min]	24:00				
Anchor depth h_{ef} (after curing)	[mm]	85	85	85	-	-
Adhesive failure $N_{u,adh}$	[kN]	-	-	-	-	-
displacement s_{adh} at $N_{u,adh}$	[mm]	-	-	-	-	-
1. Maximum load N_1	[kN]	-	-	-	-	-
Displacement s_1 at N_1	[mm]	-	-	-	-	-
Failure load N_u	[kN]	5,83	5,76	5,50	-	-
Average failure load $N_{u,m}$	[kN]	5,70				
Coefficient of variation	[%]	3,01				
Displacement s_u at Load N_u	[mm]	0,52	0,59	0,19	-	-
Displacement $s_{0.5u}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,13	0,04	0,04	-	-
Average displacement $s_{0.5u,m}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,07				
Coefficient of variation	[%]	71,21				
Failure mode	[-]	CC	CC	CC	-	-
Remarks						



8.1.3.3 Hbl: 2 Stege – Referenzversuch

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No: (fy/fu MPa)	9088 (534/593)
Sleeve	Würth WIT-SH 16x110		
Anchor depth [mm]	110		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	ETAG 029, A2		
Description of the test	Characteristic resistance without spacing and edge effect under tensile load.		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Knobel Beton Hohl blockstein HBN 8-1,4			
Description of the stone (applicable standards)	DIN 18153; EN 771 - 3	Mean compressive strength [N/mm ²]	
Stone dimensions L x B x H [mm]	12 DF 365 x 240 x 238	Mean stone density [kg/dm ³]	
Installation			
Drill diameter $d_{cut,m}$ (Ist) [mm]	16,26	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth $h_{0\geq}$ [mm]	120	Edge distance c_1 [mm]	135
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c_2 [mm]	119
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d_B	17	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	5
Force [kN]	17,52	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD028 (9,9903)	Displacement transducer	WA149 (-0,077); WA151 (-0,077)
Fixture	-		

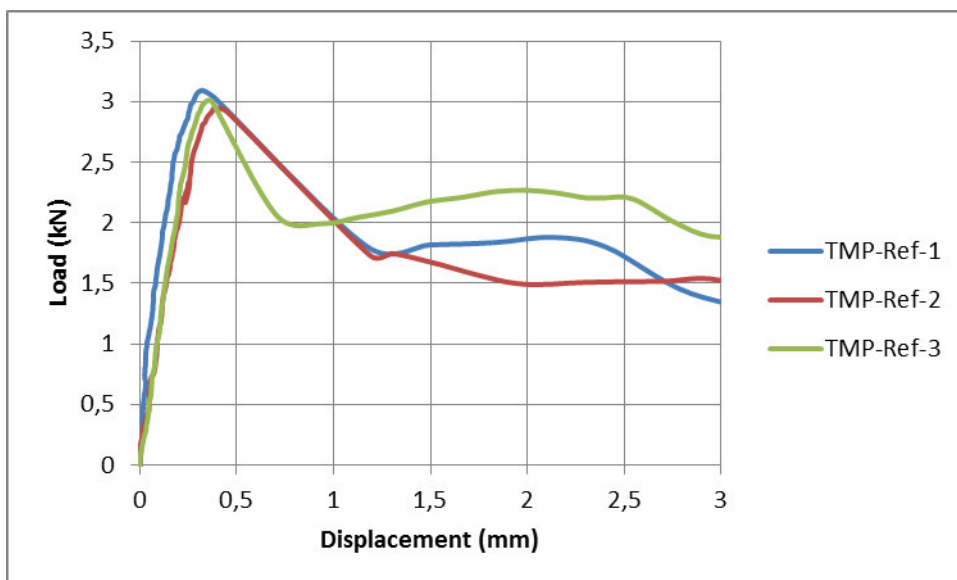
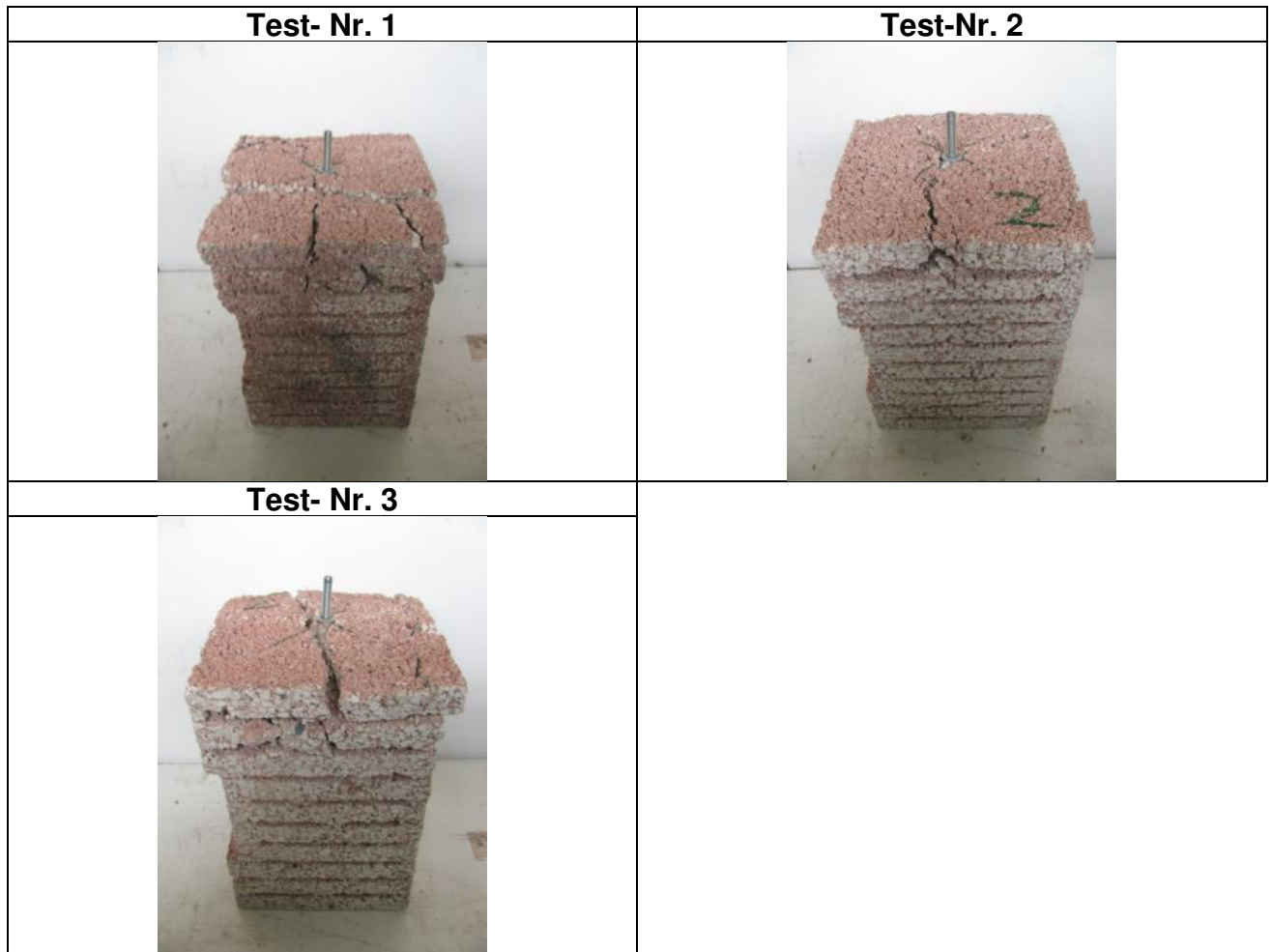
Test No:	HBL2-Ref	1	2	3	-	-
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout				
Temperature of the lab	[°C]	23,1				
Temperature of the stone	[°C]	21,4				
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	16.08.2017 at 15:55				
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	23.08.2017 at 11:30				
Curing time	[h:min]	163:35				
Anchor depth h_{ef} (after curing)	[mm]	110	110	110	-	-
Adhesive failure $N_{u,adh}$	[kN]	-	-	-	-	-
displacement s_{adh} at $N_{u,adh}$	[mm]	-	-	-	-	-
1. Maximum load N_1	[kN]	-	-	-	-	-
Displacement s_1 at N_1	[mm]	-	-	-	-	-
Failure load N_u	[kN]	9,96	8,29	10,51	-	-
Average failure load $N_{u,m}$	[kN]	9,58				
Coefficient of variation	[%]	12,02				
Displacement s_u at Load N_u	[mm]	1,05	0,65	1,27	-	-
Displacement $s_{0.5u}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,28	0,20	0,18	-	-
Average displacement $s_{0.5u,m}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,22				
Coefficient of variation	[%]	24,87				
Failure mode	[-]	CC	CC	CC	-	-
Remarks						



8.1.3.1 viele Stege - Referenzversuch

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No: (fy/fu MPa)	546169 (800/883)
Sleeve	Würth WIT-SH 16x85		
Anchor depth [mm]	85		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	ETAG 029, A2		
Description of the test	Characteristic resistance without spacing and edge effect under tensile load.		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Bisoplan Tec Super 009 1,6 – 0,4			
Description of the stone (applicable standards)	DIN EN 771-3; Z-17,1-1003	Mean compressive strength [N/mm ²]	2,09
Stone dimensions L x B x H [mm]	12 DF 247 x 365 x 249	Mean stone density [kg/dm ³]	0,65
Installation			
Drill diameter $d_{cut,m}$ (Ist) [mm]	16,3	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth h_{0z} [mm]	95	Edge distance c_1 [mm]	123,5
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c_2 [mm]	124,5
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d_B	17	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	5
Force [kN]	18,031	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD067 (9,9819)	Displacement transducer	WA148 (-0,0771); WA152 (-0,0776)
Fixture	-		

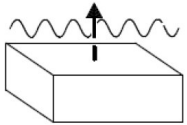
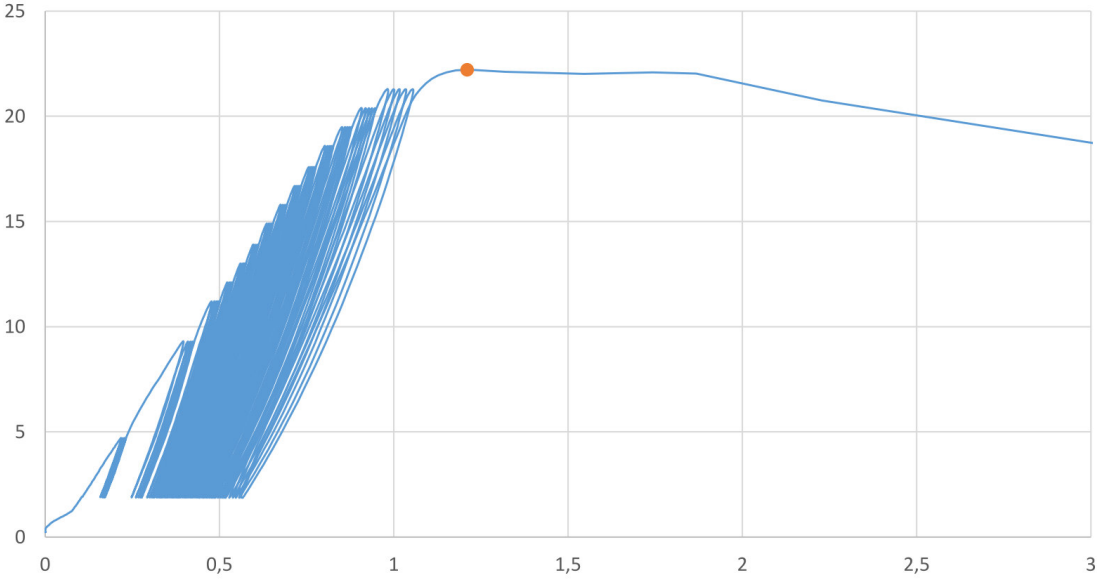
Test No:	TMP-Ref	1	2	3	-	-
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout				
Temperature of the lab	[°C]	22,6				
Temperature of the stone	[°C]	21,3				
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	24.04.2017 / 16:15				
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	25.04.2017 / 17:00				
Curing time	[h:min]	24:45				
Anchor depth h_{ef} (after curing)	[mm]	85	85	85	-	-
Adhesive failure $N_{u,adh}$	[kN]	-	-	-	-	-
displacement s_{adh} at $N_{u,adh}$	[mm]	-	-	-	-	-
1. Maximum load N_1	[kN]	-	-	-	-	-
Displacement s_1 at N_1	[mm]	-	-	-	-	-
Failure load N_u	[kN]	3,09	2,95	3,01	-	-
Average failure load $N_{u,m}$	[kN]	3,02				
Coefficient of variation	[%]	2,35				
Displacement s_u at Load N_u	[mm]	0,33	0,38	0,35	-	-
Displacement $s_{0.5u}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,08	0,13	0,13	-	-
Average displacement $s_{0.5u,m}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,12				
Coefficient of variation	[%]	24,56				
Failure mode	[-]	CC	CC	CC	-	-
Remarks						



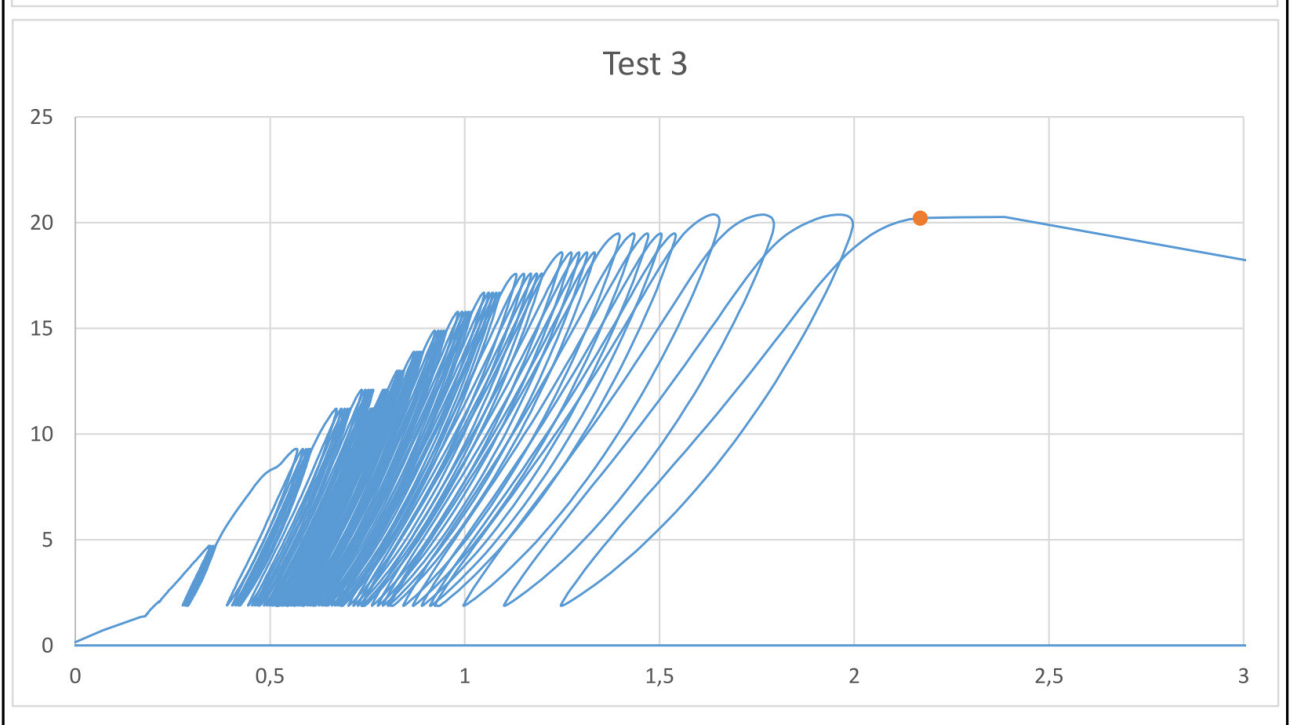
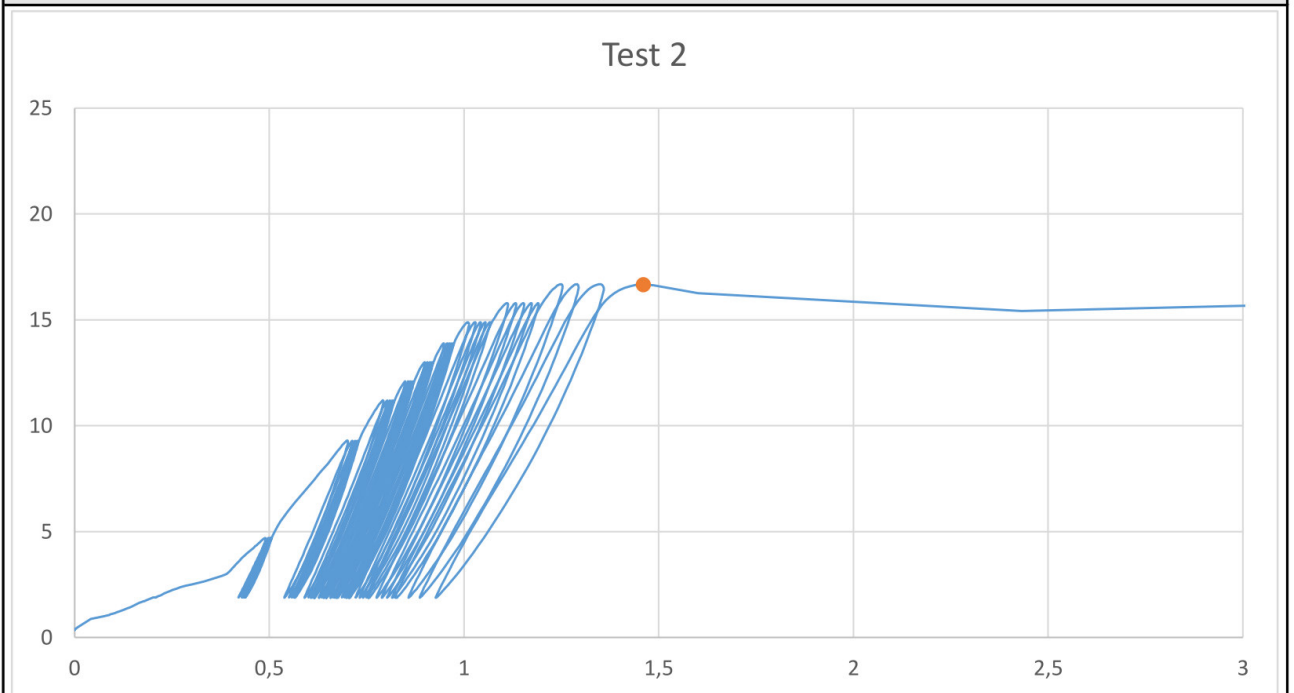
8.2 Stufentests

8.2.1 Ziegel

8.2.1.1 Vollziegel – Mz-2DF, Läufer

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau Vollstein Mz-2DF	10	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : Hammerbohren drill direction: horizontal drill / d _{cut} : 12 mm h ₁ : 80 mm c : Mitte Stein cleaning : 2xhp,2xbü,2xhp test dev. / Ø : 320 mm test speed : -		base material : Ziegel strength / density : 47,5 N/mm ² dimensions : 238,7 x 114,9 x 112,4 cm ³ tester : Wendel T _{inst} : - mortar charge : 080011L1 h _{ef} : 80,0 mm temperature : 24,0 °C t _{fix} : - mounting tool : -		F ^t _{Ru,m} = 19,61 kN v = 10,16 % 								
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	11.10	11.10	11.10	11.10	12.10.							
setting time [hh:mm]	9:30	9:30	9:30	9:30	10:45							
embed. depth [mm]	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00							
date of test [dd.mm]	11.10.	11.10.	11.10.	11.10.	12.10.							
test time [hh:mm]	17:11	16:36	14:39	13:19	10:45							
Laststufe [%]	115	90	110	105	105							
ganze Zyklen [-]	5	3	3	1	2							
δ _{FtRu} [mm]	1,21	1,46	2,17	2,53	1,96							
F ^t _{Ru} [kN]	22,21	16,66	20,22	19,47	19,47							
kind of failure	sp	sp	sp	sp	sp							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Vollstein Mz-2DF	10	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 80 mm test dev. / \varnothing : 320 mm	base material : Ziegel strength / density : 47,5 N/mm ² dimensions : 238,7 x 114,9 x 112,4 cm ³		T_{inst} : - h_{ef} : 80,0 mm t_{fix} : -
force-displacement diagram			



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Vollstein Mz-2DF	10	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 80 mm test dev. / \varnothing : 0 mm	base material : Ziegel strength / density : 47,5 N/mm ² dimensions : 238,7 x 114,9 x 112,4 cm ³	T_{inst} : - h_{ef} : 80,0 mm t_{fix} : -	
force-displacement diagram			
Test 4			
Test 5			



Abbildung 8-30: Versagensbild Stufentest Vollziegel – Mz-2DF, Läufer Test 1



Abbildung 8-31: Versagensbild Stufentest Vollziegel – Mz-2DF, Läufer Test 2



Abbildung 8-32: Versagensbild Stufentest Vollziegel – Mz-2DF, Läufer Test 3

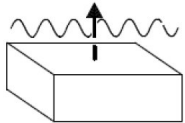
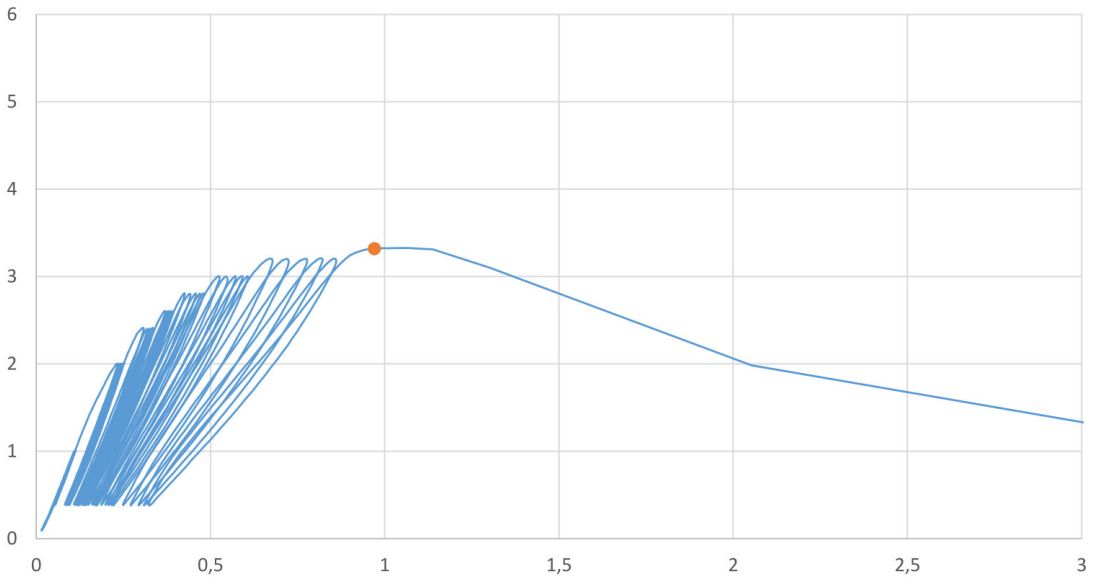


Abbildung 8-33: Versagensbild Stufentest Vollziegel – Mz-2DF, Läufer Test 4



Abbildung 8-34: Versagensbild Stufentest Vollziegel – Mz-2DF, Läufer Test 5

8.2.1.2 Plan-T12 – viele Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau viele Stege	10	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : Drehbohren drill direction: horizontal drill / d_{cut} : 16 mm h_1 : ≥ 95 mm c : Mitte Stein cleaning : 2xhp,2xbü,2xhp test dev. / \varnothing : 320 mm test speed : -		base material : Ziegel strength / density : 13,5 N/mm ² dimensions : 306,0 x 240,7 x 249,0 cm ³ tester : Wendel T_{inst} : - mortar charge : 080011L1 h_{ef} : 80,0 mm temperature : 24,0 °C t_{fix} : - mounting tool : -		$F_{Ru,m}^t = 3,46$ kN $v = 6,96$ % 								
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	16.10.	16.10.	16.10.	16.10.	16.10.							
setting time [hh:mm]	16:15	16:15	16:15	16:15	16:15							
embed. depth [mm]	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00							
date of test [dd.mm]	17.10.	17.10.	17.10.	17.10.	17.10.							
test time [hh:mm]	9:01	9:46	10:16	10:40	11:00							
Laststufe [%]	85	90	90	80	95							
ganze Zyklen [-]	0	1	0	4	0							
$\bar{\sigma}_{FiRu}$ [mm]	0,97	0,91	1,10	1,02	0,99							
F_{Ru}^t [kN]	3,32	3,58	3,40	3,18	3,80							
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test		kind of test
Versuche am Bau viele Stege	10	Stufenversuche		Laststufen
base material & installation				
$h_1 : \geq 95 \text{ mm}$ test dev. / $\varnothing : 320 \text{ mm}$		base material : Ziegel strength / density : $13,5 \text{ N/mm}^2$ dimensions : $306,0 \times 240,7 \times 249,0 \text{ cm}^3$		$T_{\text{inst}} : -$ $h_{\text{ef}} : 80,0 \text{ mm}$ $t_{\text{fix}} : -$
force-displacement diagram				
Test 2				
Test 3				

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau viele Stege	10	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
$h_1 : \geq 95 \text{ mm}$ test dev. / $\varnothing : 0 \text{ mm}$	base material : Ziegel strength / density : $13,5 \text{ N/mm}^2$ dimensions : $306,0 \times 240,7 \times 249,0 \text{ cm}^3$		$T_{inst} : -$ $h_{ef} : 80,0 \text{ mm}$ $t_{fix} : -$

force-displacement diagram

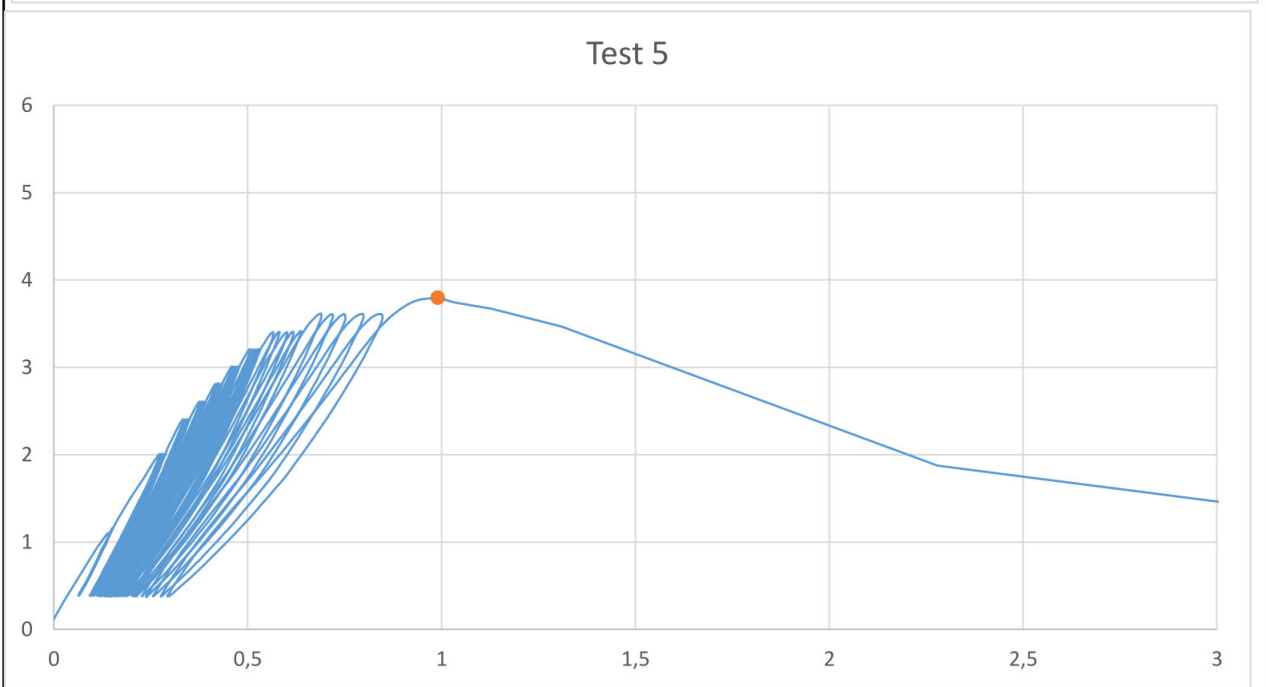
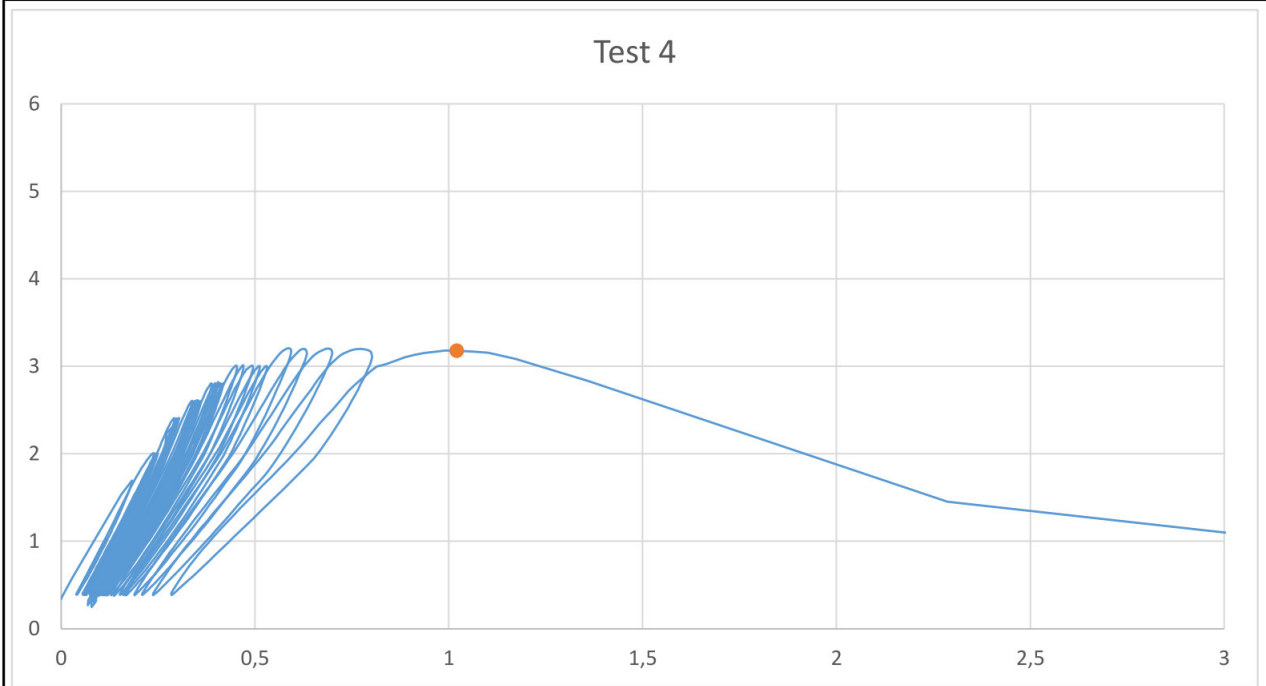




Abbildung 8-35: Versagensbild Stufentest Plan-T12 – viele Stege Test 1 & 2

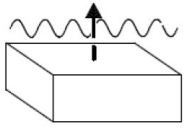
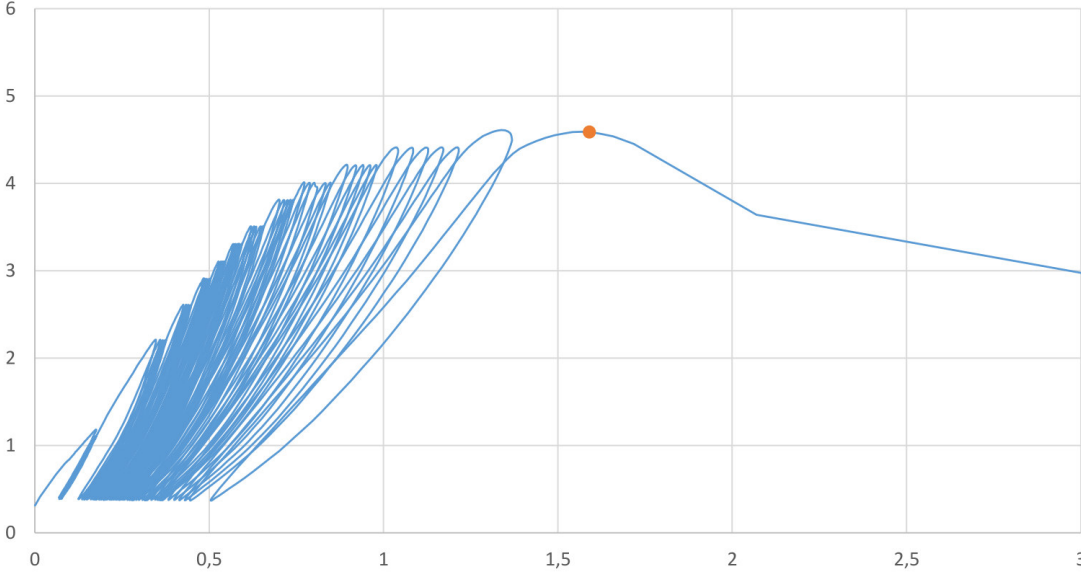


Abbildung 8-36: Versagensbild Stufentest Plan-T12 – viele Stege Test 3 & 4

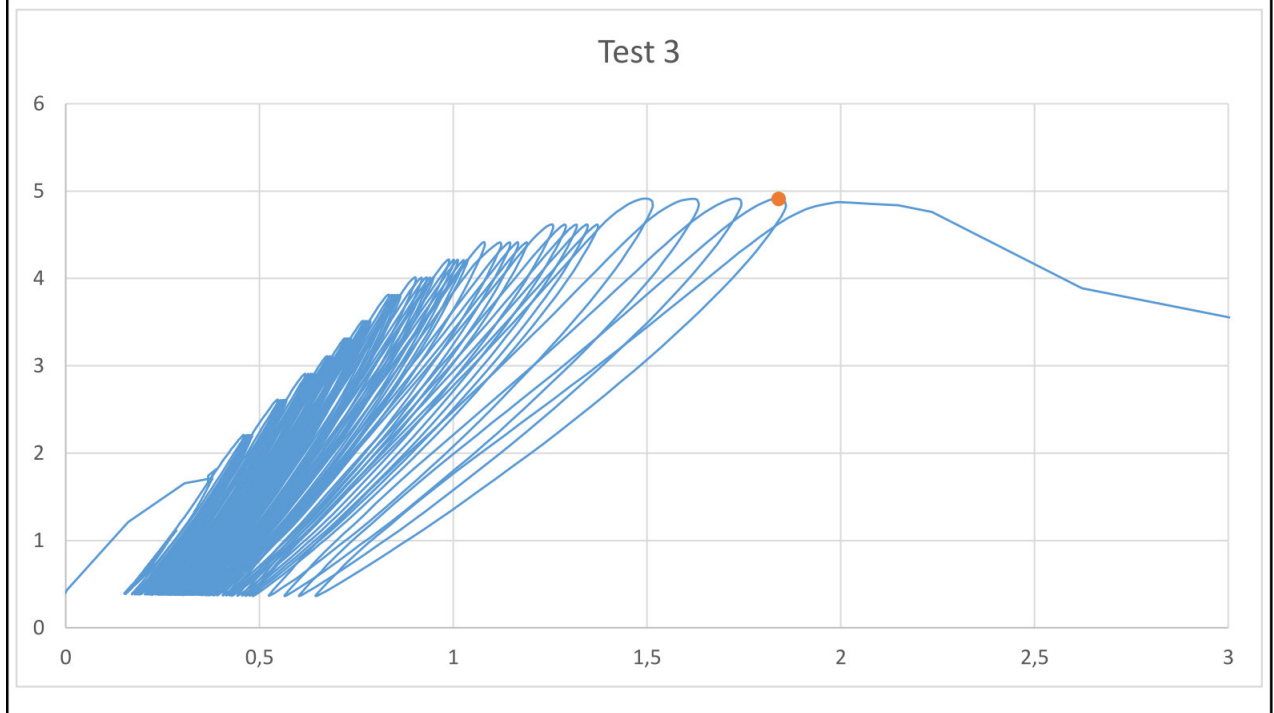
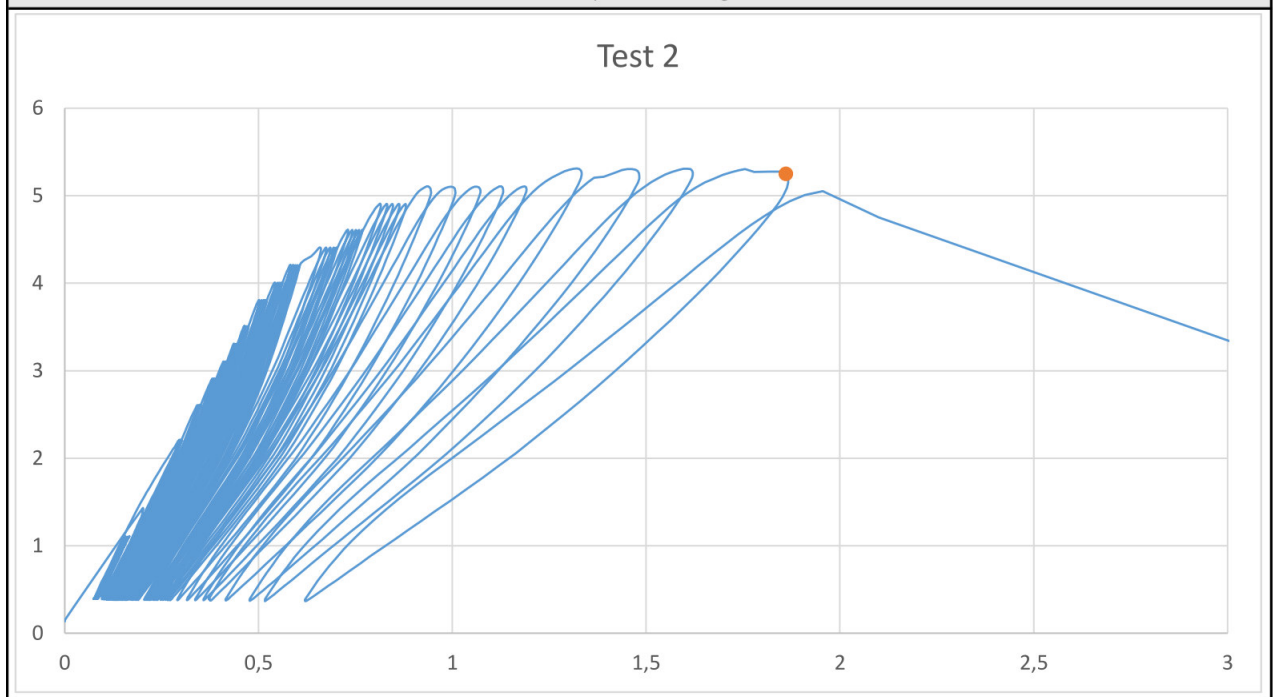


Abbildung 8-37: Versagensbild Stufentest Plan-T12 – viele Stege Test 5

8.2.1.3 T8 24 – 2 Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau 2 Stege	10	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : Drehbohren drill direction: horizontal drill / d_{cut} : 16 mm h_1 : ≥ 95 mm c : Mitte Stein cleaning : 2xhp,2xbü,2xhp test dev. / \varnothing : 320 mm test speed : -		base material : Ziegel strength / density : 9,9 N/mm ² dimensions : 241,5 x 237,9 x 248,8 cm ³ tester : Wendel T_{inst} : - mortar charge : 080011L1 h_{ef} : 80,0 mm temperature : 24,0 °C t_{fix} : - mounting tool : -		$F_{Ru,m}^t = 4,66$ kN $v = 9,12$ % 								
force-displacement diagram												
Test 1 												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	12.10.	12.10.	13.10.	13.10.	13.10.							
setting time [hh:mm]	14:45	14:45	11:40	11:40	11:40							
embed. depth [mm]	79,00	78,00	77,00	81,00	80,00							
date of test [dd.mm]	12.10.	13.10.	13.10.	16.10.	16.10.							
test time [hh:mm]	16:30	9:45	14:00	8:00	8:45							
Laststufe [%]	105	120	110	105	95							
ganze Zyklen [-]	1	4	4	0	2							
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	1,59	1,86	1,84	1,59	1,24							
F_{Ru}^t [kN]	4,59	5,25	4,91	4,40	4,17							
kind of failure	CF	CF	CF/sp	CF	sp							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test		kind of test
Versuche am Bau 2 Stege	10	Stufenversuche		Laststufen
base material & installation				
$h_1 : \geq 95 \text{ mm}$ test dev. / $\varnothing : 320 \text{ mm}$		base material : Ziegel strength / density : $9,9 \text{ N/mm}^2$ dimensions : $241,5 \times 237,9 \times 248,8 \text{ cm}^3$		$T_{\text{inst}} : -$ $h_{\text{ef}} : 80,0 \text{ mm}$ $t_{\text{fix}} : -$
force-displacement diagram				



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau 2 Stege	10	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
$h_1 : \geq 95 \text{ mm}$ test dev. / $\varnothing : 0 \text{ mm}$	base material : Ziegel strength / density : $9,9 \text{ N/mm}^2$ dimensions : $241,5 \times 237,9 \times 248,8 \text{ cm}^3$	$T_{inst} : -$ $h_{ef} : 80,0 \text{ mm}$ $t_{fix} : -$	
force-displacement diagram			
Test 4			
Test 5			



Abbildung 8-38: Versagensbild Stufentest T8 24 – 2 Stege Test 1 & 2

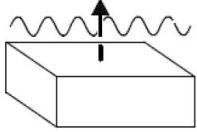
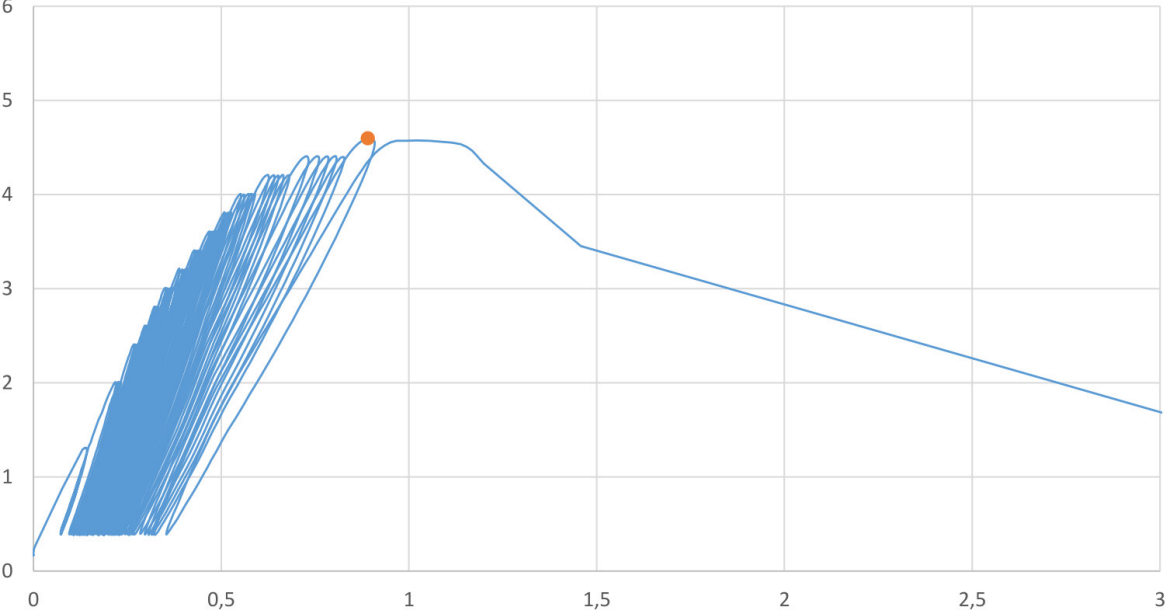


Abbildung 8-39: Versagensbild Stufentest T8 24 – 2 Stege Test 3 & 4



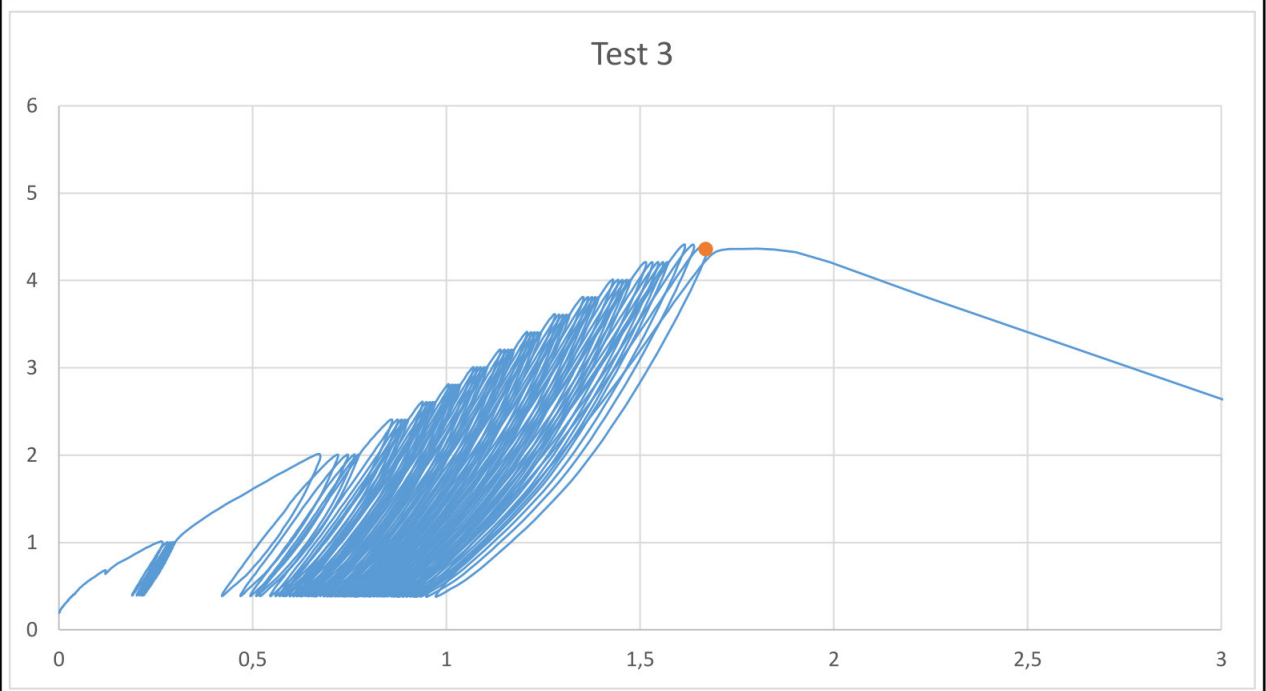
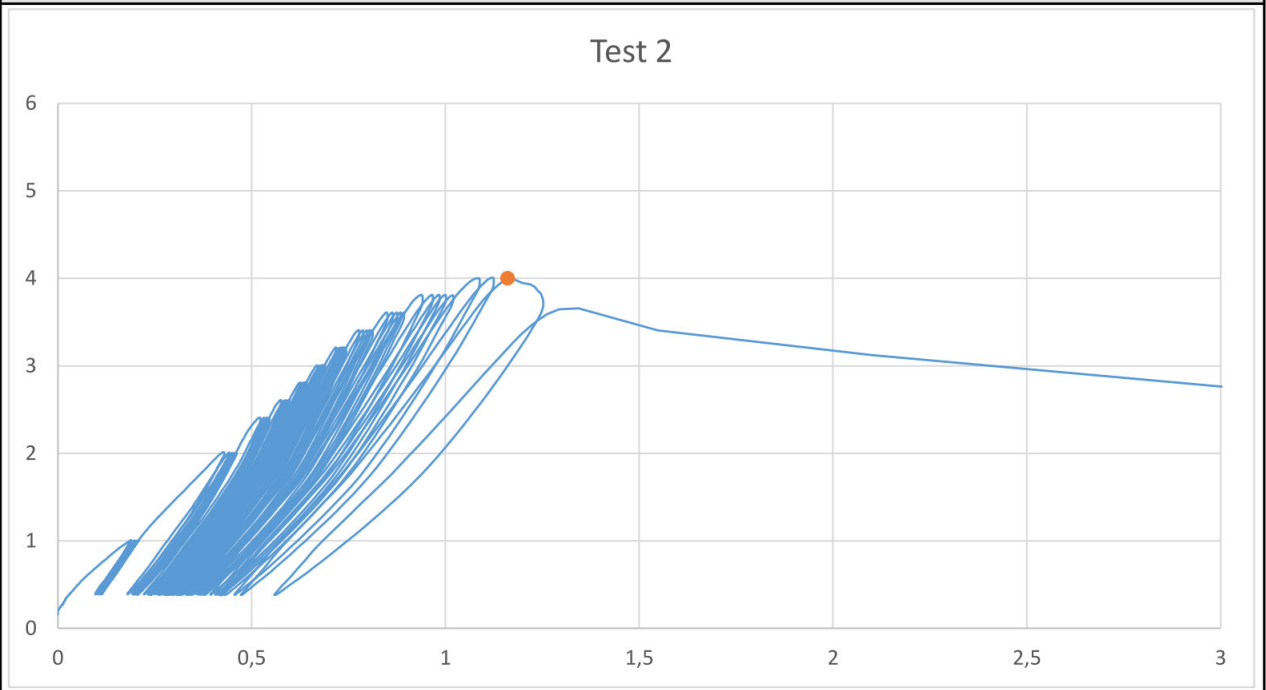
Abbildung 8-40: Versagensbild Stufentest T8 24 – 2 Stege Test 5

8.2.1.4 PFZ-T24 – 1 Steg

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau 1 Steg	10	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : Drehbohren drill direction: horizontal drill / d _{cut} : 16 mm h ₁ : ≥ 95 mm c : Mitte Stein cleaning : 2xhp,2xbü,2xhp test dev. / Ø : 320 mm test speed : -		base material : Ziegel strength / density : 12,5 N/mm ² dimensions : 276,9 x 242,5 x 249,3 cm ³ tester : Wendel T _{inst} : - mortar charge : 080011L1 h _{ef} : 80,0 mm temperature : 24,0 °C t _{fix} : - mounting tool : -		F ^t _{Ru,m} = 4,43 kN v = 5,93 %								
												
force-displacement diagram												
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">Test 1</p>  </div>												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	16.10.	16.10.	16.10.	16.10.	16.10.							
setting time [hh:mm]	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00							
embed. depth [mm]	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00							
date of test [dd.mm]	16.10.	16.10.	16.10.	16.10.	16.10.							
test time [hh:mm]	11:30	12:10	13:40	14:00	14:30							
Laststufe [%]	115	100	110	115	115							
ganze Zyklen [-]	1	3	3	3	2							
δ _{FtRu} [mm]	0,89	1,16	1,67	1,19	1,06							
F ^t _{Ru} [kN]	4,60	4,00	4,36	4,60	4,60							
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau 1 Steg	10	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
$h_1 : \geq 95 \text{ mm}$ test dev. / $\varnothing : 320 \text{ mm}$	base material : Ziegel strength / density : $12,5 \text{ N/mm}^2$ dimensions : $276,9 \times 242,5 \times 249,3 \text{ cm}^3$	$T_{\text{inst}} : -$ $h_{\text{ef}} : 80,0 \text{ mm}$ $t_{\text{fix}} : -$	

force-displacement diagram



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau 1 Steg	10	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
$h_1 : \geq 95 \text{ mm}$ test dev. / $\varnothing : 0 \text{ mm}$	base material : Ziegel strength / density : $12,5 \text{ N/mm}^2$ dimensions : $276,9 \times 242,5 \times 249,3 \text{ cm}^3$	$T_{\text{inst}} : -$ $h_{\text{ef}} : 80,0 \text{ mm}$ $t_{\text{fix}} : -$	

force-displacement diagram

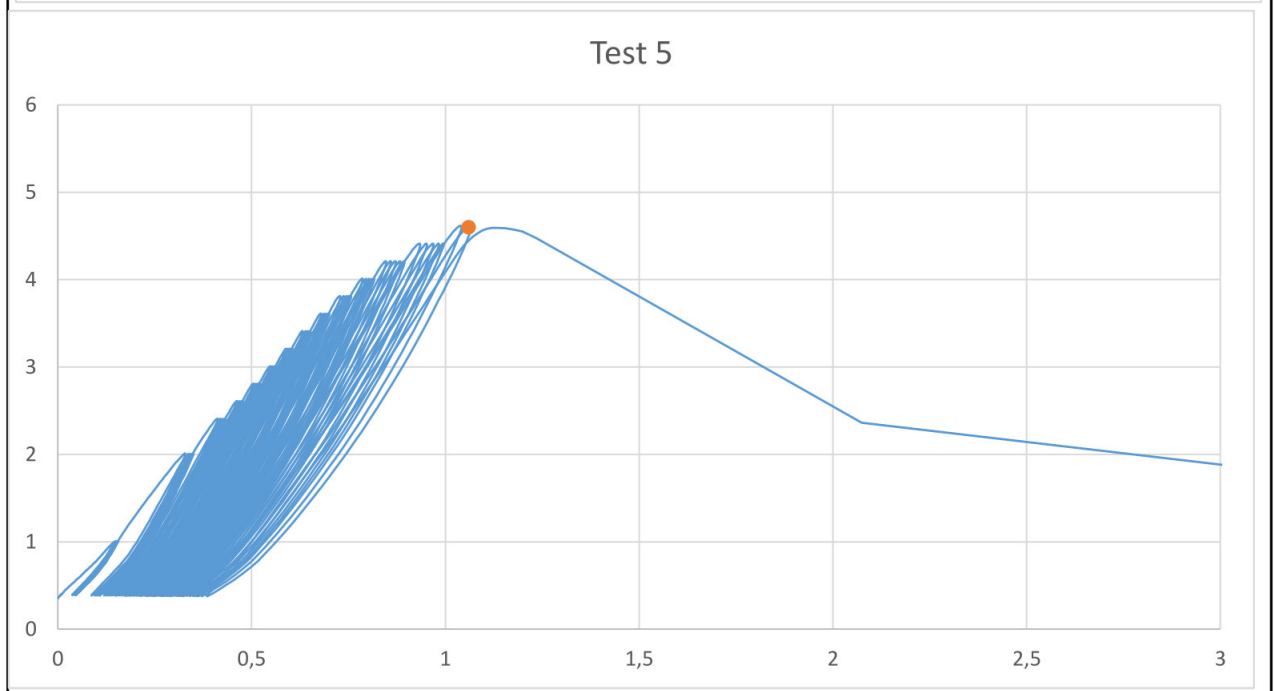
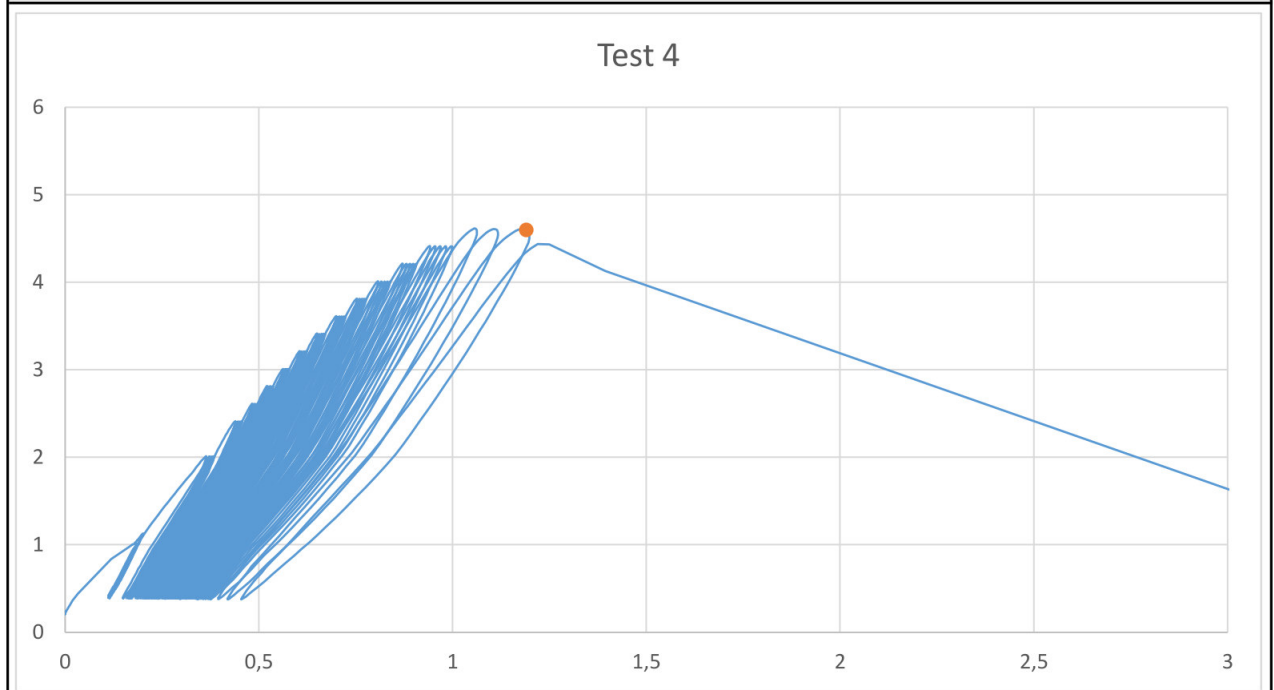




Abbildung 8-41: Versagensbild Stufentest PFZ T24 – 1 Steg Test 1



Abbildung 8-42: Versagensbild Stufentest PFZ T24 – 1 Steg Test 2



Abbildung 8-43: Versagensbild Stufentest PFZ T24 – 1 Steg Test 3



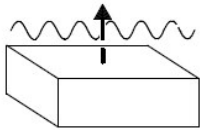
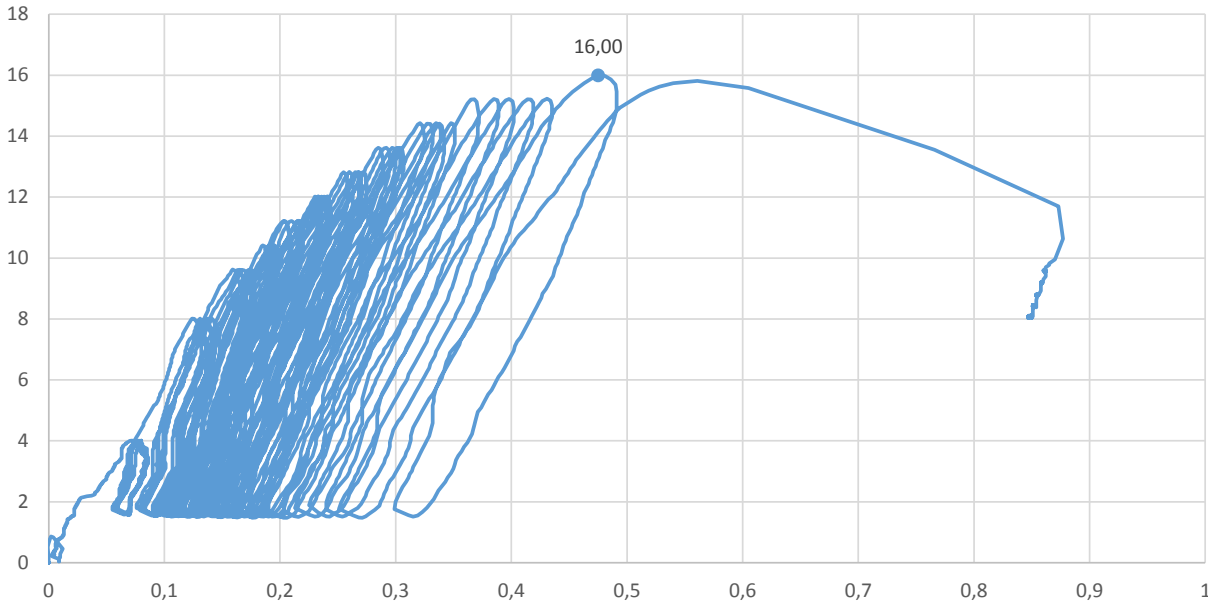
Abbildung 8-44: Versagensbild Stufentest PFZ T24 – 1 Steg Test 4



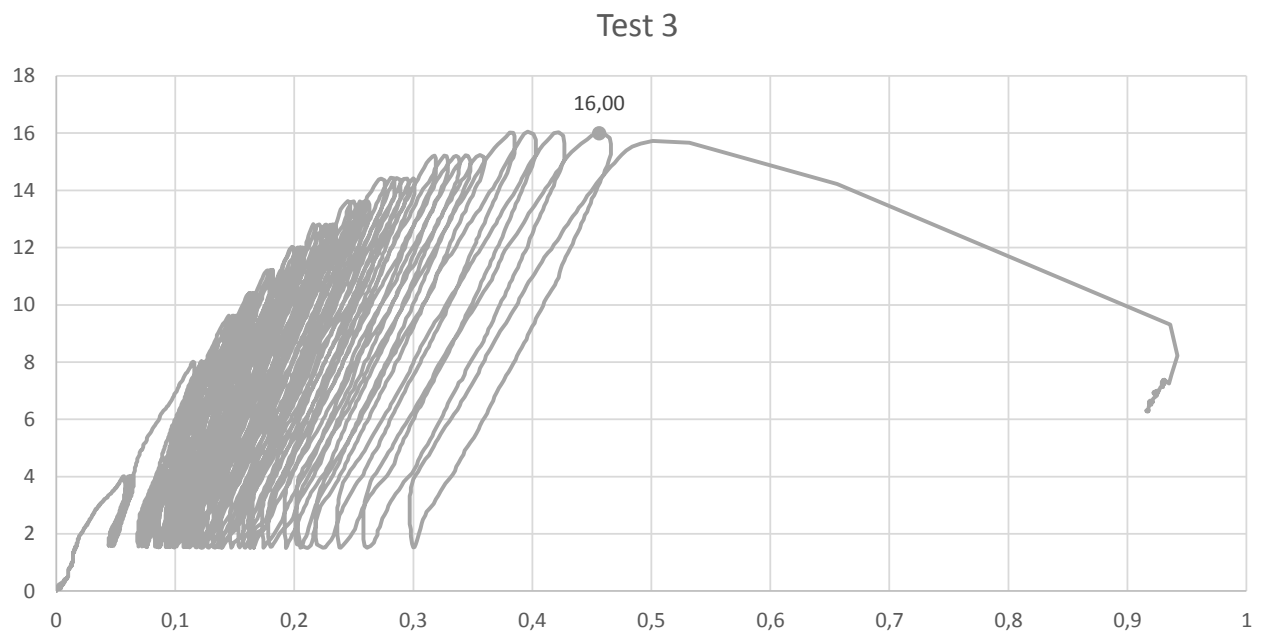
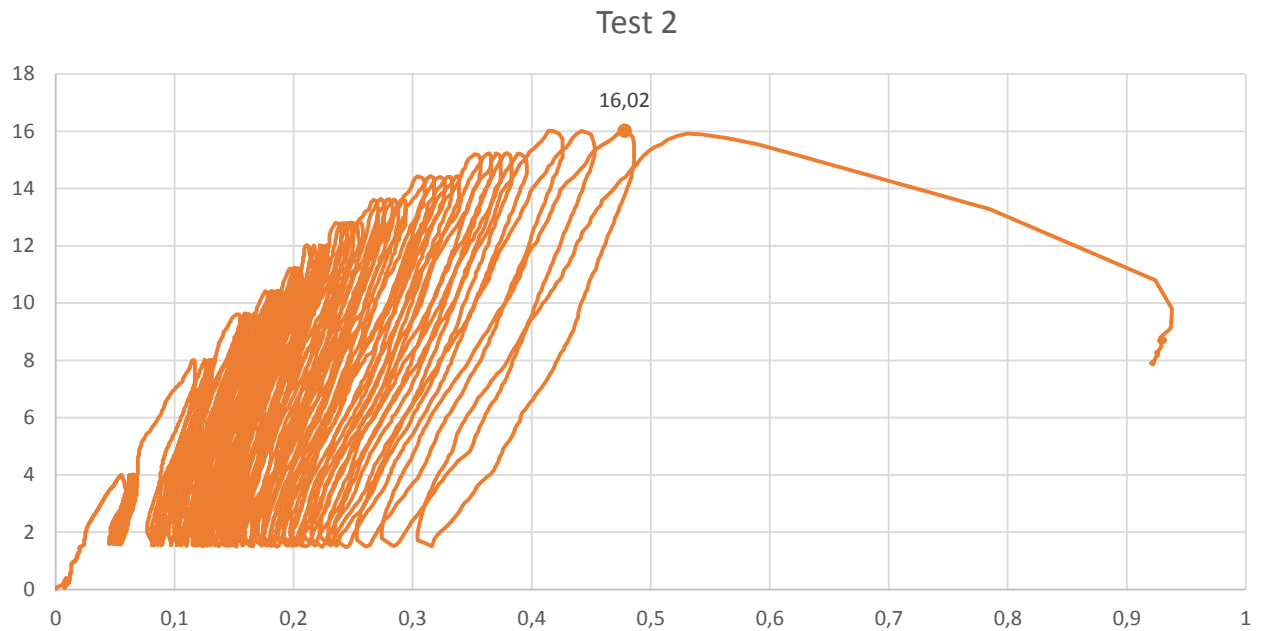
Abbildung 8-45: Versagensbild Stufentest PFZ T24 – 1 Steg Test 5

8.2.2 Kalksandstein

8.2.2.1 Kalksand Vollstein

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10x50	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 50 mm c : -- cleaning : 2xbl./2xbr./2xbl. test dev. / Ø : 300mm test speed : -		base material : 771-2-003 strength / density : 33,3 N/mm ² dimensions : 50x50x18 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/43% mounting tool : none		F ^t _{RU,m} = 16,00 kN v = 0,06 % 								
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01							
setting time [hh:mm]	12:08	12:08	12:08	12:08	14:00							
embed. depth [mm]	52,56	50,98	50,81	50,64	53,24							
date of test [dd.mm]	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01							
test time [hh:mm]	14:08	14:32	15:02	14:50	15:19							
Laststufe [%]	100	100	100	105	105							
ganze Zyklen [-]	1	3	4	0	0							
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	0,48	0,48	0,46	0,46	0,59							
F ^t _{RU} [kN]	16,00	16,02	16,00	16,00	16,00							
kind of failure	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10x50	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 50 mm test dev. / \varnothing : 300mm	base material : 771-2-003 strength / density : 33,3 N/mm ² dimensions : 50x50x18 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 50,0 mm t_{fix} : 10,0 mm	
force-displacement diagram			



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10x50	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 50 mm test dev. / \varnothing : 300mm	base material : 771-2-003 strength / density : 33,3 N/mm ² dimensions : 50x50x18 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 50,0 mm t_{fix} : 10,0 mm	
force-displacement diagram			

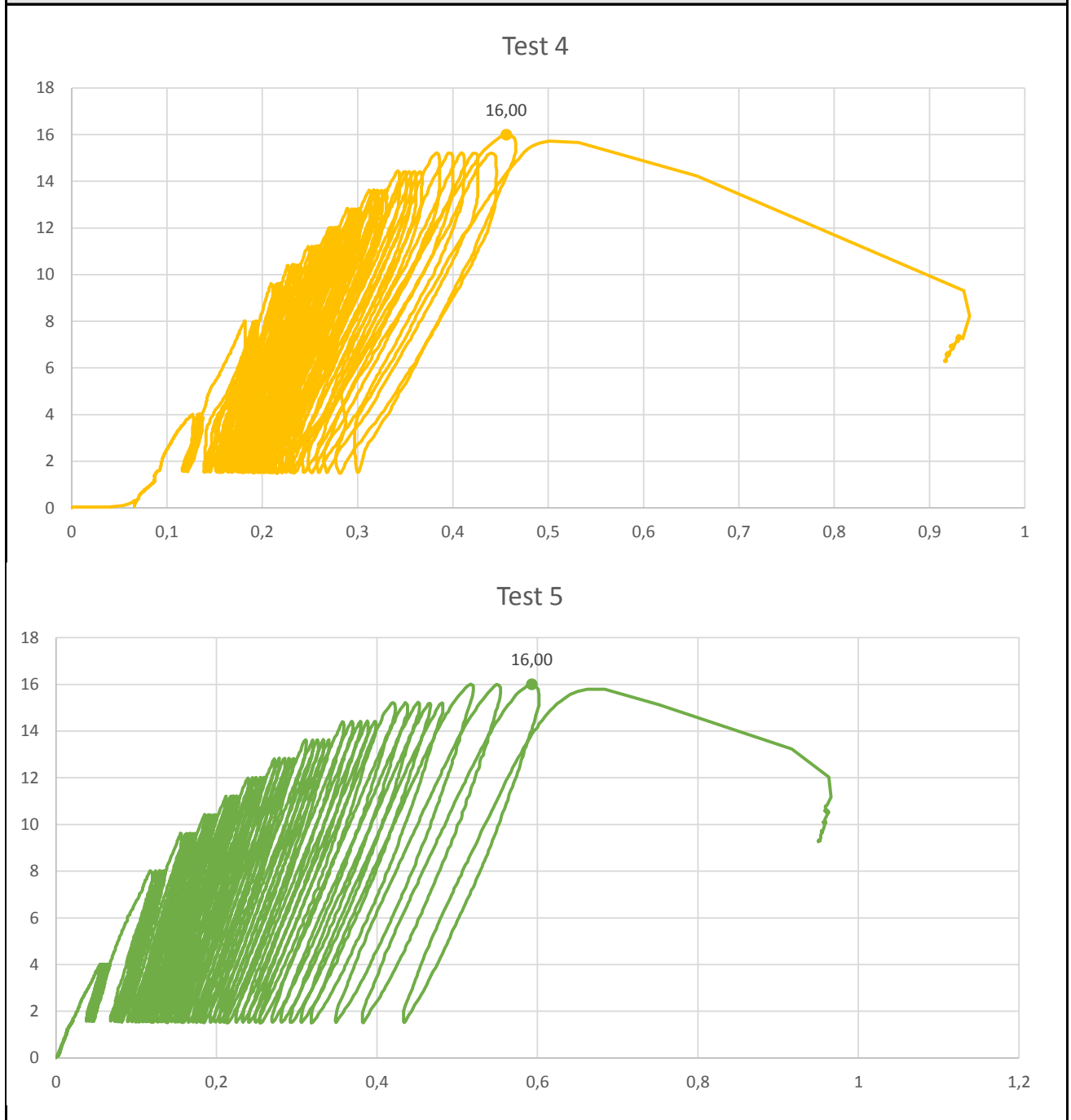




Abbildung 8-46 Stufen KS M10x50mm Test 1



Abbildung 8-47: Stufen KS M10x50mm Test 2



Abbildung 8-48 Stufen KS M10x50mm Test 3

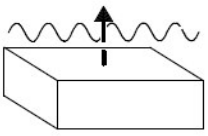
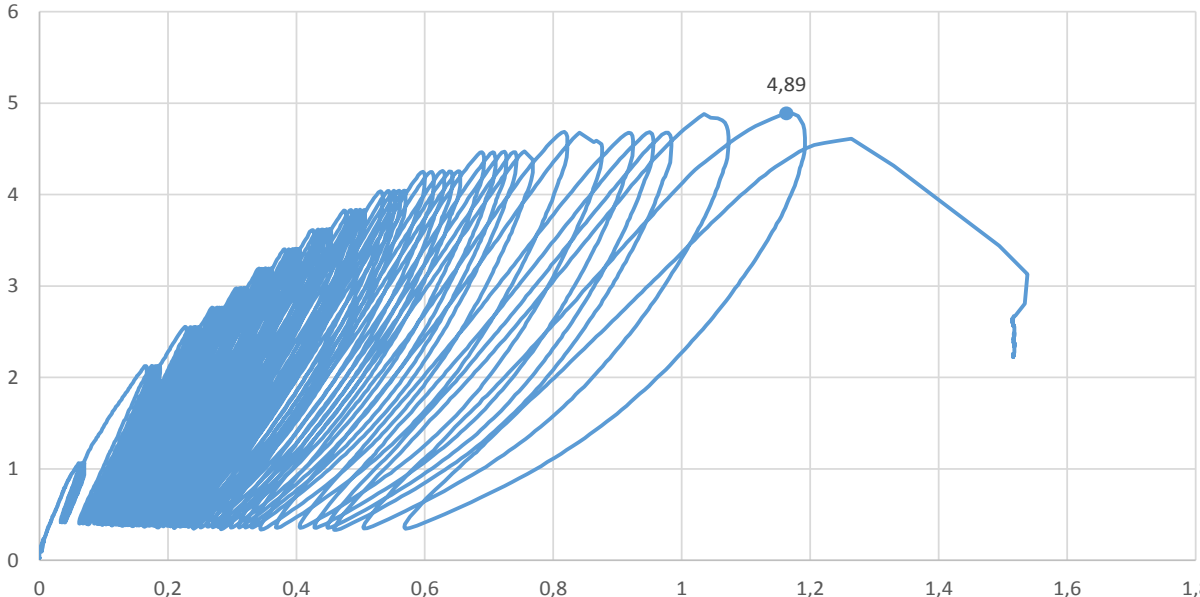


Abbildung 8-49: Stufen KS M10x50mm Test 4

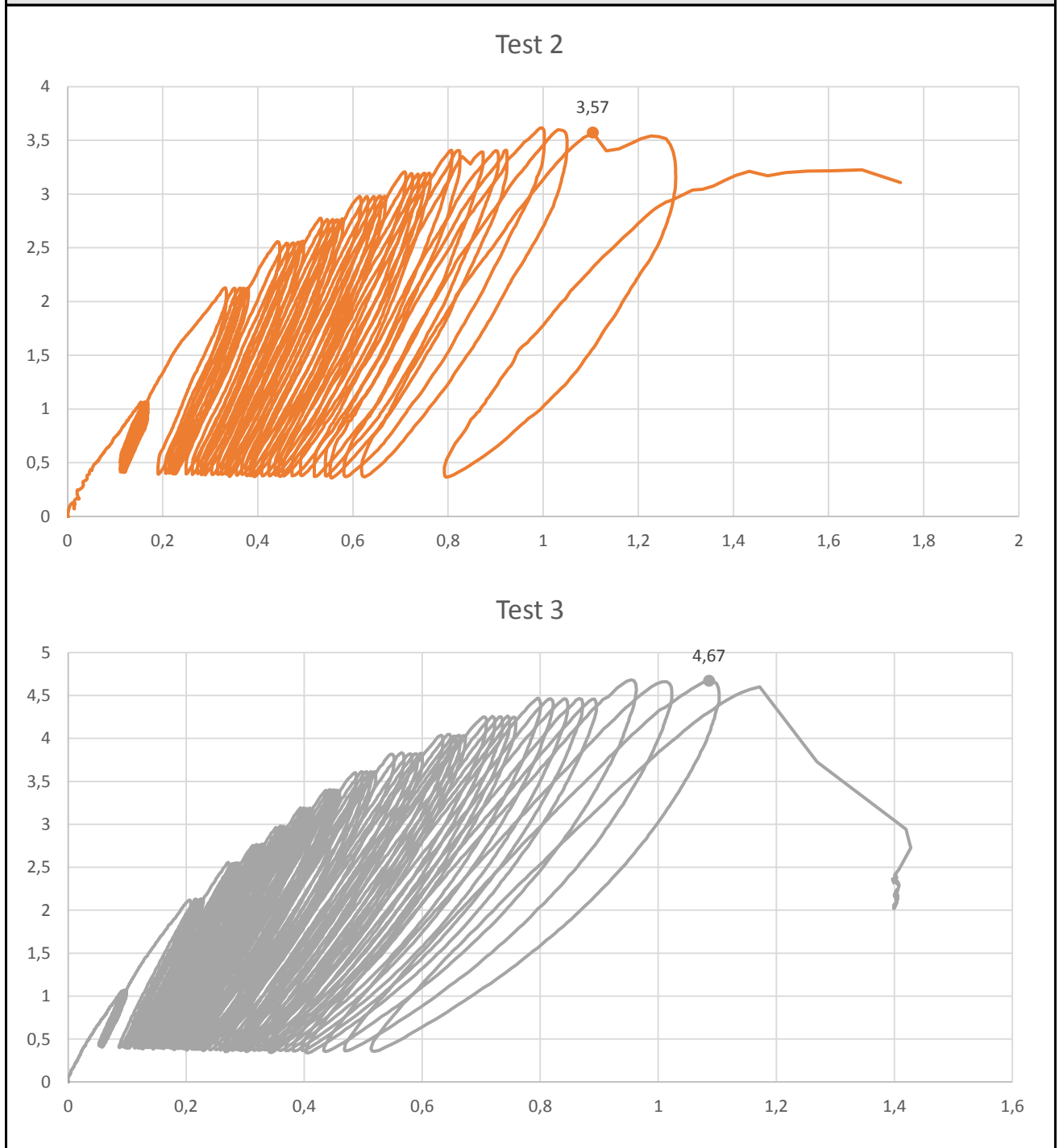


Abbildung 8-50 Stufen KS M10x50mm Test 5

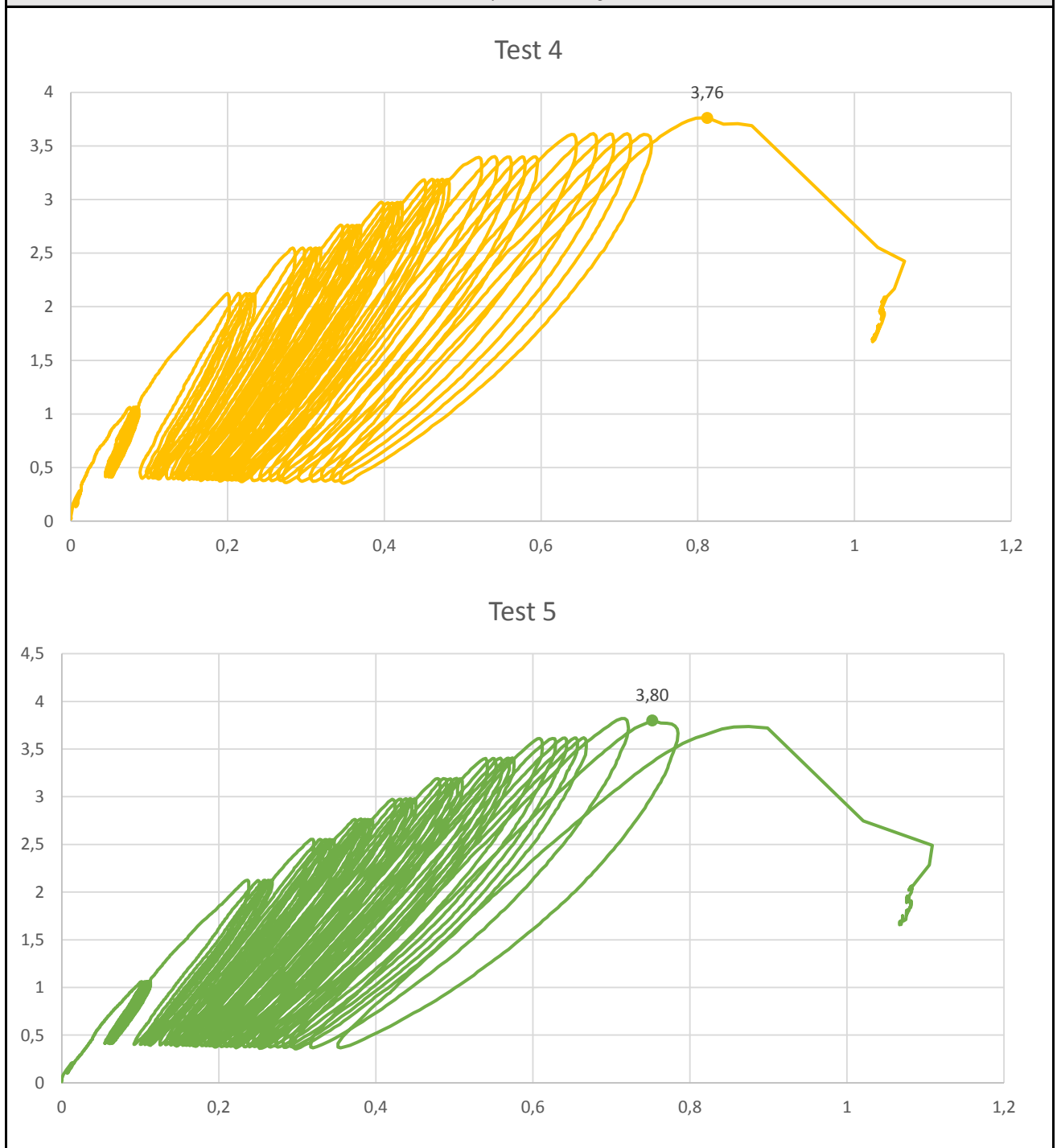
8.2.2.2 Kalksand Lochstein 8DF 1 Steg

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x85	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 1 Steg c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 450mm test speed : -		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/43% mounting tool : none		F _{Ru,m} ^t = 4,14 kN v = 14,39 % 								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 85mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	06.09	06.09	06.09	07.09	07.09							
setting time [hh:mm]	13:50	13:50	13:50	13:50	13:50							
embed. depth [mm]	83,77	83,87	84,37	84,57	84,64							
date of test [dd.mm]	07.09	07.09	07.09	08.09	08.09							
test time [hh:mm]	10:45	11:05	11:18	10:21	10:34							
Laststufe [%]	115	85	110	90	90							
ganze Zyklen [-]	2	2	3	0	2							
δ _{FtRu} [mm]	1,16	1,10	1,09	0,81	0,75							
F _{Ru} ^t [kN]	4,89	3,57	4,67	3,76	3,80							
kind of failure	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test		kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x85	Stufenversuche		Laststufen
base material & installation				
h ₁ : 1 Steg test dev. / Ø : 450mm		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³		T _{inst} : -- h _{ef} : 85mm t _{fix} : 10,0 mm
force-displacement diagram				



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x85	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 1 Steg test dev. / \varnothing : 450mm	base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 85mm t_{fix} : 10,0 mm	
force-displacement diagram			



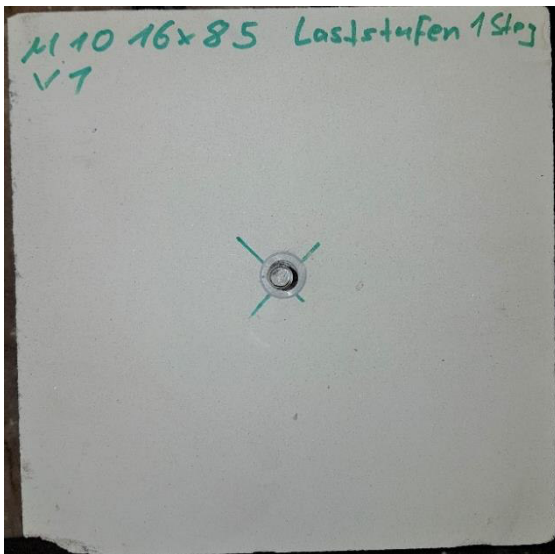


Abbildung 8-51 Stufen KSL M10 16x85mm Test 1

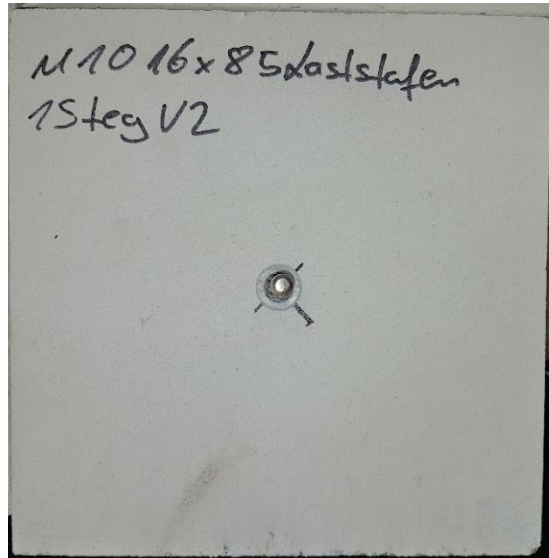


Abbildung 8-52: Stufen KSL M10 16x85mm Test 2

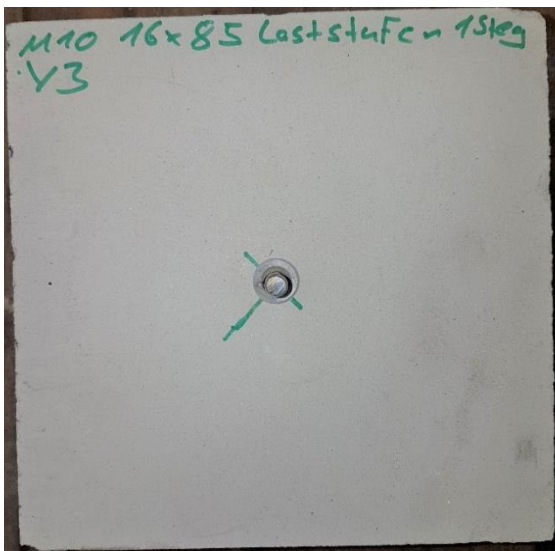


Abbildung 8-53 Stufen KSL M10 16x85mm Test 3

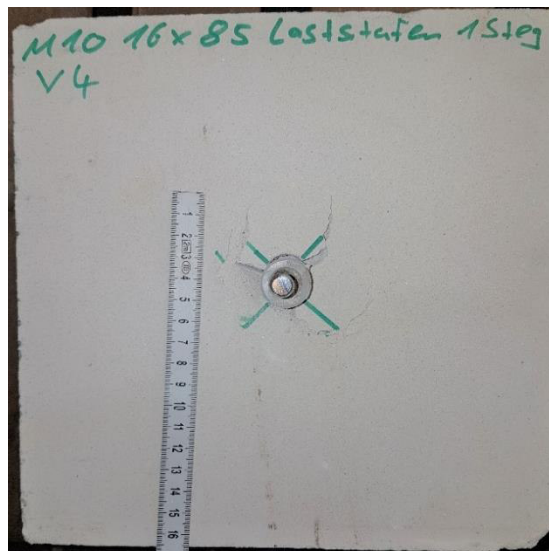


Abbildung 8-54: Stufen KSL M10 16x85mm Test 4

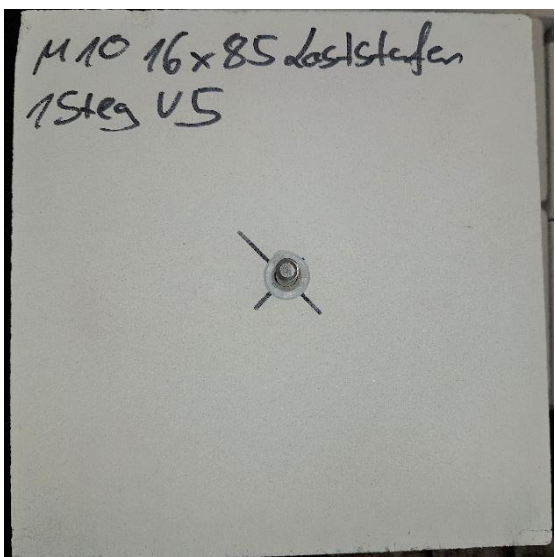
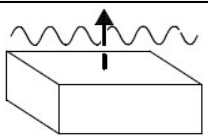
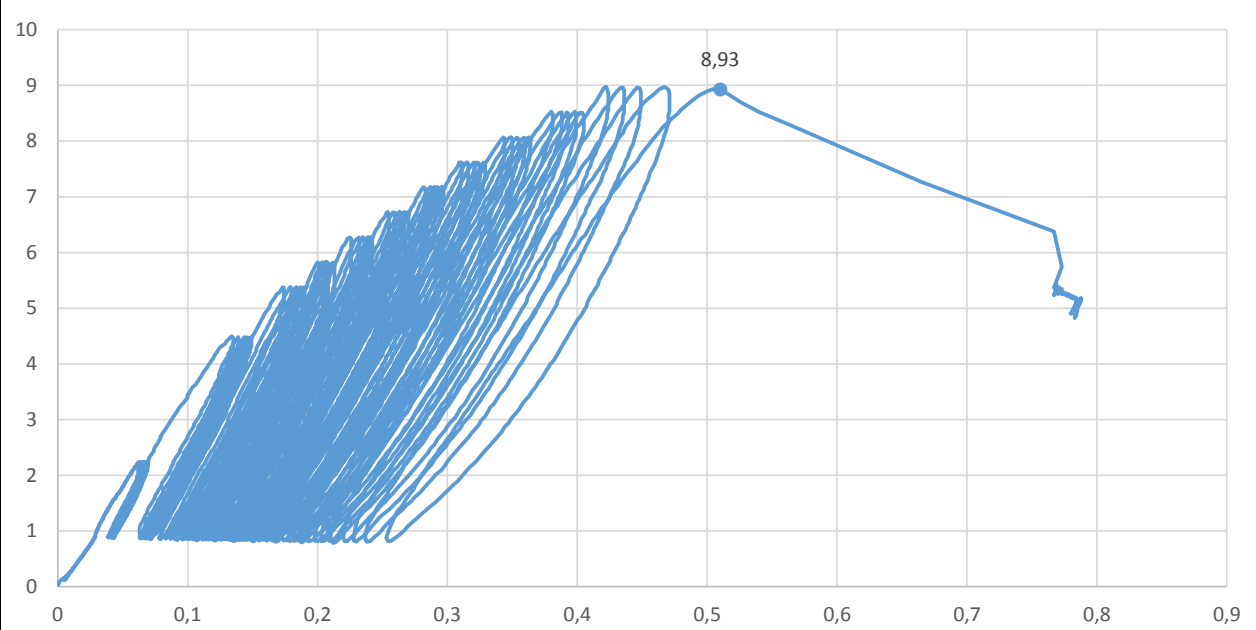
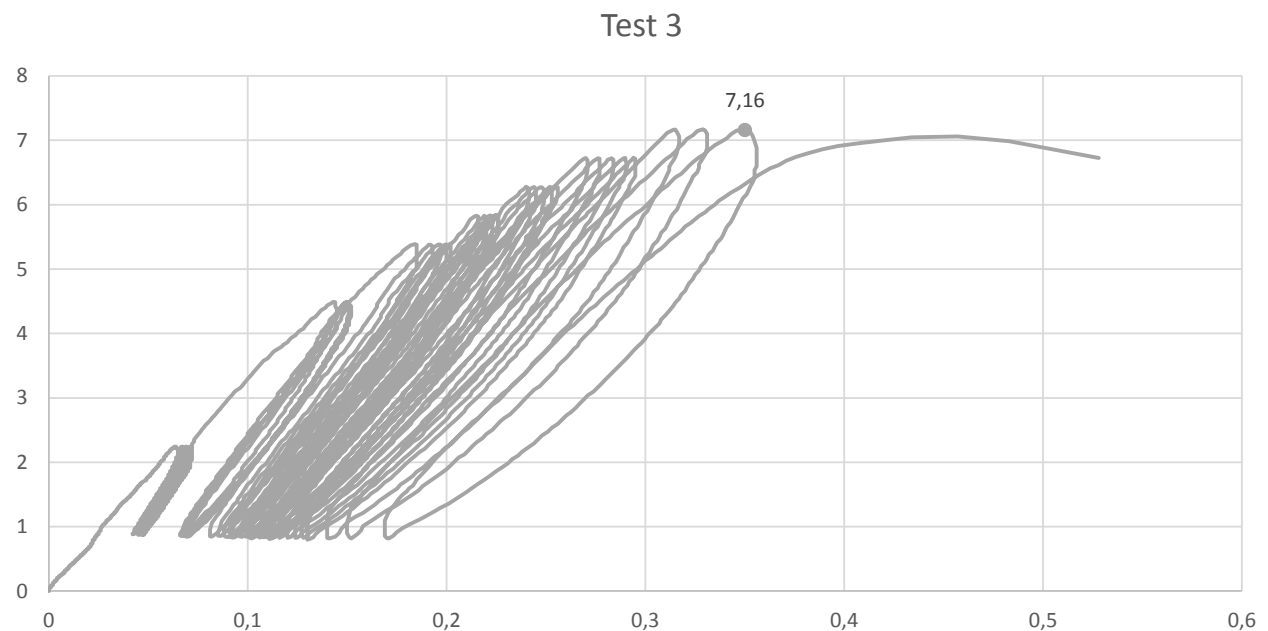
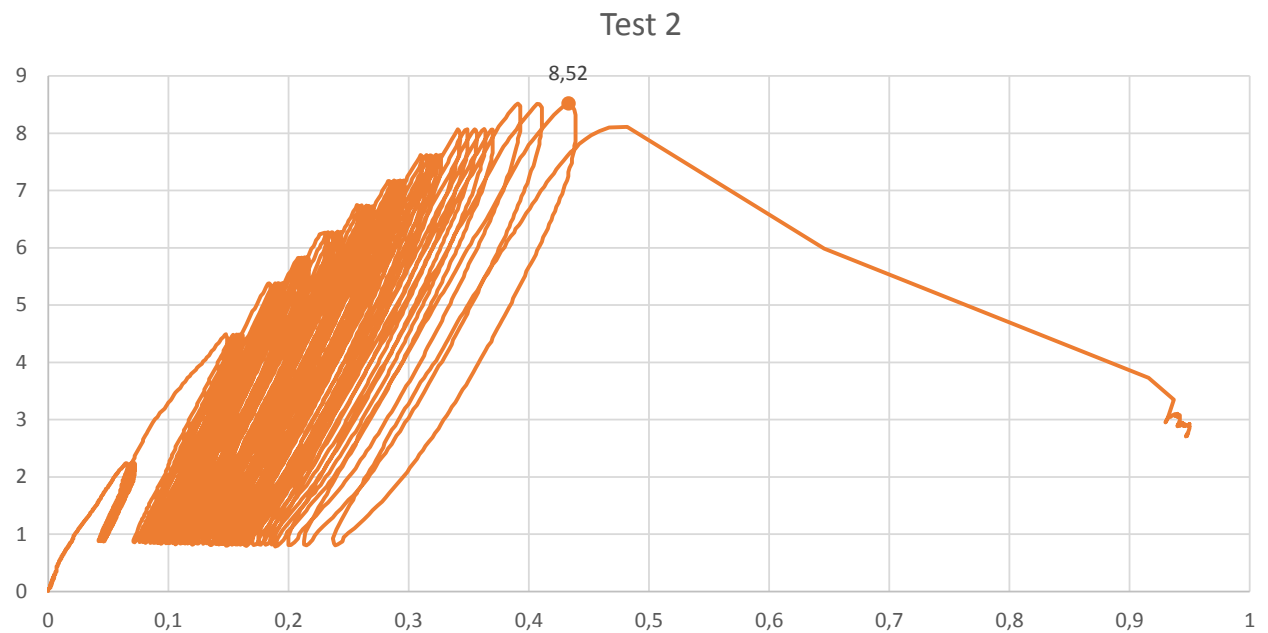


Abbildung 8-55 Stufen KSL M10 16x85mm Test 5

8.2.2.3 Kalksand Lochstein 8DF 2 Stege

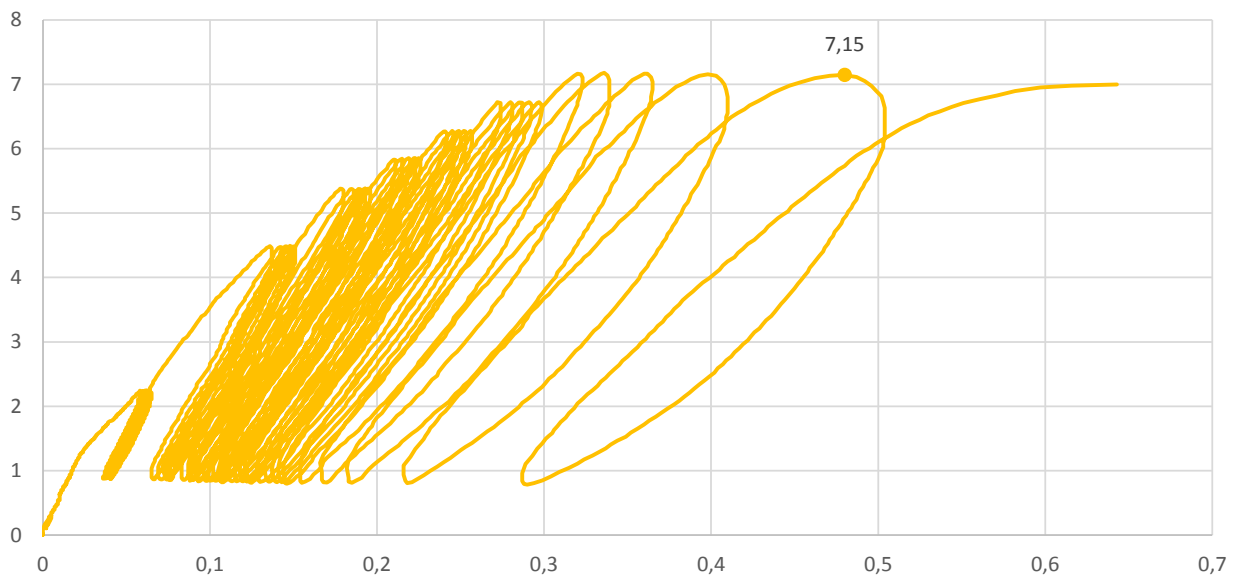
project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 2Stege c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 450mm test speed : -		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/43% mounting tool : none		F ^t _{Ru,m} = 7,95 kN v = 10,04 % 								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	06.09	06.09	06.09	06.09	06.09							
setting time [hh:mm]	13:50	13:50	13:50	13:50	13:50							
embed. depth [mm]	129,41	129,09	129,20	129,02	129,34							
date of test [dd.mm]	07.09	07.09	07.09	07.09	07.09							
test time [hh:mm]	11:55	13:45	13:58	14:10	14:21							
Laststufe [%]	100	95	80	80	85							
ganze Zyklen [-]	4	3	3	5	1							
δ _{FRu} [mm]	0,51	0,43	0,35	0,48	0,48							
F ^t _{Ru} [kN]	8,93	8,52	7,16	7,15	7,97							
kind of failure	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h ₁ : 2Stege test dev. / Ø : 450mm		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³	T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm
force-displacement diagram			

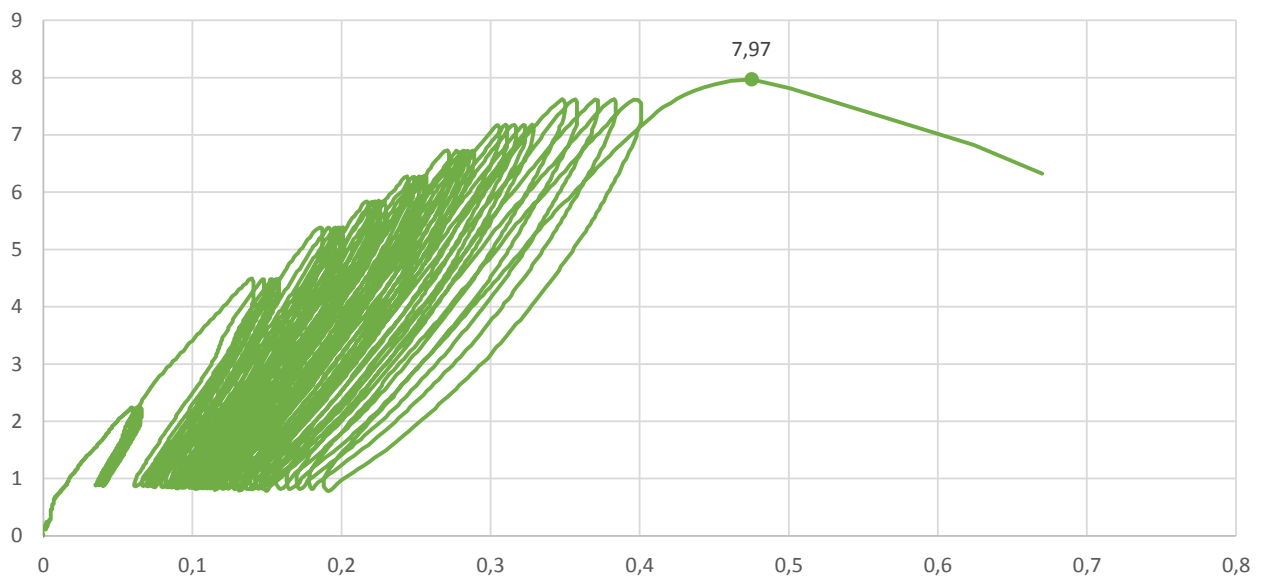


project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h ₁ : 2Stege test dev. / Ø : 450mm		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³	T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm
force-displacement diagram			

Test 4



Test 5



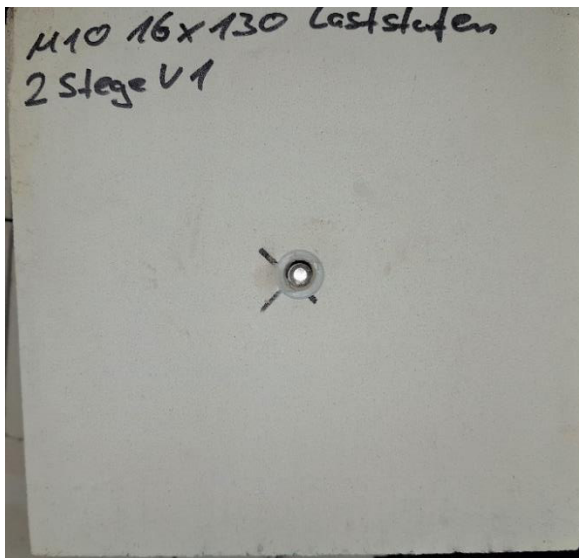


Abbildung 8-56 Stufen KSL M10 16x130mm Test 1

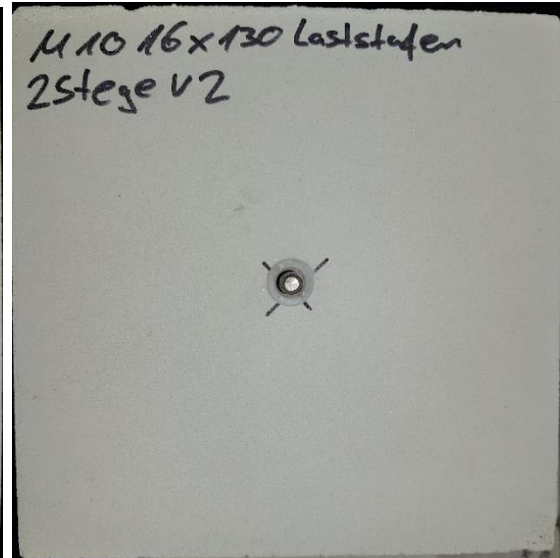


Abbildung 8-57: Stufen KSL M10 16x130mm Test 2

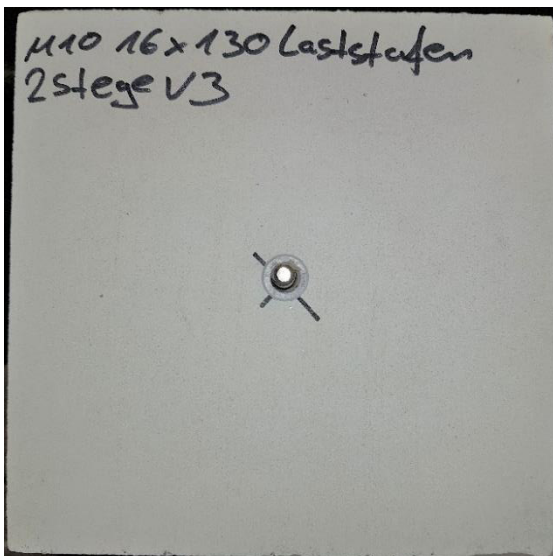


Abbildung 8-58 Stufen KSL M10 16x130mm Test 3

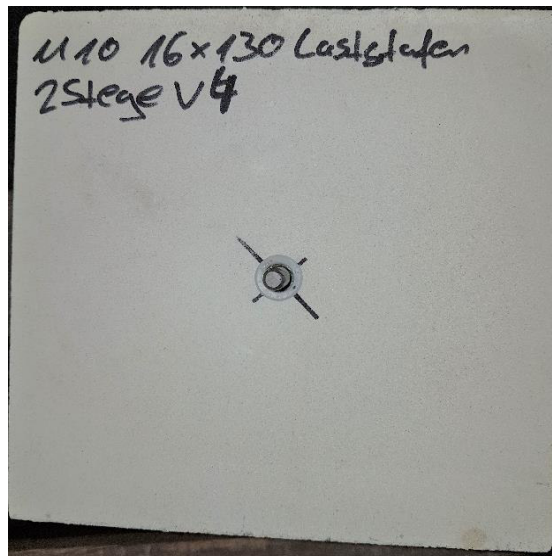


Abbildung 8-59: Stufen KSL M10 16x130mm Test 4

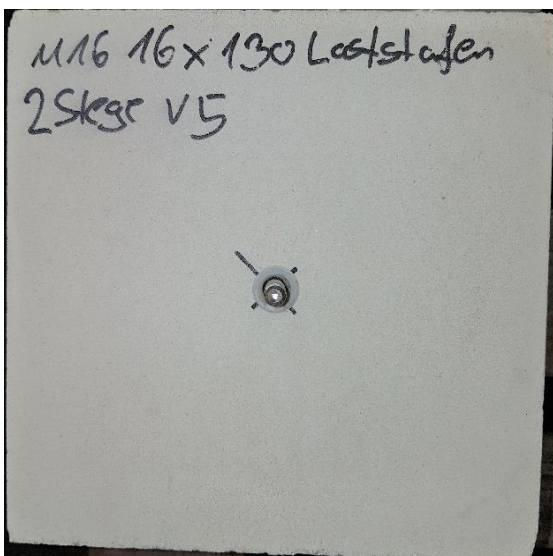
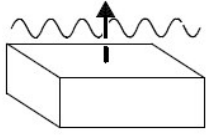
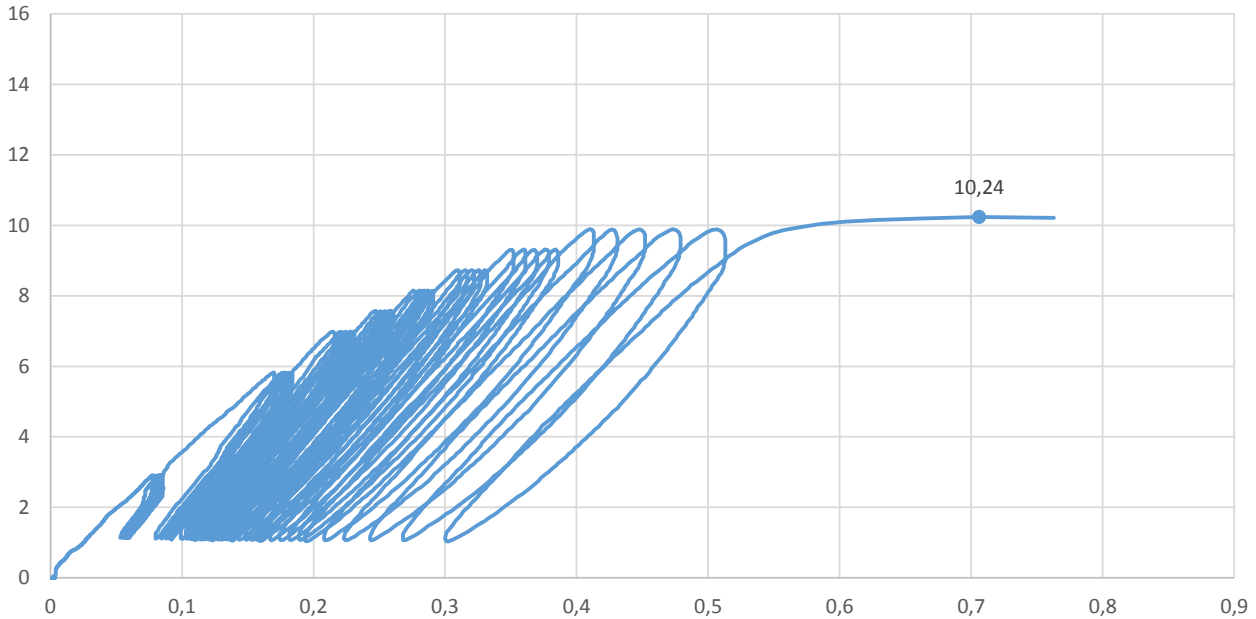
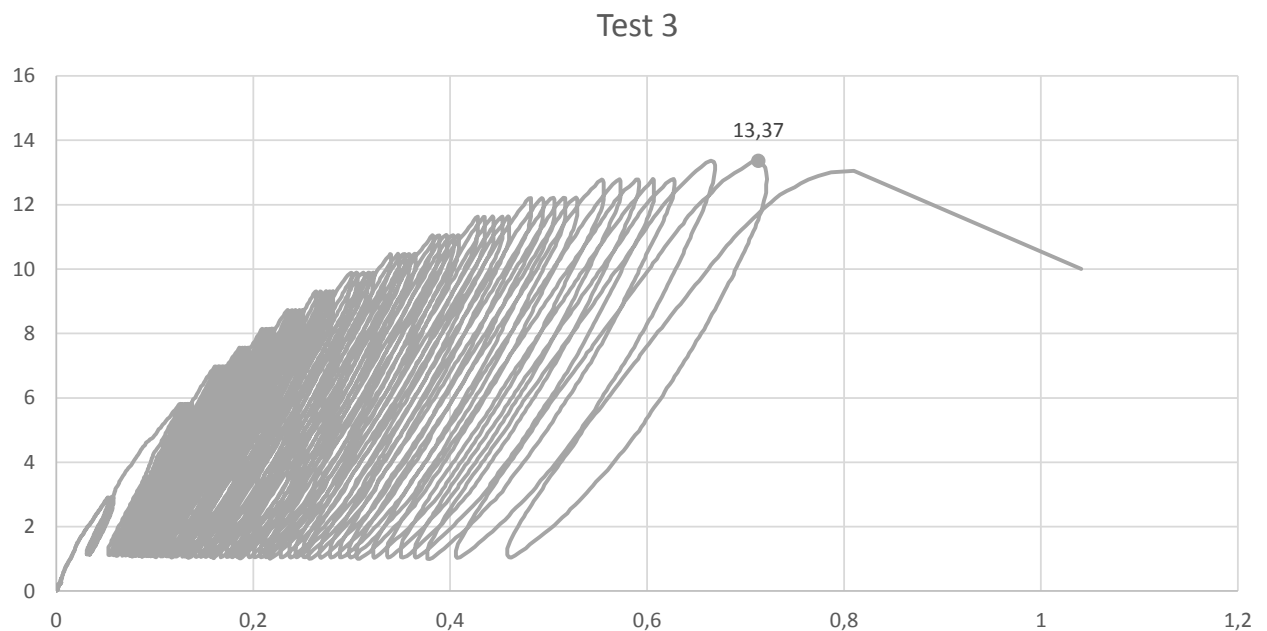
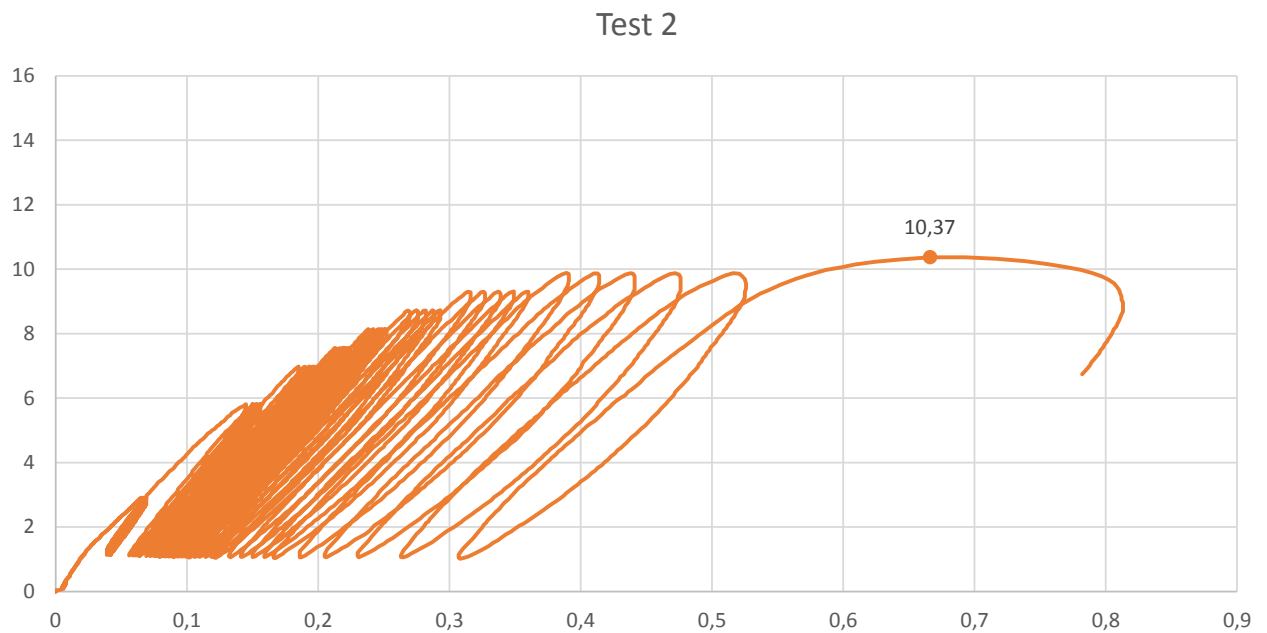


Abbildung 8-60 Stufen KSL M10 16x130mm Test 5

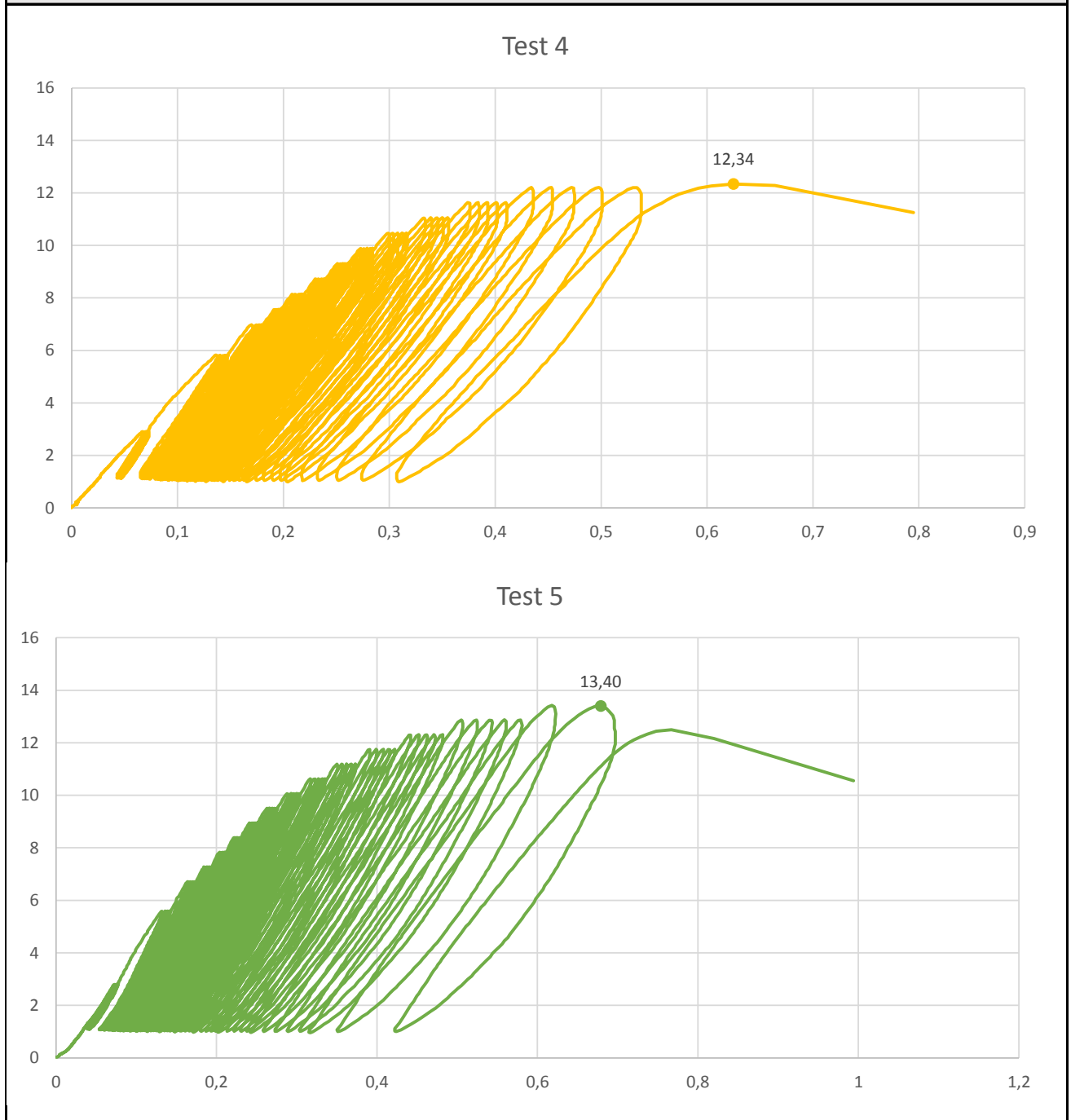
8.2.2.4 Kalksand Lochstein 8DF 3 Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 3 Stege c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 450mm test speed : -		base material : 771-2-001 strength / density : 21,2 N/mm ² dimensions : 24,8x24x23,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/43% mounting tool : none		F ^t _{Ru,m} = 11,94 kN v = 13,02 % 								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	06.09	06.09	06.09	06.09	07.09							
setting time [hh:mm]	13:50	13:50	13:50	13:50	13:50							
embed. depth [mm]	129,13	129,27	129,09	128,91	129,05							
date of test [dd.mm]	07.09	07.09	07.09	07.09	08.09							
test time [hh:mm]	9:05	9:20	9:34	9:51	10:01							
Laststufe [%]	85	90	115	105	115							
ganze Zyklen [-]	5	1	2	5	2							
δ _{FRu} [mm]	0,71	0,67	0,71	0,63	0,68							
F ^t _{Ru} [kN]	10,24	10,37	13,37	12,34	13,40							
kind of failure	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test		kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Stufenversuche		Laststufen
base material & installation				
h ₁ : 3 Stege test dev. / Ø : 450mm		base material : 771-2-001 strength / density : 21,2 N/mm ² dimensions : 24,8x24x23,8 cm ³		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm
force-displacement diagram				



project	anchor size	description of test		kind of test
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16x130	Stufenversuche		Laststufen
base material & installation				
h ₁ : 3 Stege test dev. / Ø : 450mm		base material : 771-2-001 strength / density : 21,2 N/mm ² dimensions : 24,8x24x23,8 cm ³		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm
force-displacement diagram				



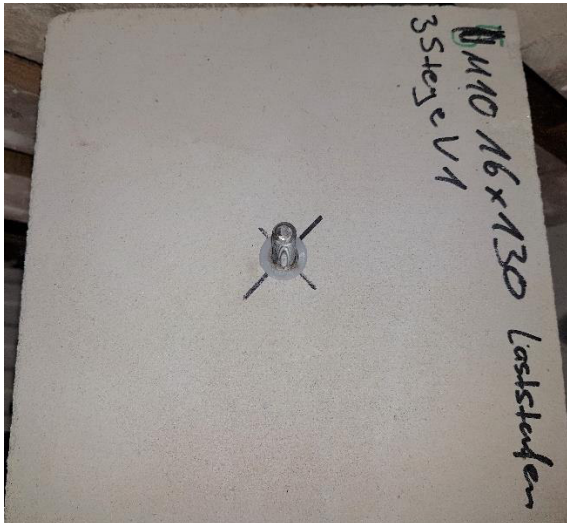


Abbildung 8-61 Stufen KSL M10 16x85mm Test 1

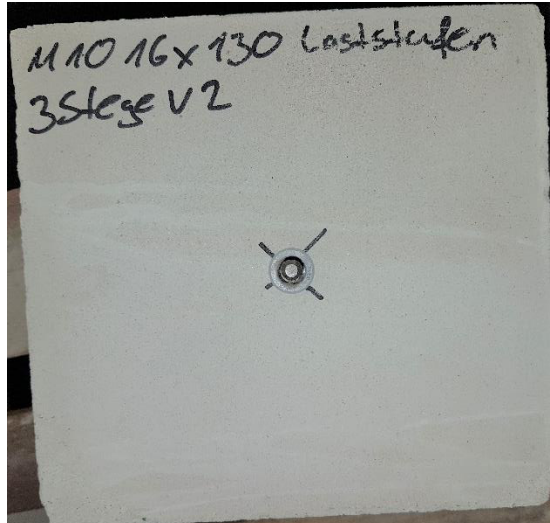


Abbildung 8-62: Stufen KSL M10 16x85mm Test 2

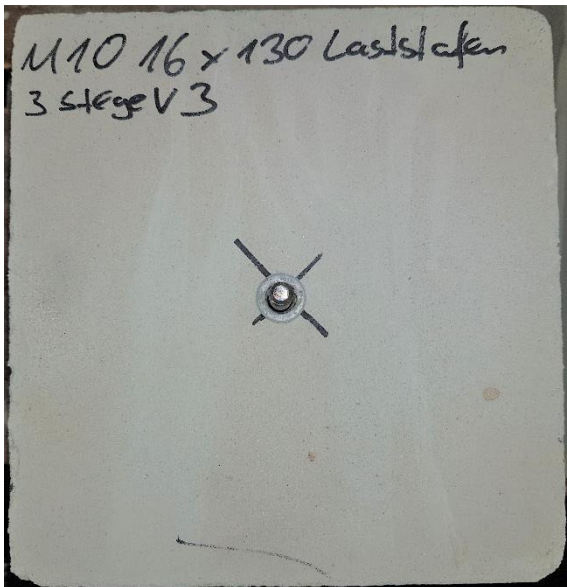


Abbildung 8-63 Stufen KSL M10 16x85mm Test 3

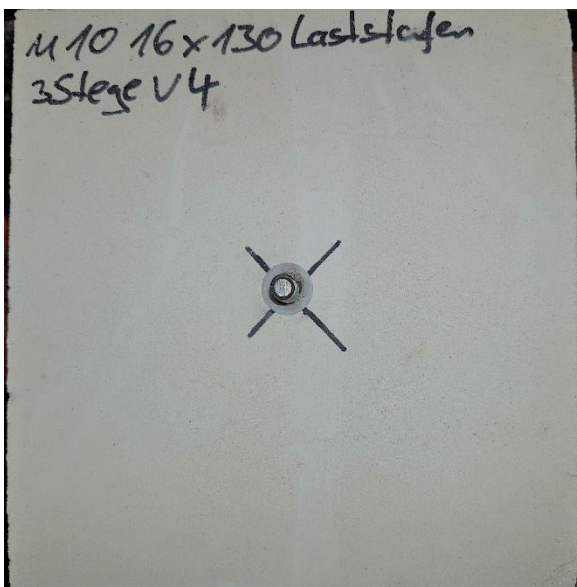


Abbildung 8-64: Stufen KSL M10 16x85mm Test 4

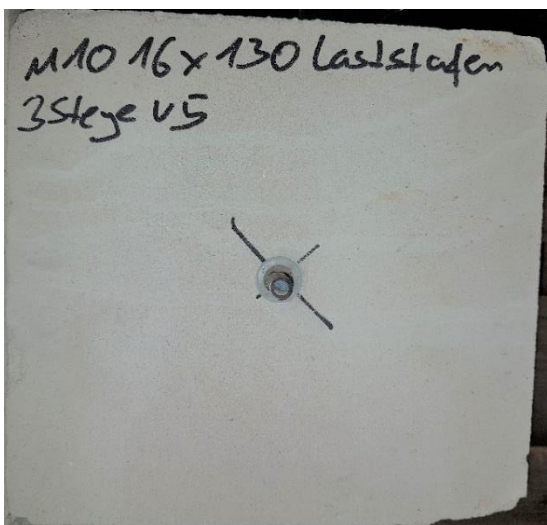
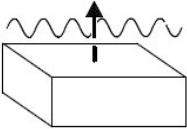


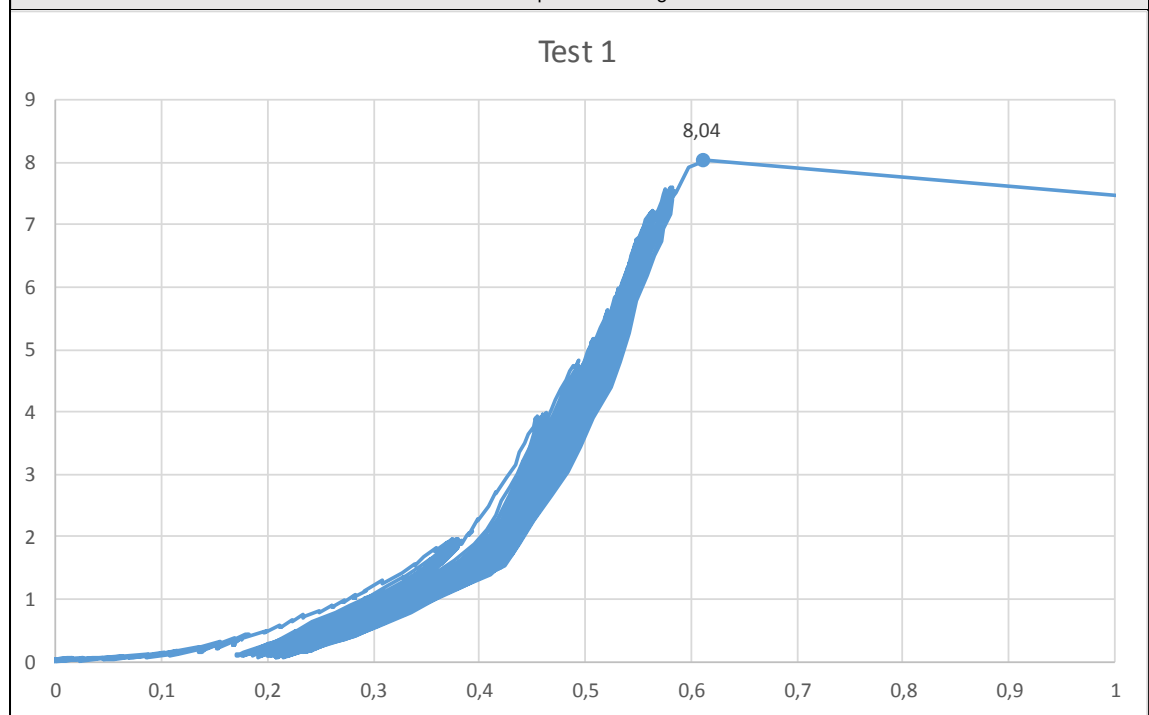
Abbildung 8-65 Stufen KSL M10 16x85mm Test 5

8.2.3 Leichtbeton

8.2.3.1 Vollstein: 2DF -Stufentests

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Vollstein VBL 4 -0,9	M10 X 50	Stufenversuche	Laststufen
drilling & test rig		base material & installation	forces / statistics
drilling meth. : BMH32-XE-Hammer drill direction: Vertical drill / d _{cut} : X-12,6 h ₁ : 50 mm c : - cleaning : 2xbl/2xbr/2xbl test dev. / Ø : 300 mm test speed : -		base material : Porenbeton strength / density : 10,3 N/mm ² dimensions : 24,0x11,5x11,3 cm ³ tester : HL/EL T _{inst} : -- mortar charge : 140-16 h _{ef} : 50,0 mm temperature : 22,1 °C t _{fix} : - mounting tool : none	F ^t _{Ru,m} = 8,04 kN v = 4,82 % 

force-displacement diagram



summary

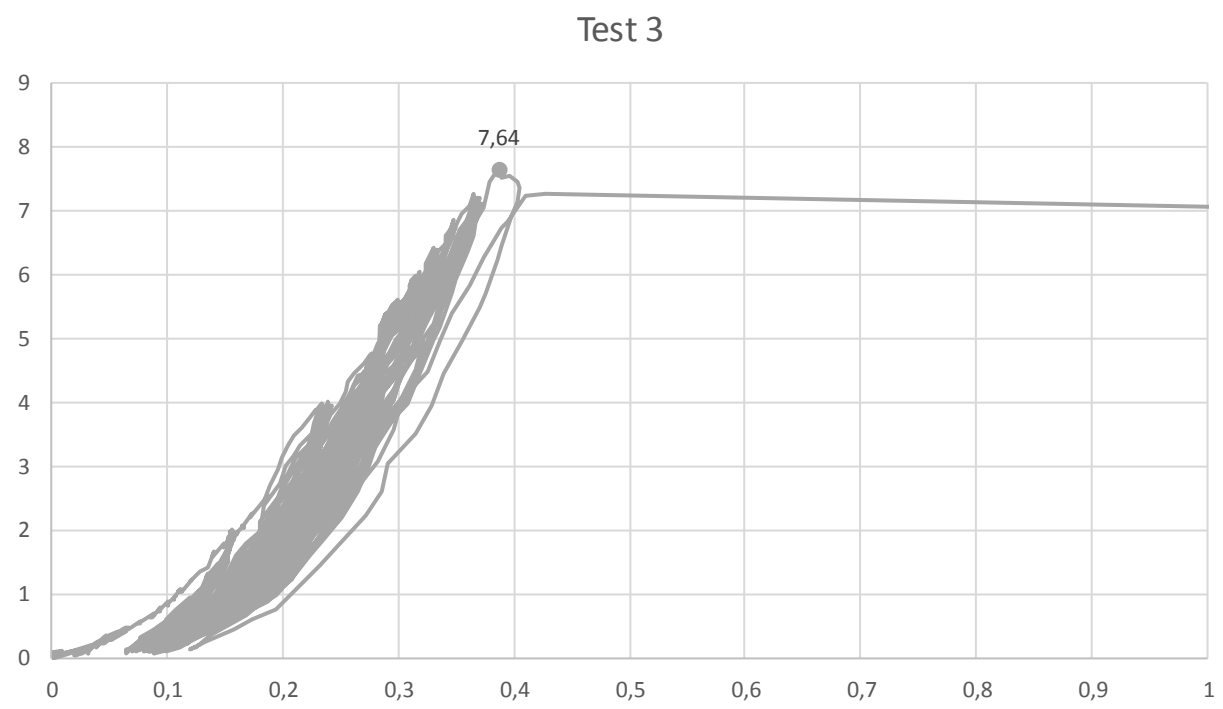
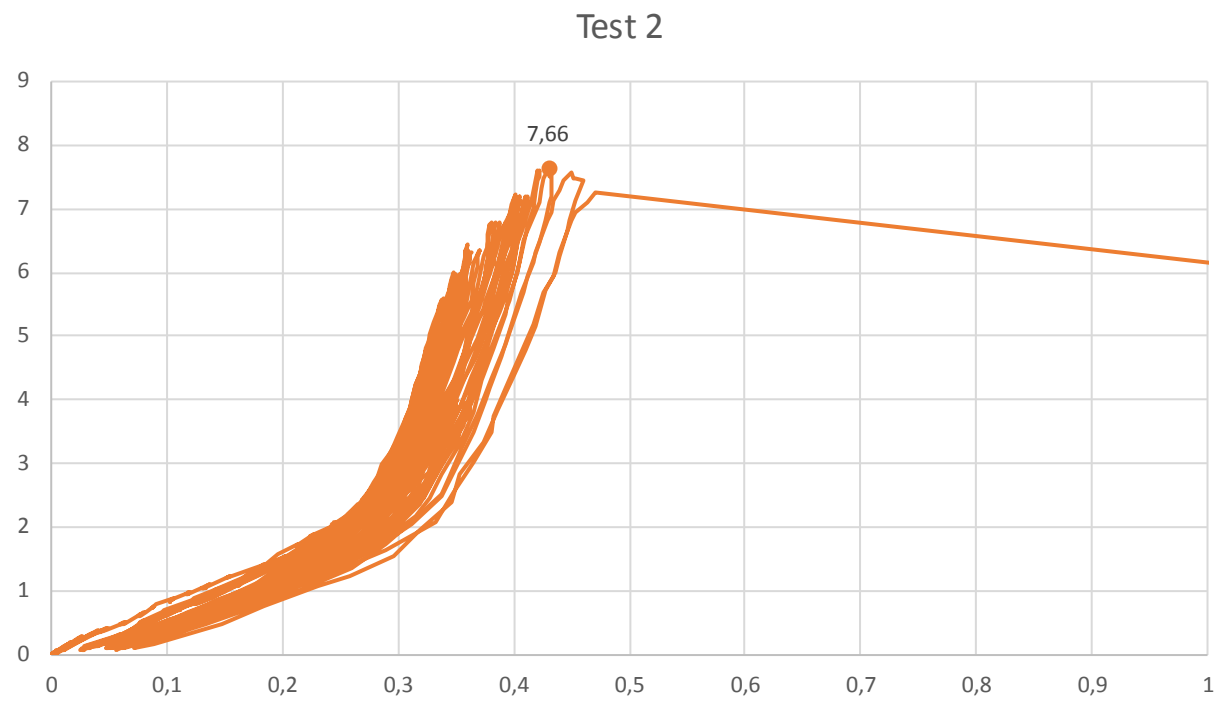
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	04.09	04.09	04.09	04.09	04.09							
setting time [hh:mm]	14:30	14:30	14:30	14:30	14:30							
embed. depth [mm]	50,00	50,00	50,00	5,00	50,00							
date of test [dd.mm]	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10							
test time [hh:mm]	13:40	14:05	14:30	14:55	15:20							
Step [%]	95	95	95	105	105							
complete cycles [-]	5	3	1	2	3							
δ_{FtRu} [mm]	0,61	0,43	0,39	0,50	0,61							
F ^t _{Ru} [kN]	8,04	7,66	7,64	8,44	8,41							
kind of failure	Sp/CF	Sp/CF	Sp/CF	Sp/CF	Sp/CF							

annotation

kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Vollstein VBL 4 -0,9	M10 X 50	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 50 mm test dev. / \varnothing : 300 mm	base material : Porenbeton strength / density : 10,3 N/mm ² dimensions : 24,0x11,5x11,3 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 50,0 mm t_{fix} : -	

force-displacement diagram



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Vollstein VBL 4 -0,9	M10 X 50	Stufenversuche	Laststufen

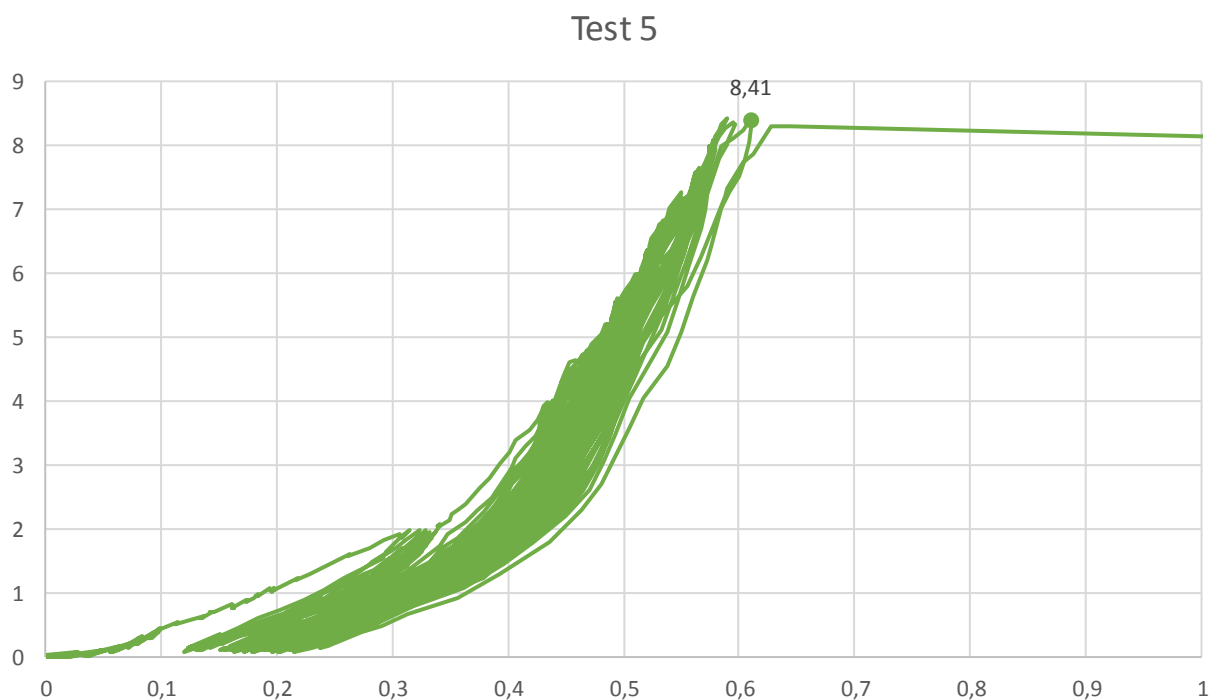
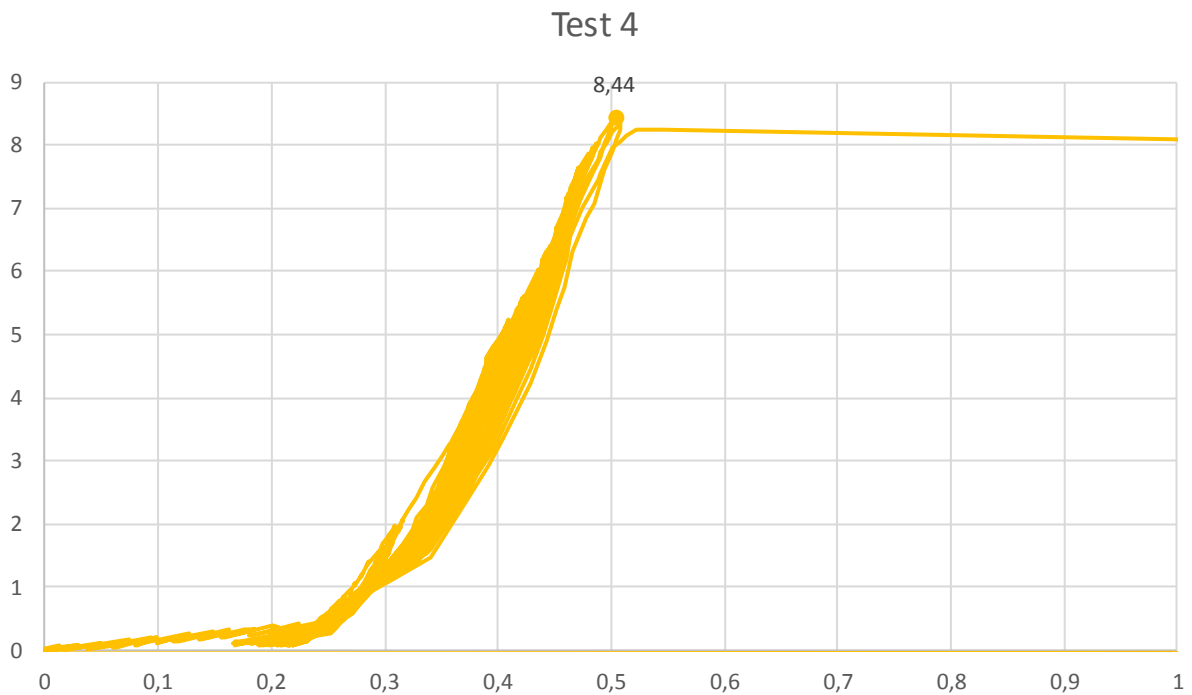
base material & installation




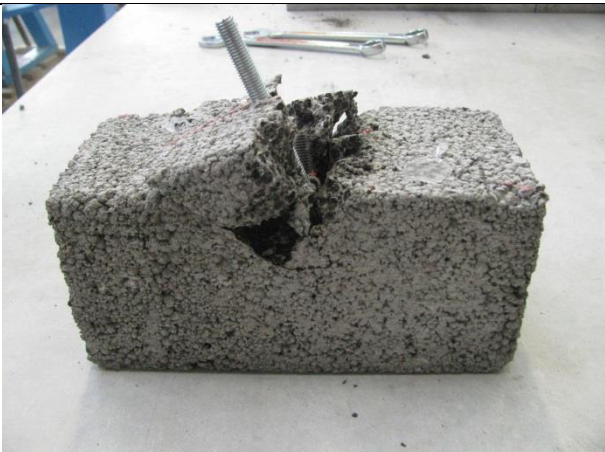

h_1 : 50 mm
 test dev. / \varnothing : 300 mm

base material : Porenbeton
 strength / density : 10,3 N/mm²
 dimensions : 24,0x11,5x11,3 cm³

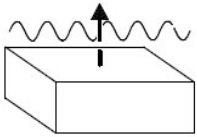
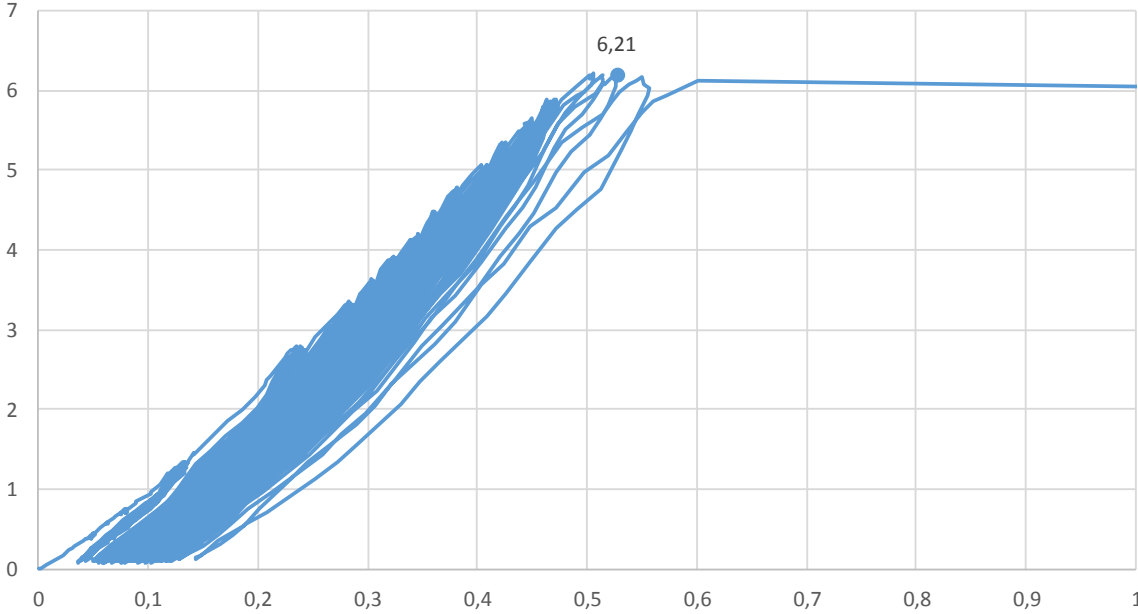
T_{inst} : --
 h_{ef} : 50,0 mm
 t_{fix} : -

force-displacement diagram



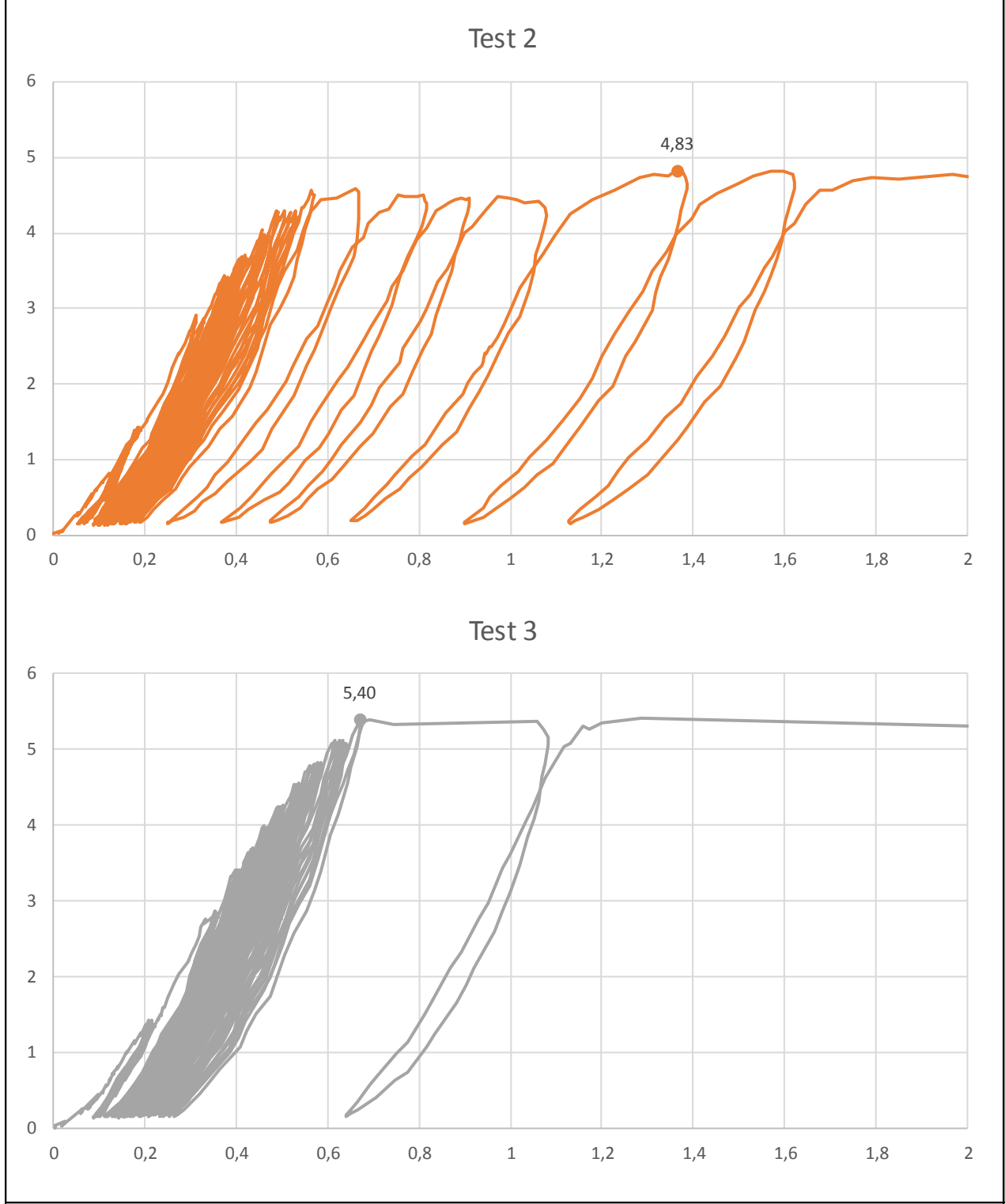
<p style="text-align: center;">Test- Nr. 1</p> 	<p style="text-align: center;">Test-Nr. 2</p> 
<p style="text-align: center;">Test- Nr. 3</p> 	<p style="text-align: center;">Test-Nr. 4</p> 
<p style="text-align: center;">Test- Nr. 5</p> 	

8.2.3.2 Hbl: 1 Steg -Stufentests

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau Hohlblock Hbl 2 -0,6	M10 X 85	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : BMH32-XE-Hammer drill direction: Vertical drill / d _{cut} : X-16,3 h ₁ : ≥ 95 c : - cleaning : 2xbl/2xbr/2xbl test dev. / Ø : 240 mm test speed : -		base material : Porenbeton strength / density : 4,0 N/mm ² dimensions : 49,5x24,0x23,8 cm ³ tester : HL/EL T _{inst} : -- mortar charge : 140-16 h _{ef} : 85,0 mm temperature : 21,3 °C t _{fix} : - mounting tool : none		F _{Ru,m} ^t = 5,54 kN v = 8,97 % 								
force-displacement diagram												
Test 1 												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	24.04	24.04	24.04	24.04	24.04							
setting time [hh:mm]	16:45	16:45	16:45	16:45	16:45							
embed. depth [mm]	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00							
date of test [dd.mm]	27.04	27.04	27.04	27.04	27.04							
test time [hh:mm]	12:45	13:15	13:45	14:00	14:30							
Step [%]	110	85	95	95	100							
complete cycles [-]	4	2	2	5	1							
δ _{FtRu} [mm]	0,53	1,37	0,67	0,62	0,56							
F _{Ru} ^t [kN]	6,21	4,83	5,40	5,60	5,67							
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Hohlblock Hbl 2 -0,6	M10 X 85	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
$h_1 : \geq 95$ test dev. / \varnothing : 240 mm	base material : Porenbeton strength / density : 4,0 N/mm ² dimensions : 49,5x24,0x23,8 cm ³	$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 85,0$ mm $t_{fix} : -$	

force-displacement diagram

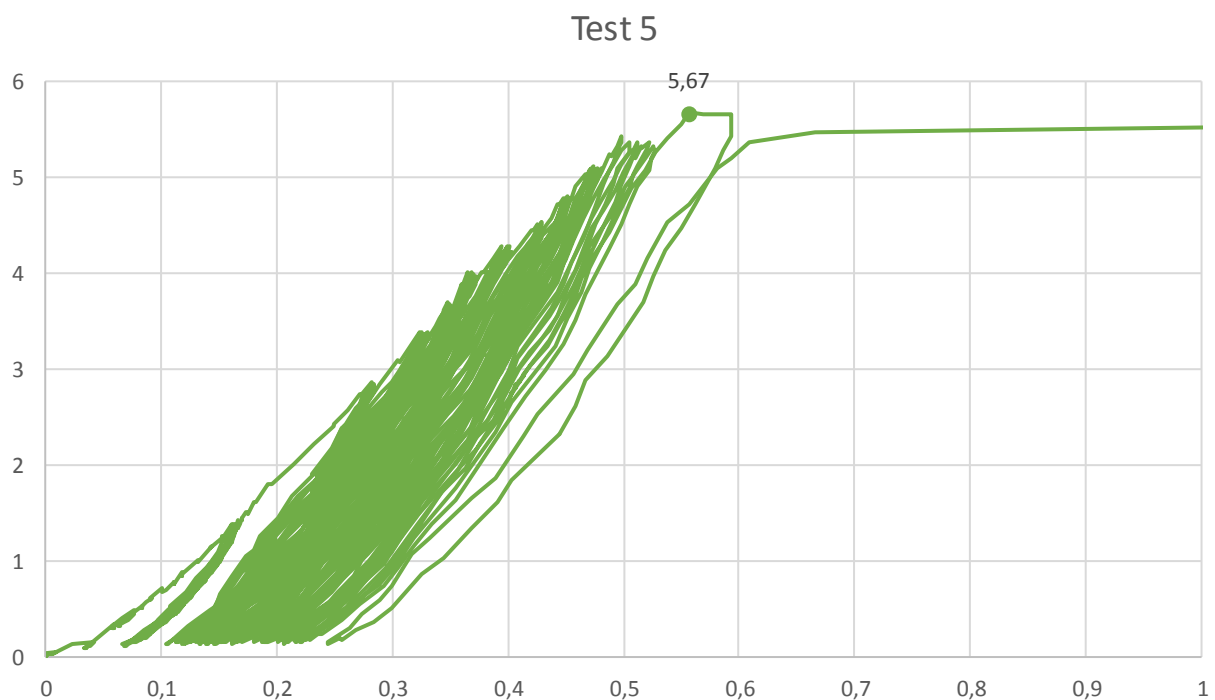
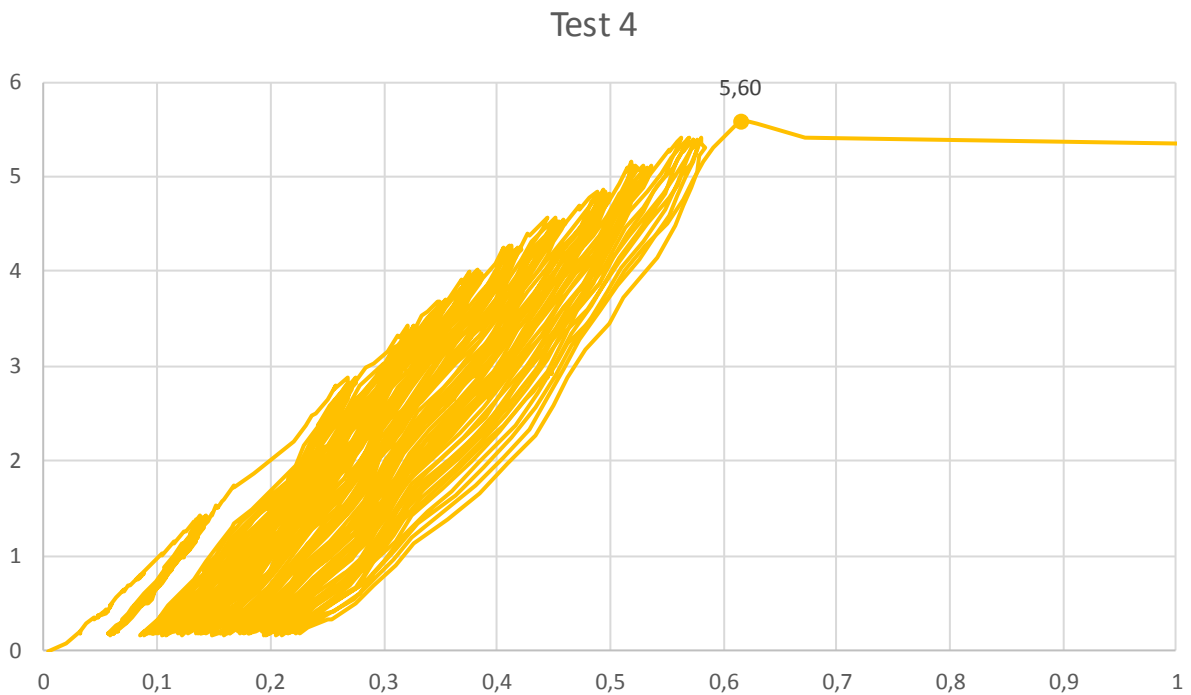


project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Hohlblock Hbl 2 -0,6	M10 X 85	Stufenversuche	Laststufen

base material & installation

$h_1 : \geq 95$	base material : Porenbeton	$T_{inst} : --$
test dev. / $\varnothing : 240 \text{ mm}$	strength / density : $4,0 \text{ N/mm}^2$	$h_{ef} : 85,0 \text{ mm}$
	dimensions : $49,5 \times 24,0 \times 23,8 \text{ cm}^3$	$t_{fix} : -$

force-displacement diagram



Test- Nr. 1



Test-Nr. 2



Test- Nr. 3



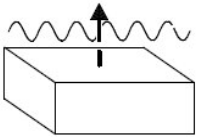
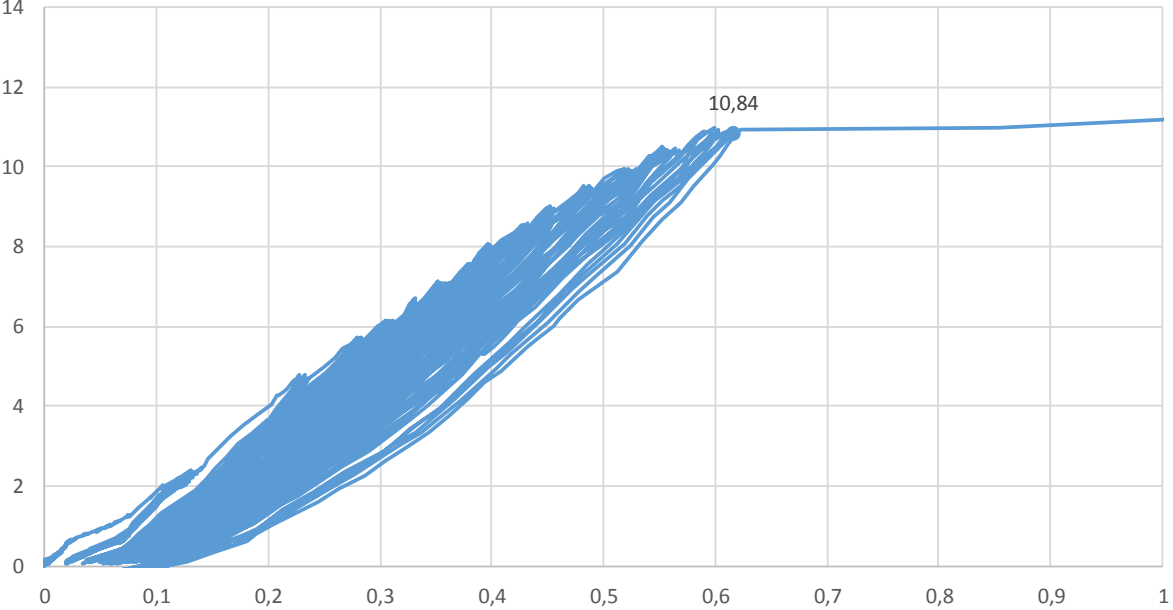
Test-Nr. 4



Test- Nr. 5

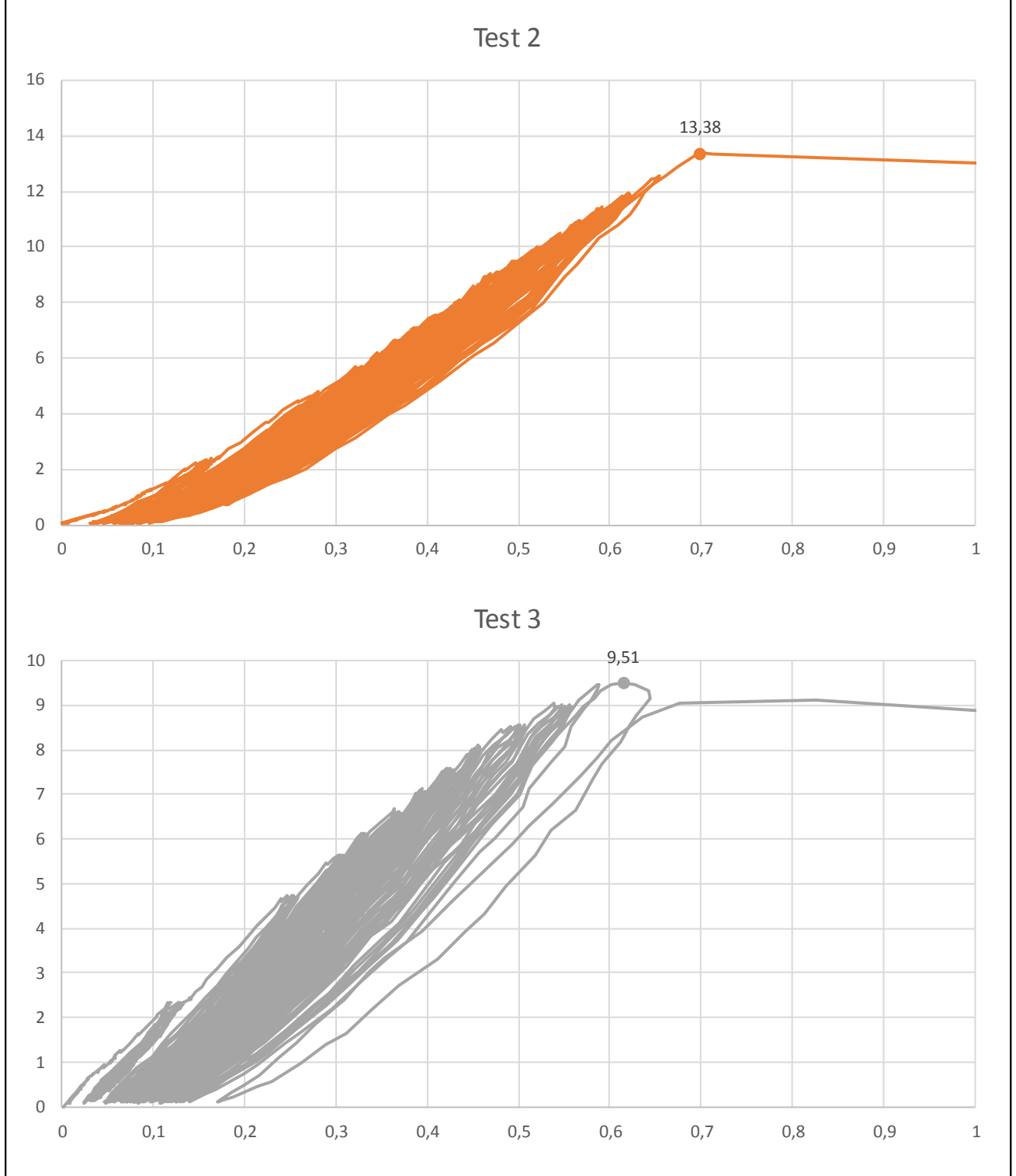


8.2.3.3 Hbl: 2 Steg -Stufentests

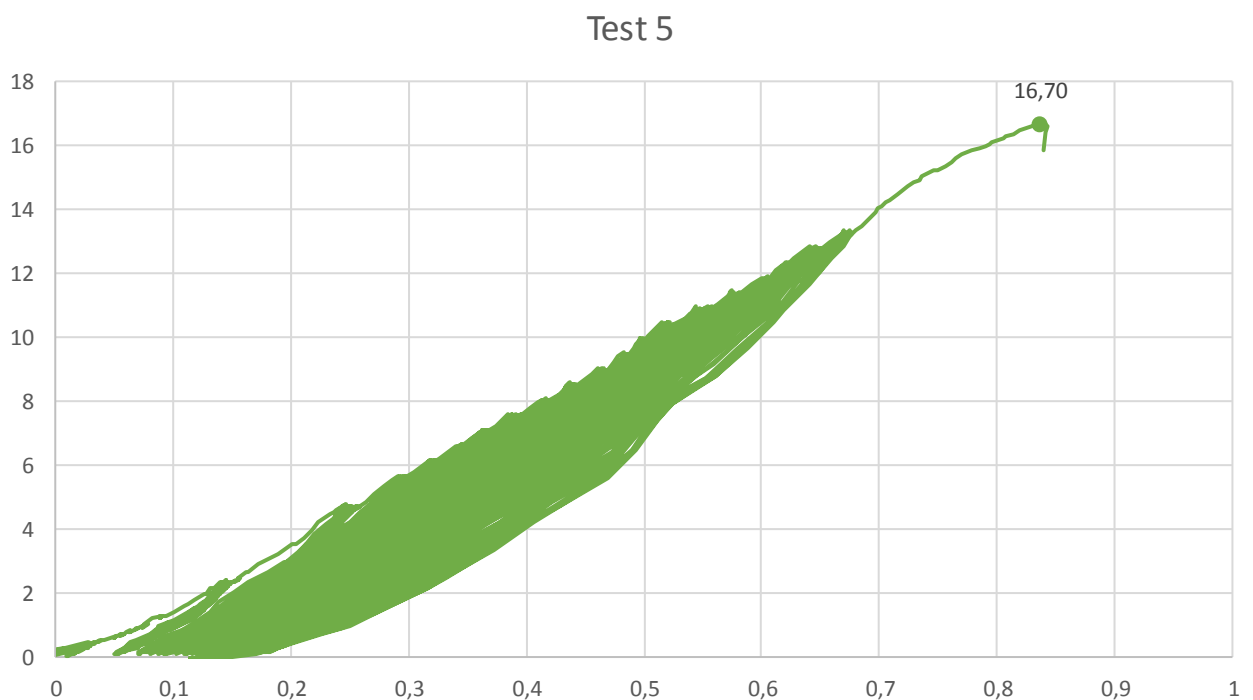
project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau Hohl block HBN 8-1,4	M10 X 110	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : BMH32-XE-Hammer drill direction: Vertical drill / d _{cut} : X-16,27 h ₁ ≥: 120 mm c : - cleaning : 2xbl/2xbr/2xbl test dev. / Ø : 300 mm test speed : -		base material : Porenbeton strength / density : 14,3 N/mm ² dimensions : 36,5x24,0x23,8 cm ³ tester : HL/EL T _{inst} : -- mortar charge : 140-16 h _{ef} : 110,0 mm temperature : 21,4 °C t _{fix} : - mounting tool : none		F _{RU,m} ^t = 12,47 kN v = 22,15 % 								
force-displacement diagram												
Test 1												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	16.08	16.08	16.08	16.08	16.08							
setting time [hh:mm]	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00							
embed. depth [mm]	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00							
date of test [dd.mm]	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10							
test time [hh:mm]	8:45	9:20	9:56	10:30	11:05							
Step [%]	115	130	100	125	140							
complete cycles [-]	5	1	2	5	5							
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	0,62	0,70	0,61	0,59	0,84							
F _{RU} ^t [kN]	10,84	13,38	9,51	11,90	16,70							
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

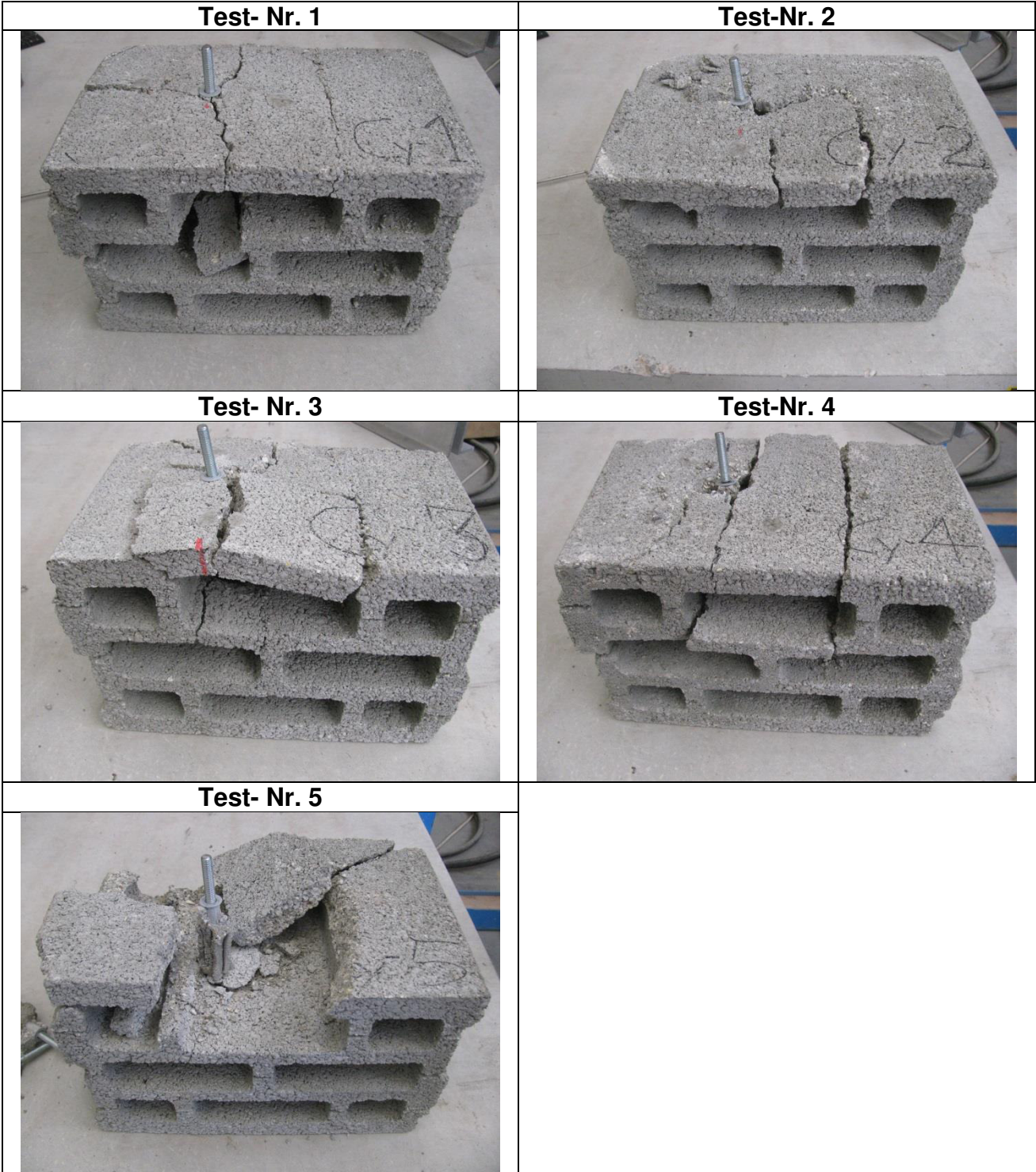
project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Hohl block HBN 8-1,4	M10 X 110	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 120 mm test dev. / \varnothing : 300 mm		base material : Porenbeton strength / density : 14,3 N/mm ² dimensions : 36,5x24,0x23,8 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 110,0 mm t_{fix} : -

force-displacement diagram

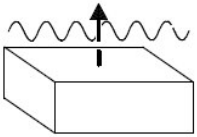
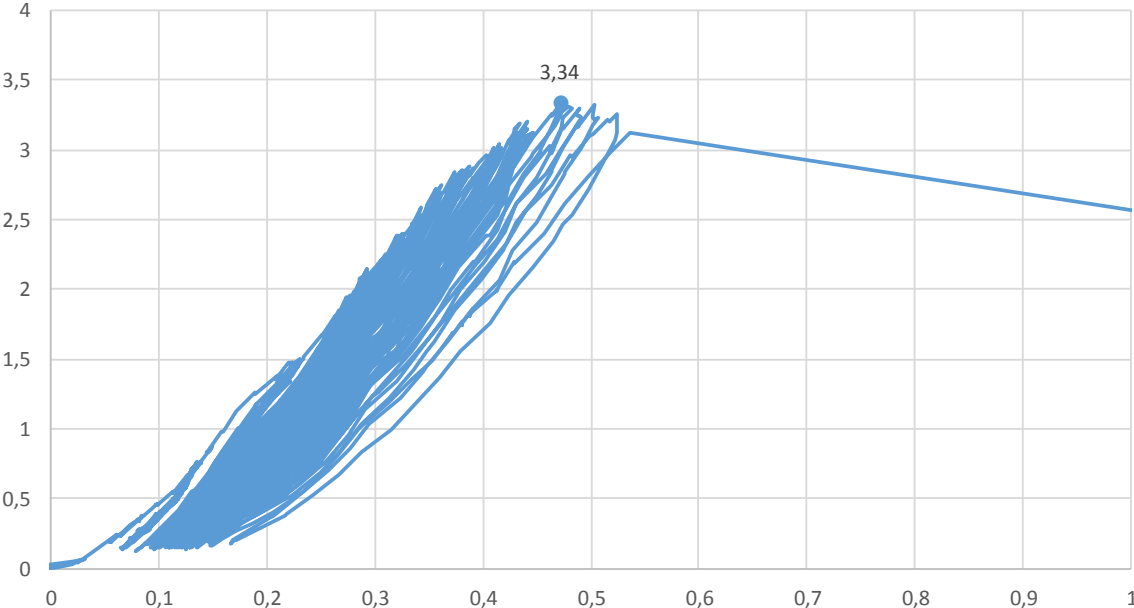


project	anchor size	description of test		kind of test
Versuche am Bau Hohl block HBN 8-1,4	M10 X 110	Stufenversuche		Laststufen
base material & installation				
h_1 : 120 mm test dev. / \varnothing : 300 mm		base material : Porenbeton strength / density : 14,3 N/mm ² dimensions : 36,5x24,0x23,8 cm ³		T_{inst} : -- h_{ef} : 110,0 mm t_{fix} : -
force-displacement diagram				

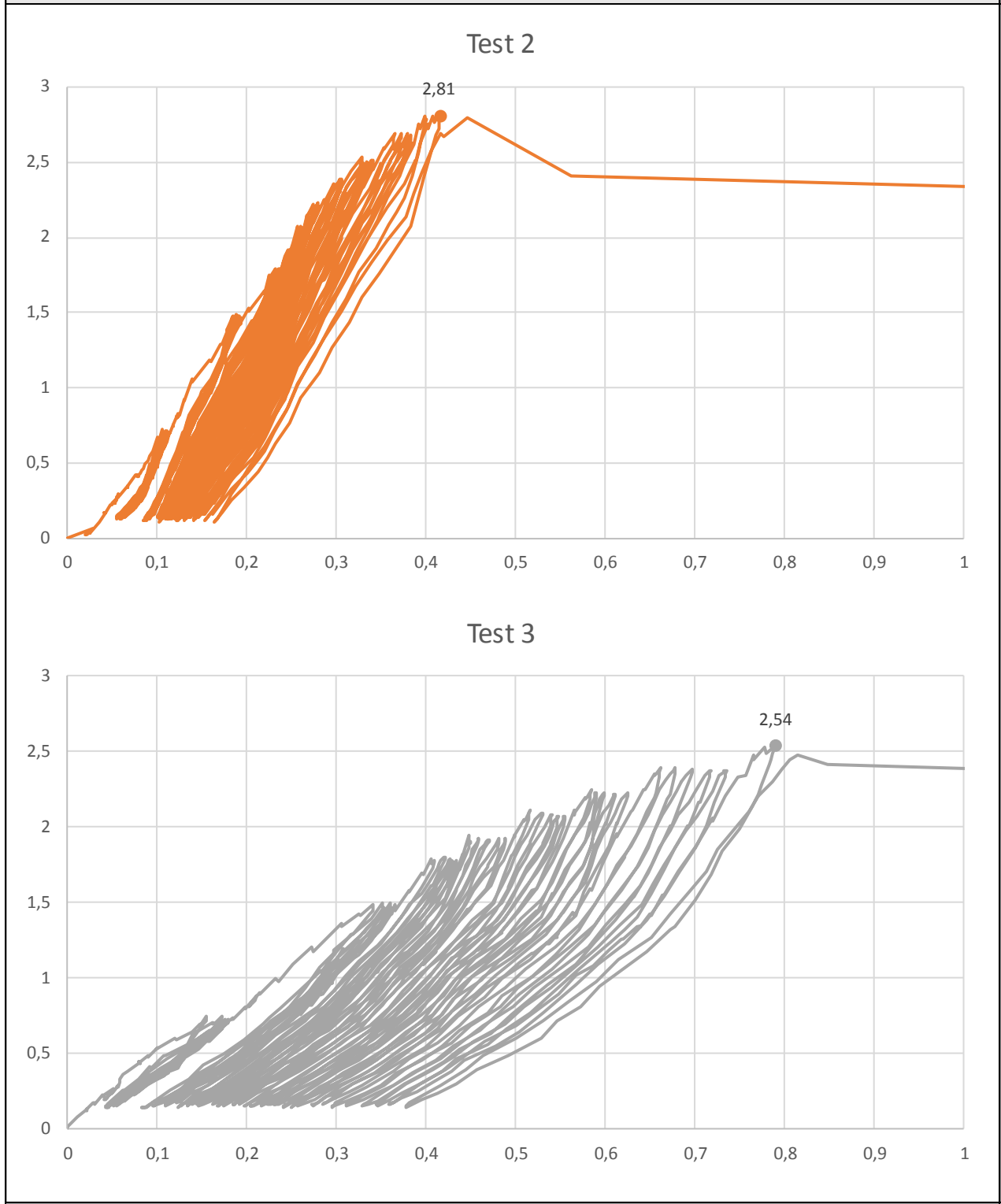




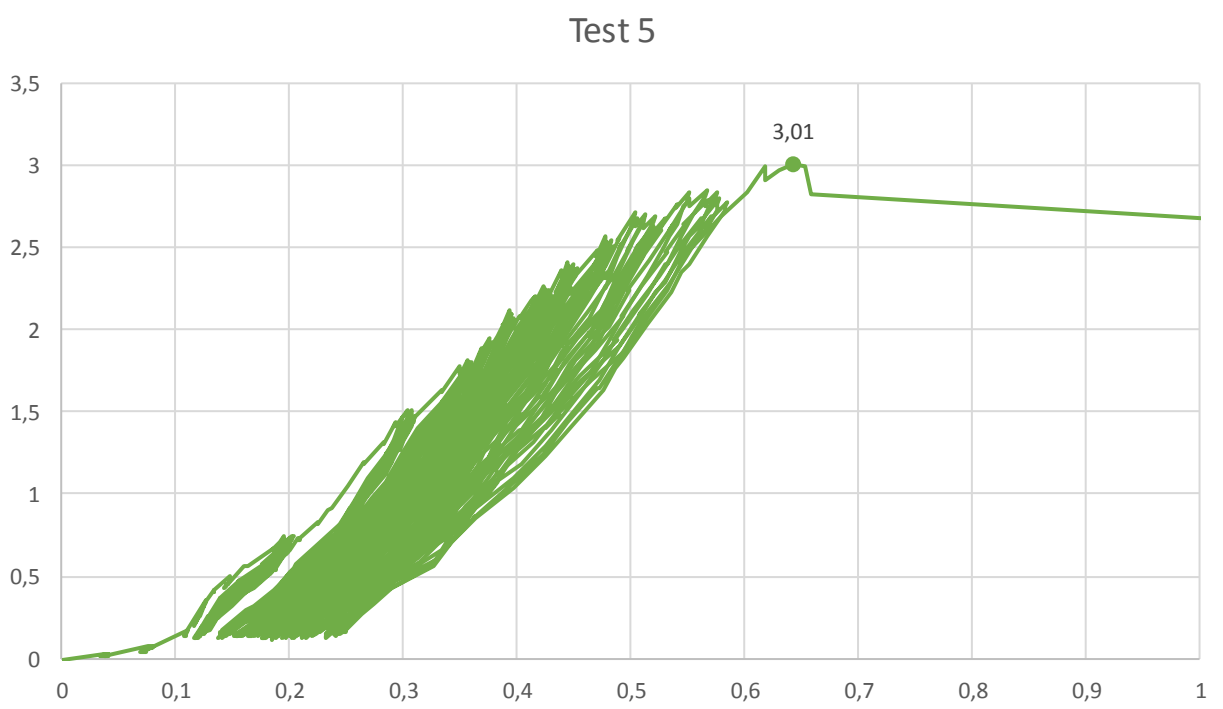
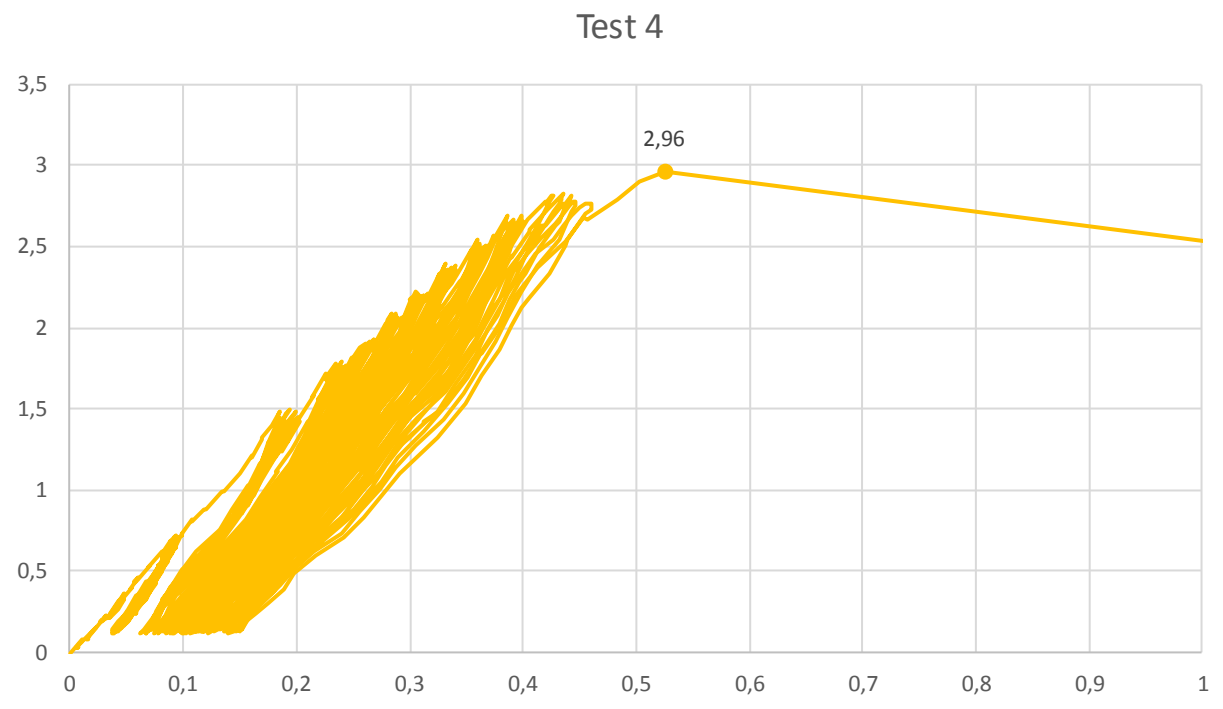
8.2.3.4 Viele Stege -Stufentests






project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau Bisoplan 1,6 – 0,4	M10 X 85	Stufenversuche		Laststufen								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : BMH32-XE-Hammer drill direction: Vertical drill / d _{cut} : X-16,3 h ₁ ≥: 95 mm c : - cleaning : 2xbl/2xbr/2xbl test dev. / Ø : 240 mm test speed : -		base material : Porenbeton strength / density : 2,1 N/mm ² dimensions : 24,7x36,5x24,9 cm ³ tester : HL/EL T _{inst} : -- mortar charge : 140-16 h _{ef} : 85,0 mm temperature : 21,3 °C t _{fix} : - mounting tool : none		F ^t _{Ru,m} = 2,93 kN v = 9,99 % 								
force-displacement diagram												
Test 1 												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	24.04	24.04	24.04	24.04	24.04							
setting time [hh:mm]	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00							
embed. depth [mm]	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00							
date of test [dd.mm]	27.04	27.04	27.04	27.04	27.04							
test time [hh:mm]	15:00	15:22	15:40	16:00	16:20							
Step [%]	110	95	85	95	95							
complete cycles [-]	5	2	1	5	5							
δ _{FtRu} [mm]	0,47	0,42	0,79	0,53	0,64							
F ^t _{Ru} [kN]	3,34	2,81	2,54	2,96	3,01							
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Bisoplan 1,6 – 0,4	M10 X 85	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 95 mm test dev. / \varnothing : 240 mm		base material : Porenbeton strength / density : 2,1 N/mm ² dimensions : 24,7x36,5x24,9 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 85,0 mm t_{fix} : -



project	anchor size	description of test	kind of test
Versuche am Bau Bisoplan 1,6 – 0,4	M10 X 85	Stufenversuche	Laststufen
base material & installation			
h_1 : 95 mm test dev. / \varnothing : 240 mm	base material : Porenbeton strength / density : 2,1 N/mm ² dimensions : 24,7x36,5x24,9 cm ³	T_{inst} : -- h_{ef} : 85,0 mm t_{fix} : -	
force-displacement diagram			




<p style="text-align: center;">Test- Nr. 1</p> 	<p style="text-align: center;">Test-Nr. 2</p> 
<p style="text-align: center;">Test- Nr. 3</p> 	<p style="text-align: center;">Test-Nr. 4</p> 
<p style="text-align: center;">Test- Nr. 5</p> 	

8.3 Versuche mit reduzierter Abstüßbreite

8.3.1 Ziegel

8.3.1.1 Vollziegel – Mz-2DF, Binder

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270				Expiry date:	Jan 18		
Tester name:	Wendel	Temperature:	27 °C	Date:	22.06.2017			
test member :	Solid clay brick Mz, 2DF, header			prestressed wall with 0,2 N/mm ²			03	
minimum edge distance:	-	SC:	no	minimum spacing:	-			
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{out} :	12,30 mm	Fixture thickness:	-	Support width:	150 mm	
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	13,35 mm	Fixture hole:	-			
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	measuring amp: Quantum MX440A, MB 6.21.5	way transducers: TR 0050, MB 3.15.103						
	load cell: 100 kN, MB 5.2.4	Caliper: MB 3.2.3			Depthmeter: M.B. 3.4.3			
Installation data								
Test Nr.	Installation [date / time]	Depth of drill hole [mm]	Length of the rod [mm]	Overhang [mm]	Embedment depth h _{ef} [mm]	Curing Time [hh:mm]	Comments	
1	21.6.2017 14:00	80,5	130,0	50,0	80,0	20:06:28		
2	21.6.2017 14:00	82,0	130,0	51,0	79,0	20:14:48		
3	21.6.2017 14:00	81,5	130,0	51,0	79,0	20:18:56		
Test Nr.	Test execution [date / time]	tension load N _{ti} [kN]	Displacement at N _{ti} δ _{Nti} [mm]	Displacement at 0,5 N _{ti} δ _{0,5Nti} [mm]	N _{peak} [kN]	Displacement at N _{peak} δ _{Npeak} [mm]	Type of failure ^{a)} [l]	Comments / masonry cone [cm]
1	22.6.2017 10:06	19,61	2,24	0,47	18,42	0,97	sp	
2	22.6.2017 10:14	20,51	3,04	0,60	14,11	1,06	sp	
3	22.6.2017 10:18	20,81	1,34	0,67	20,81	1,34	sp	
Interpretation:			N _{ti}	N _{peak}	δ _{Ni}	δ _{peak}		
Average value:			20,31 kN	17,78 kN	2,21 mm	1,12 mm		
Standard deviation:			0,62 kN	3,39 kN	0,85 mm	0,20 mm		
Coefficient of variation:			3,06%	19,08%	38,51%	17,40%		
Characteristic value:			17,01 kN	-0,24 kN	6,72 mm	2,16 mm		
n = 3 k = 5,311			Imported row files name: 3					
<p>a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steal failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure</p>								

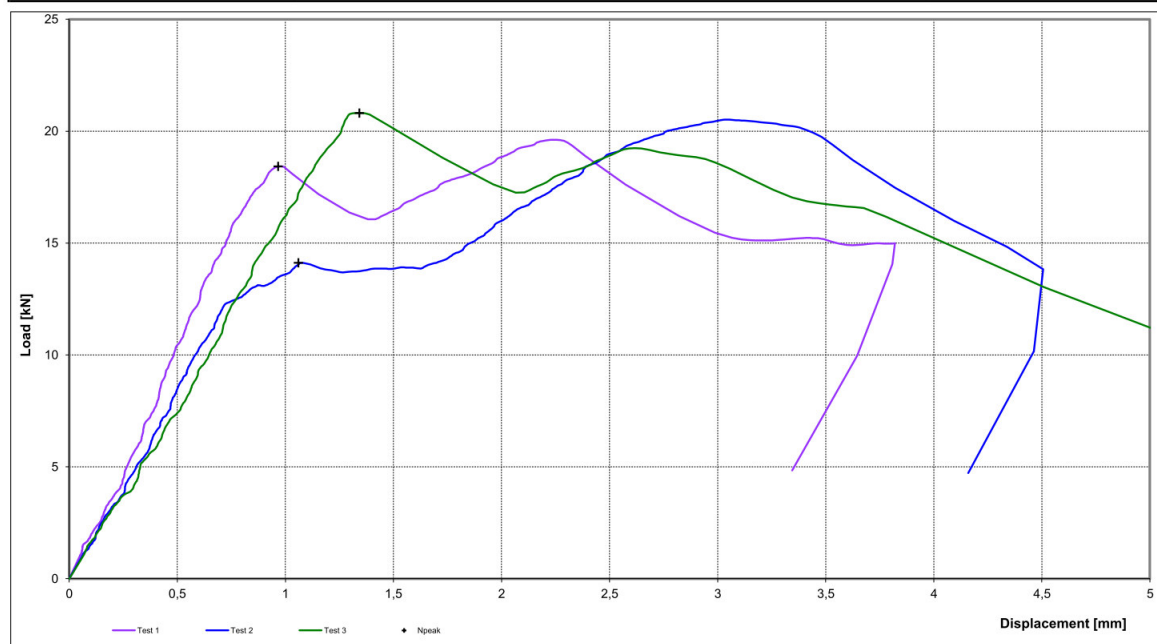




Abbildung 8-66: Versagensbild Bau Vollziegel – Mz-2DF, Binder – Test 1




Abbildung 8-67: Versagensbild Bau Vollziegel – Mz-2DF, Binder – Test 2



Abbildung 8-68: Versagensbild Bau Vollziegel – Mz-2DF, Binder – Test 3

8.3.1.2 Vollziegel – Mz-2DF, Läufer

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Expiry date:	Jan 18					
Tester name:	Wendel	Temperature:	27 °C	Date:	22.06.2017			
test member :	Solid clay brick Mz, 2DF - stretcher			prestressed wall with 0,2 N/mm ²			04	
minimum edge distance:	-	SC:	no	minimum spacing:	-			
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	12,30 mm	Fixture thickness:	-		Support width:	
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	13,35 mm	Fixture hole:	-		150 mm	
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	measuring amp: Quantum MX440A, MB 6.21.5	load cell: 100 kN, MB 5.2.4	way transducers: TR 0050, MB 3.15.103	Caliper: MB 3.2.3	Depthmeter: M.B. 3.4.3			
Installation data								
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments	
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]		
1	21.6.2017 14:00	81,5	130,0	50,0	80,0	20:25:38		
2	21.6.2017 14:00	81,0	130,0	52,0	78,0	20:31:34		
3	21.6.2017 14:00	82,0	130,0	52,0	78,0	20:39:20		
								
Test Nr.	Test execution	tension load N _u	Displacement at N _u δ _{Nu}	Displacement at 0,5 N _u δ _{0,5Nu}	N _{peak}	Displacement at N _{peak} δ _{Npeak}	Type of failure a)	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	22.6.2017 10:25	21,07	1,52	0,46	21,07	1,52	sp	
2	22.6.2017 10:31	20,92	1,61	0,59	20,46	1,22	sp	
3	22.6.2017 10:39	26,40	2,59	0,91	26,40	2,59	sp	
Interpretation:		N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{Npeak}	a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steel failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure		
Average value:		22,80 kN	22,64 kN	1,90 mm	1,77 mm			
Standard deviation:		3,12 kN	3,27 kN	0,59 mm	0,72 mm			
Coefficient of variation:		13,68%	14,42%	31,18%	40,60%			
Characteristic value:		6,23 kN	5,30 kN	5,06 mm	5,60 mm			
n = 3 k = 5,311		Imported row files name:		4				

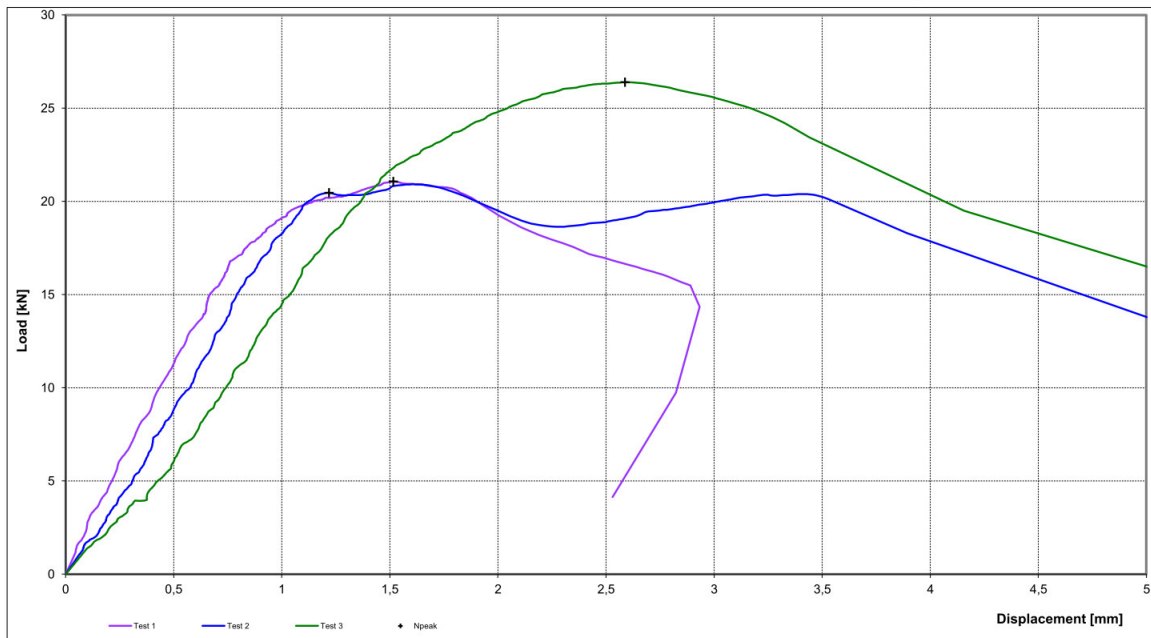




Abbildung 8-69: Versagensbild Bau Vollziegel – Mz-2DF, Läufer – Test 1




Abbildung 8-70: Versagensbild Bau Vollziegel – Mz-2DF, Läufer – Test 2



Abbildung 8-71: Versagensbild Bau Vollziegel – Mz-2DF, Läufer – Test 3

8.3.1.3 Plan-T12 – viele Stege

Test document, according to ETAG 029								
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects								
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1	Nominal diam.:	10,0 mm			
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270			Expiry date:	Jan 18			
Tester name:	Wendel	Temperature:	22 °C	Date:	22.06.2017			
test member :	Plan-T12, viele Stege			prestressed wall with 0,2 N/mm ²		12		
minimum edge distance:	-	SC:	yes	minimum spacing:	-			
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	16,30 mm	Fixture thickness:	-	Support width:	150 mm	
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	17,00 mm	Fixture hole:	-			
MC: 2xblow, 2xbrush, 2xblow								
Measurement instrumentation:	measuring amp: Quantum MX440A, MB 6.21.5	way transducers: TR 0050, MB 3.15.103						
	load cell: 100 kN, MB 5.2.4	Caliper: MB 3.2.3		Depthmeter: M.B. 3.4.3				
Installation data								
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments	
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[h:mm]		
1	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	50,0	80,0	21:24:34		
2	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	50,0	80,0	21:31:34		
3	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	53,0	77,0	21:35:40		
								
Test Nr.	Test execution	tension load N _u	Displacement at N _u	Displacement at 0,5 N _u	N _{peak}	Displacement at N _{peak}	Type of failure a)	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	22.6.2017 13:09	3,44	0,60	0,07	3,44	0,60	mc + sp	
2	22.6.2017 13:16	4,16	0,85	0,22	4,16	0,85	mc + sp	
3	22.6.2017 13:20	3,68	0,47	0,12	3,68	0,47	mc	
Interpretation:			N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{peak}		
Average value:			3,76 kN	3,76 kN	0,64 mm	0,64 mm		
Standard deviation:			0,36 kN	0,36 kN	0,19 mm	0,19 mm		
Coefficient of variation:			9,66%	9,66%	29,73%	29,73%		
Characteristic value:			1,83 kN	1,83 kN	1,65 mm	1,65 mm		
n = 3 k = 5,311			Imported row files name:		12			
								a) t = test interrupted bbe = bond break steel element bbs = bond break stone side sp = splitting failure mc = masonry cone failure s = steel failure anc = Adhesive not cure bbh = bearing bore hole spo = stone pull-out st = stone failure

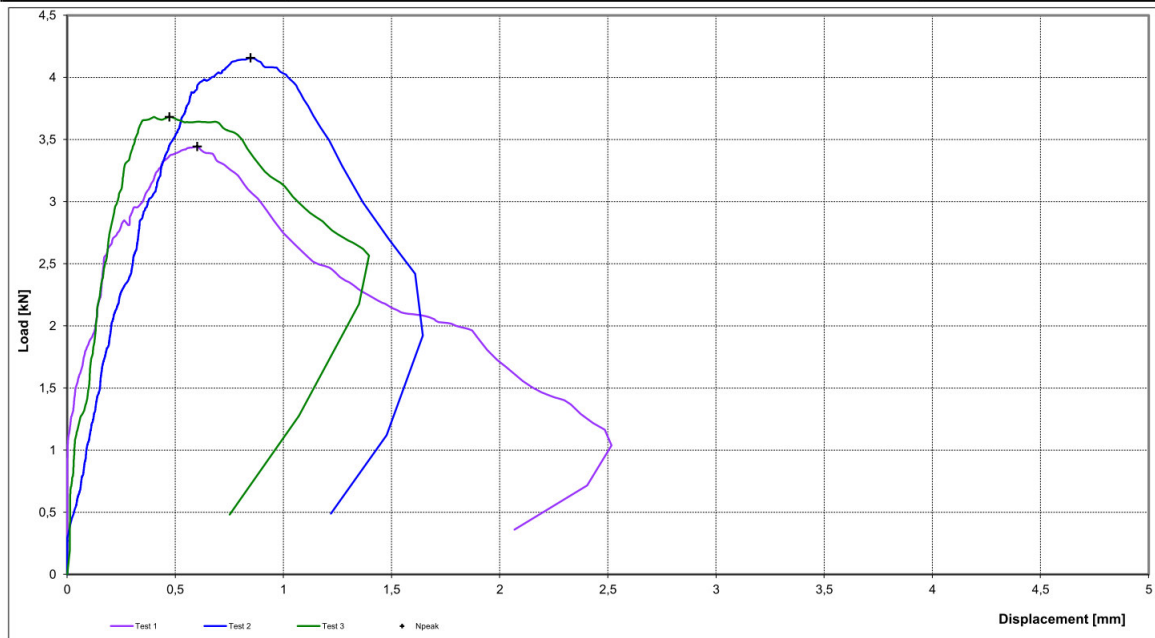




Abbildung 8-72: Versagensbild Bau Plan-T12 – viele Stege – Test 1



Abbildung 8-73: Versagensbild Bau Plan-T12 – viele Stege – Test 2



Abbildung 8-74: Versagensbild Bau Plan-T12 – viele Stege – Test 3

8.3.1.4 T8 24 – 2 Stege

Test document, according to ETAG 029			
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects			
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Nominal diam.:	10,0 mm
Tester name:	Wendel	Expiry date:	Jan 18
	Temperature: 28 °C	Date:	22.06.2017
test member :	T8 - ohne MW - 2 Stege		prestressed wall with 0,2 N/mm ²
minimum edge distance:	-	SC: yes	minimum spacing: -
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	16,30 mm
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	17,00 mm
		Fixture thickness:	-
		Fixture hole:	-
		Support width:	150 mm
		MC: 2xblow, 2xbrush, 2xbow	
Measurement instrumentation:	measuring amp: Quantum MX440A, MB 6.21.5	way transducers: TR 0050, MB 3.15.103	
	load cell: 100 kN, MB 5.2.4	Caliper: MB 3.2.3	Depthmeter: M.B. 3.4.3

Installation data							
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]	
1	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	49,5	80,5	19:53:42	
2	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	50,0	80,0	20:00:10	
3	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	50,0	80,0	20:06:12	



Test Nr.	Test execution	tension load N _u	Displacement at N _u	Displacement at 0,5 N _u	N _{peak}	Displacement at N _{peak}	Type of failure ^{a)}	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	22.6.2017 11:38	5,83	1,06	0,24	5,83	1,06	sp + mc	
2	22.6.2017 11:45	5,71	1,08	0,28	5,71	1,08	sp + mc	
3	22.6.2017 11:51	5,51	1,16	0,40	5,51	1,16	sp + mc	

Interpretation:		N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{peak}	
Average value:		5,68 kN	5,68 kN	1,10 mm	1,10 mm	
Standard deviation:		0,16 kN	0,16 kN	0,06 mm	0,06 mm	
Coefficient of variation:		2,90%	2,90%	5,24%	5,24%	
Characteristic value:		4,81 kN	4,81 kN	1,40 mm	1,40 mm	
n = 3	k = 5,311	Imported row files name: 42				

a) t = test interrupted
 bbe = bond break steel element
 bbs = bond break stone side
 sp = splitting failure
 mc = masonry cone failure
 s = steal failure
 anc = Adhesive not cure
 bbh = bearing bore hole
 spo = stone pull-out
 st = stone failure

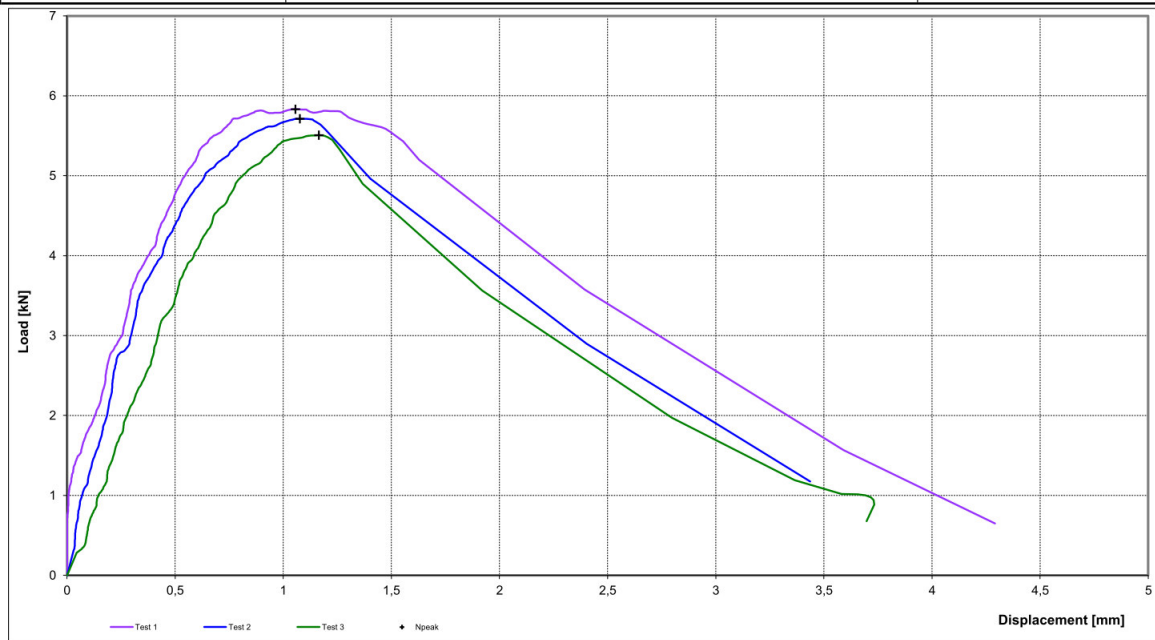




Abbildung 8-75: Versagensbild Bau T8 24 – 2 Stege – Test 1



Abbildung 8-76: Versagensbild Bau T8 24 – 2 Stege – Test 2

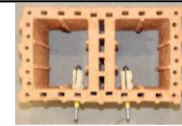


Abbildung 8-77: Versagensbild Bau T8 24 – 2 Stege – Test 3

8.3.1.5 PFZ-T24 – 1 Steg

Test document, according to ETAG 029			
A2 - Characteristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects			
Threaded Rod:	HIT-V 5.8 M10x130	Lot:	080011L1
Adhesive:	Hilti HIT-HY 270	Nominal diam.:	10,0 mm
Tester name:	Wendel	Expiry date:	Jan 18
	Temperature: 22 °C	Date:	22.06.2017
test member :	PFZ - T24 - 1 Steg	prestressed wall with 0,2 N/mm ²	
minimum edge distance:	-	SC: yes	minimum spacing: -
Drilling machine:	Hilti TE4-A22	Drill bit d _{cut} :	16,35 mm
Scheduled emb. depth h _{ef} :	80 mm	Brush Ø:	17,00 mm
		Fixture thickness:	-
		Fixture hole:	-
		Support width:	150 mm
		MC:	2xblow, 2xbrush, 2xblow
Measurement instrumentation:	measuring amp: Quantum MX440A, MB 6.21.5	way transducers: TR 0050, MB 3.15.103	
	load cell: 100 kN, MB 5.2.4	Caliper: MB 3.2.3	Depthmeter: M.B. 3.4.3

Installation data							
Test Nr.	Installation	Depth of drill hole	Length of the rod	Overhang	Embedment depth h _{ef}	Curing Time	Comments
	[date / time]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[hh:mm]	
1	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	53,0	77,0	22:22:34	
2	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	51,5	78,5	22:32:12	
3	21.6.2017 15:45	≥ 95	130,0	51,5	78,5	22:41:24	



Test Nr.	Test execution	tension load N _u	Displacement at N _u	Displacement at 0,5 N _u	N _{peak}	Displacement at N _{peak}	Type of failure a)	Comments / masonry cone [cm]
	[date / time]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[/]	[/]
1	22.6.2017 14:07	4,58	0,70	0,14	4,58	0,70	mc + sp	
2	22.6.2017 14:17	4,81	1,53	0,72	4,81	1,53	mc + sp	
3	22.6.2017 14:26	4,79	0,61	0,20	4,79	0,61	mc + sp	

Interpretation:		N _u	N _{peak}	δ _N	δ _{peak}	
Average value:		4,73 kN	4,73 kN	0,95 mm	0,95 mm	
Standard deviation:		0,13 kN	0,13 kN	0,50 mm	0,50 mm	
Coefficient of variation:		2,71%	2,71%	53,18%	53,18%	
Characteristic value:		4,05 kN	4,05 kN	3,63 mm	3,63 mm	
n = 3	k = 5,311	Imported row files name:		32		

a) t = test interrupted
 bbe = bond break steel element
 bbs = bond break stone side
 sp = splitting failure
 mc = masonry cone failure
 s = steel failure
 anc = Adhesive not cure
 bbh = bearing bore hole
 spo = stone pull-out
 st = stone failure

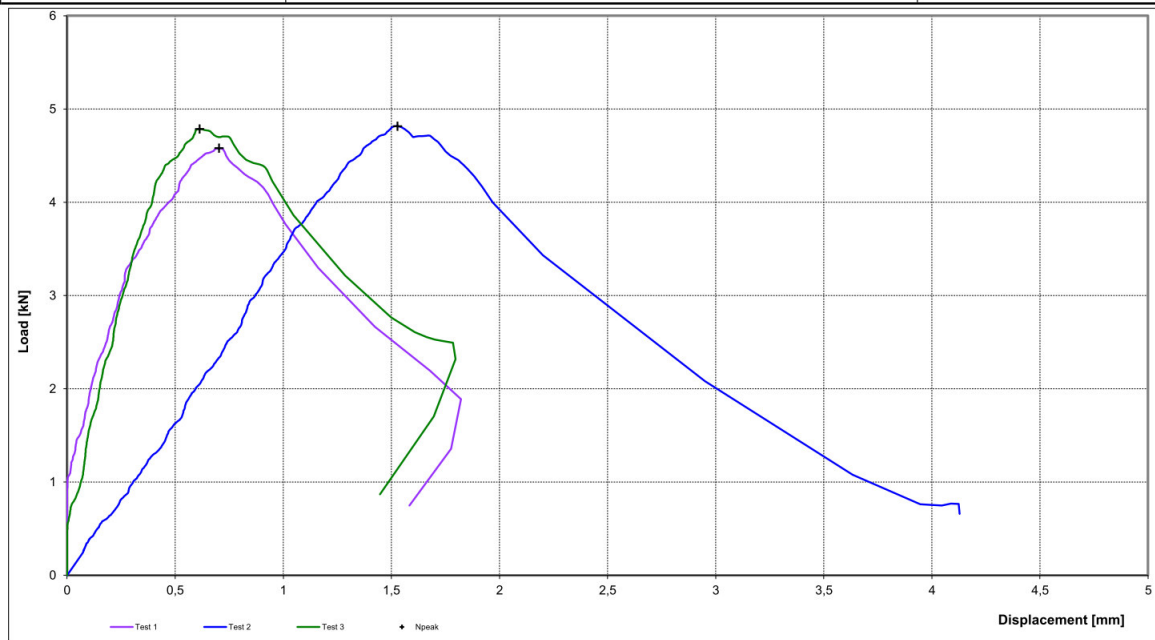




Abbildung 8-78: Versagensbild Bau PFZ-T24 – 1 Steg – Test 1



Abbildung 8-79: Versagensbild Bau PFZ-T24 – 1 Steg – Test 2



Abbildung 8-80: Versagensbild Bau PFZ-T24 – 1 Steg – Test 3

8.3.2 Kalksandstein

8.3.2.1 Kalksand Vollstein

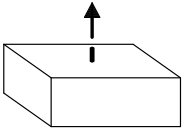
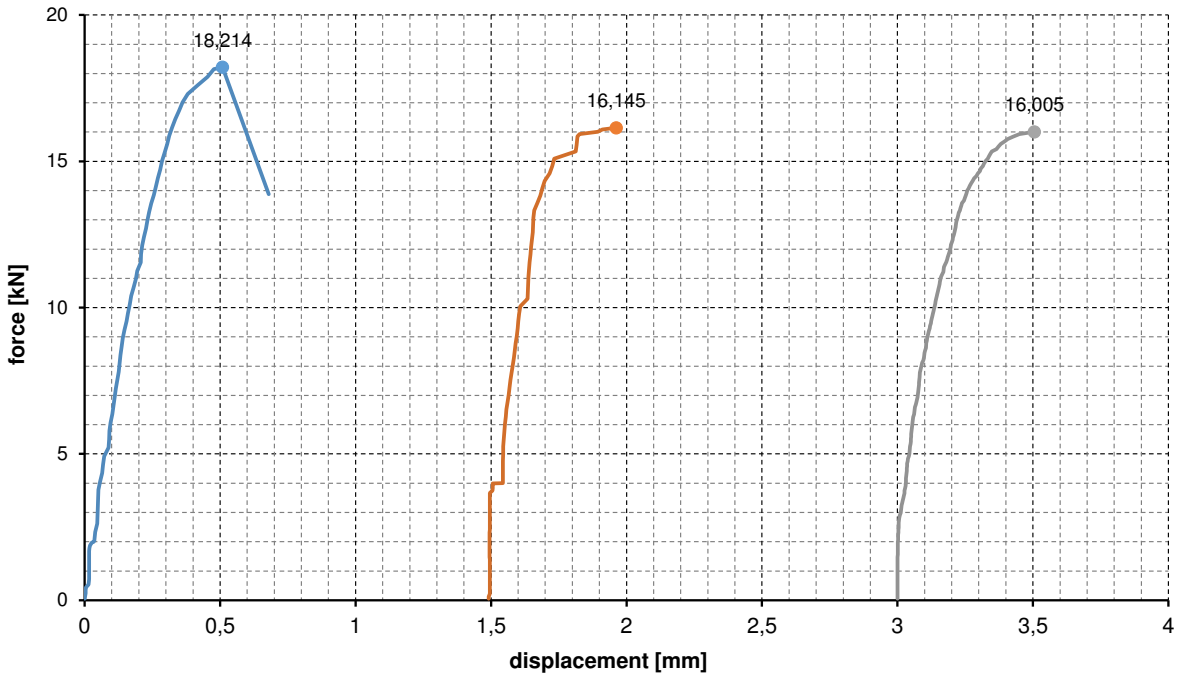
project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10x50	Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX12 / 12,28 mm h ₁ : 50 mm c : -- cleaning : 2xbl./2xbr./2xbl. test dev. / Ø : 150 mm test speed : 100 N/s		base material : 771-2-003 strength / density : 33,3 N/mm ² dimensions : 50x50x18 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 23°/40% mounting tool : none		F ^t _{Ru,m} = 16,79 kN v = 7,37 % F ^t _{RK,NV} = 10,22 kN F ^t _{RK,log} = 11,42 kN								
		T _{inst} : -- h _{ef} : 50,0 mm t _{fix} : 10,0 mm										
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	15.05	15.05	15.05									
setting time [hh:mm]	16:00	16:00	16:00									
embed. depth [mm]	50,07	48,24	50,32									
date of test [dd.mm]	18.05	18.05	18.05									
test time [hh:mm]	14:57	15:14	15:24									
S _{u,adh} [mm]	0,44	0,22	0,31									
N _{u,adh} [kN]	17,76	14,79	14,82									
δ _{FtRu} [mm]	0,51	0,46	0,51									
F _{tRu} [kN]	18,21	16,15	16,01									
kind of failure	CF	CF	CF									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												



Abbildung 8-81 Bau KS M10x50mm Test 1

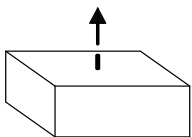
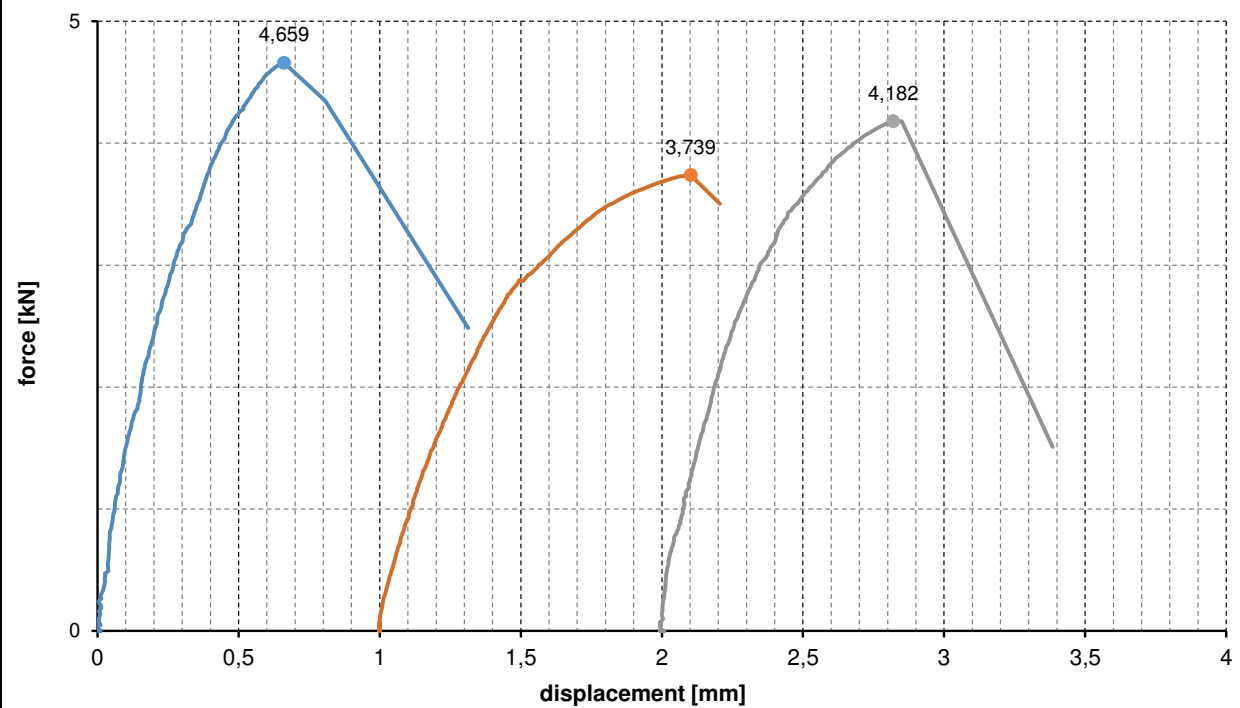


Abbildung 8-82 Bau KS M10x50mm Test 2



Abbildung 8-83 Bau KS M10x50mm Test 3

8.3.2.2 Kalksand Lochstein 8DF 1 Steg

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16X85	Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rigg		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX 16 / 16,28 mm h ₁ : 1Steg c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 150 mm test speed : 50 N/s		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/46% mounting tool : none		T _{inst} : -- h _{ef} : 85,0 mm t _{fix} : 10,0 mm								
				F ^t _{RU,m} = 4,19 kN v = 10,97 % F ^t _{Rk,NV} = 1,75 kN F ^t _{Rk,log} = 2,33 kN								
												
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	07.09	07.09	07.09									
setting time [hh:mm]	13:50	13:50	13:50									
embed. depth [mm]	84,18	84,10	84,39									
date of test [dd.mm]	08.09	08.09	08.09									
test time [hh:mm]	8:10	8:18	8:24									
S _{u,adh} [mm]	0,33	0,48	0,37									
N _{u,adh} [kN]	3,33	2,82	3,08									
δ _{FtRu} [mm]	0,66	1,10	0,82									
F _{tRu} [kN]	4,66	3,74	4,18									
kind of failure	Pt	CF	Pt									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

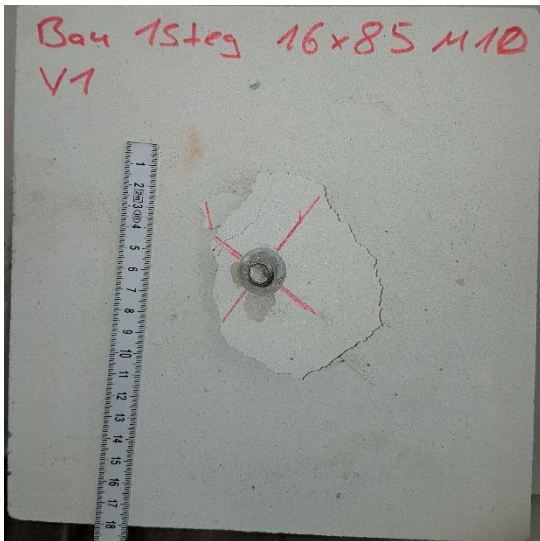


Abbildung 8-84 Bau KSL M10x85mm 1 Steg Test 1

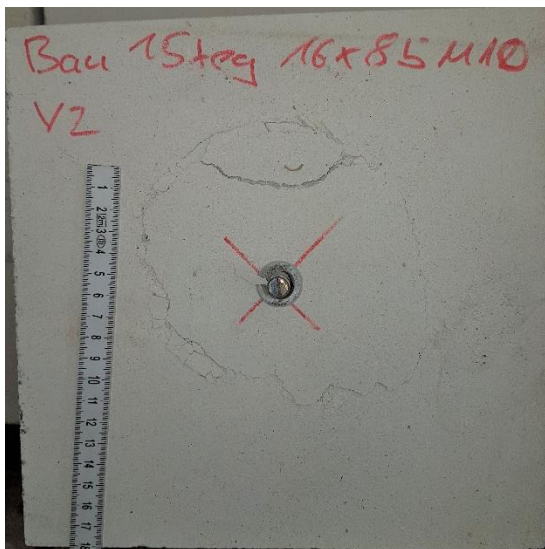


Abbildung 8-85 Bau KSL M10x85mm 1 Steg Test 2

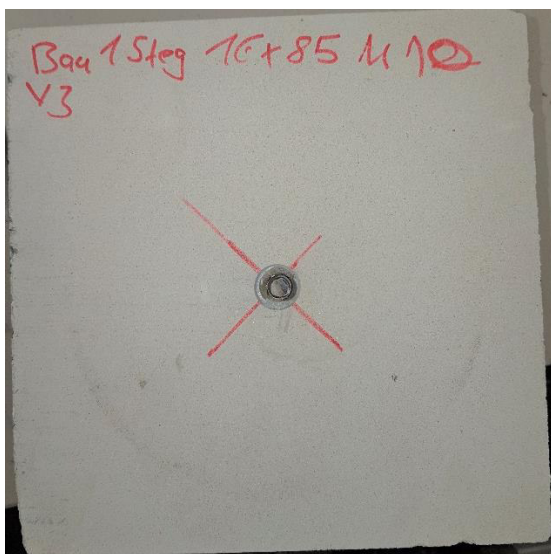
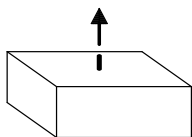
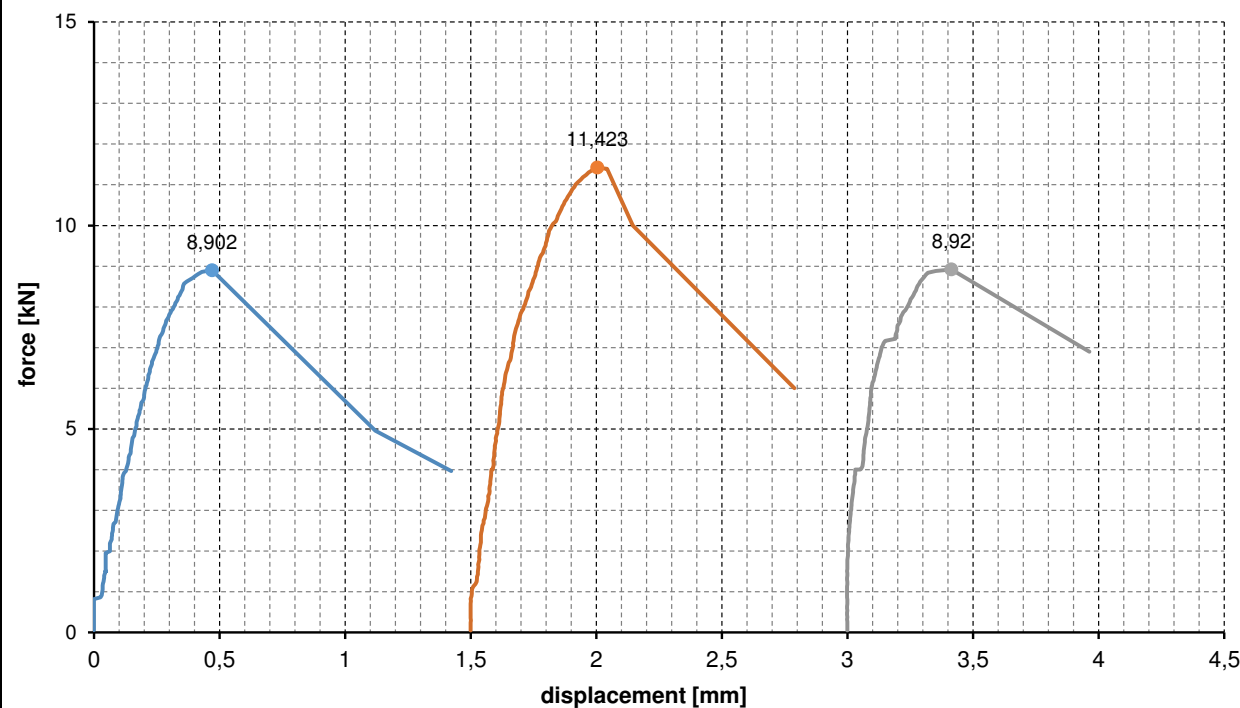


Abbildung 8-86 Bau KSL M10x85mm 1 Steg Test 3

8.3.2.3 Kalksand Lochstein 8DF 2 Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16X130	Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX16 / 16,29 mm h ₁ : 2Stege c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 150 mm test speed : 100 N/s		base material : 771-2-002 strength / density : 27,6 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x24,8 cm ³ tester : JB mortar charge : 9291 temperature : 20°/46% mounting tool : none		T _{inst} : -- h _{ef} : 130,0 mm t _{fix} : 10,0 mm								
				F ^t _{RU,m} = 9,75 kN v = 14,88 % F ^t _{Rk,NV} = 2,05 kN F ^t _{Rk,log} = 4,52 kN								
												
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	05.05	05.05	05.05									
setting time [hh:mm]	13:20	13:20	13:20									
embed. depth [mm]	128,69	128,46	129,05									
date of test [dd.mm]	08.05	09.05	09.05									
test time [hh:mm]	15:50	8:35	8:53									
S _{u,adh} [mm]	0,38	0,33	0,24									
N _{u,adh} [kN]	8,66	10,03	7,99									
δ _{FtRu} [mm]	0,47	0,50	0,41									
F _{tRu} [kN]	8,90	11,42	8,92									
kind of failure	Pt/CF	Pt	Pt									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

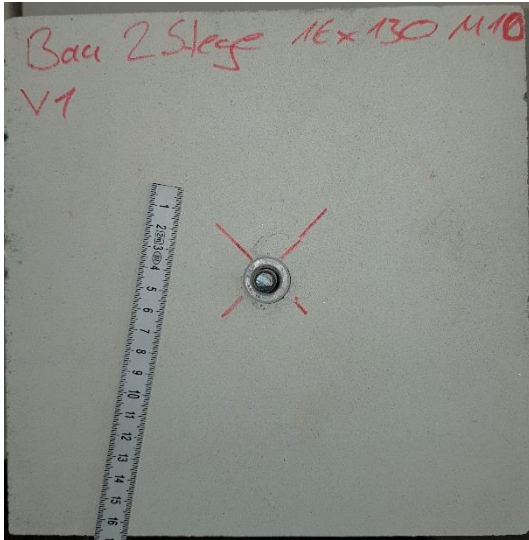


Abbildung 8-87 Bau KSL M10x130mm 2 Stege Test 1

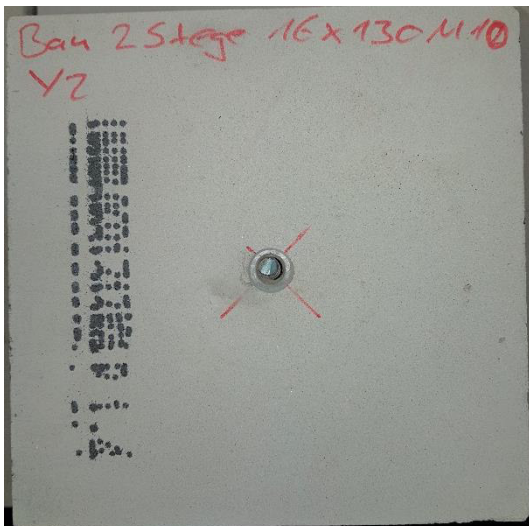


Abbildung 8-88 Bau KSL M10x130mm 2 Stege Test 2

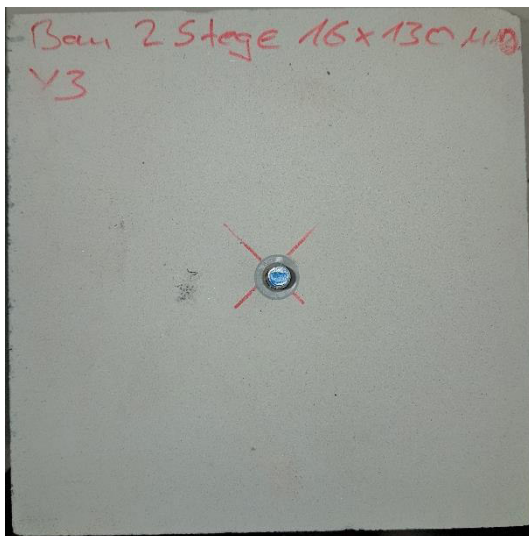
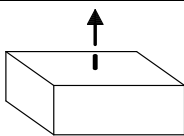
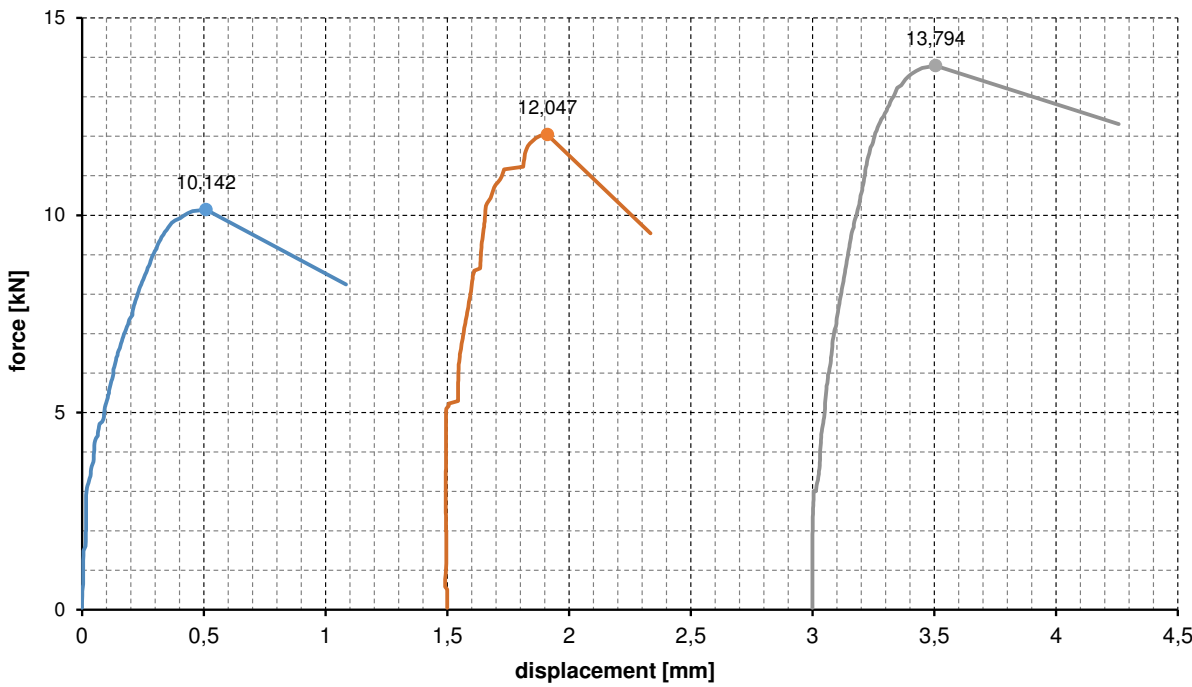


Abbildung 8-89 Bau KSL M10x130mm 2 Stege Test 3

8.3.2.4 Kalksand Lochstein 8DF 3 Stege

project	anchor size	description of test		kind of test								
Versuche am Bau fischer FIS V	M10 16X130	Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects		A2								
drilling & test rig		base material & installation		forces / statistics								
drilling meth. : H26MLE-Hammer drill direction: V drill / d _{cut} : CX16 / 16,29 mm h ₁ : 3Stege c : -- cleaning : 3xbl./3xbr./3xbl. test dev. / Ø : 150 mm test speed : 100 N/s		base material : 771-2-001 strength / density : 21,2 N/mm ² dimensions : 24,8x24,0x23,8 cm ³ tester : JB T _{inst} : -- mortar charge : 9291 h _{ef} : 130,0 mm temperature : 23°/40% t _{fix} : 10,0 mm mounting tool : none		F _{Ru,m} ^t = 11,99 kN v = 15,23 % F _{Rk,NV} ^t = 2,29 kN F _{Rk,log} ^t = 5,25 kN								
												
force-displacement diagram												
												
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
setting date [dd.mm]	15.05	15.05	15.05									
setting time [hh:mm]	14:00	14:00	14:00									
embed. depth [mm]	128,58	128,39	129,14									
date of test [dd.mm]	18.05	18.05	18.05									
test time [hh:mm]	15:51	15:59	16:12									
S _{u,adh} [mm]	0,39	0,24	0,33									
N _{u,adh} [kN]	9,89	11,17	12,98									
δ _{FtRu} [mm]	0,51	0,41	0,51									
F _{tRu} [kN]	10,14	12,05	13,79									
kind of failure	Pt	CF	Pt/Po									
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

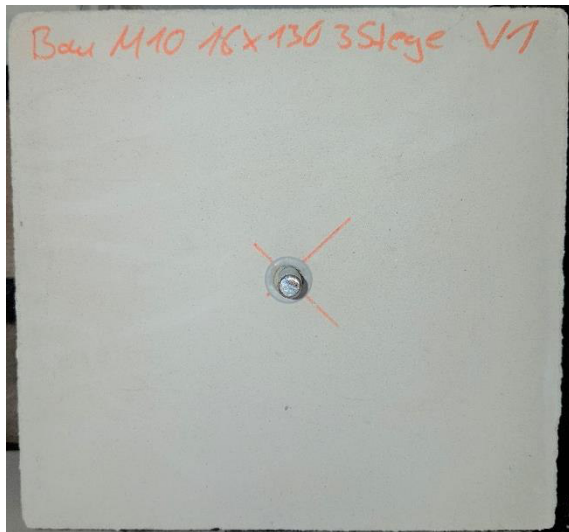


Abbildung 8-90 Bau KSL M10x130mm 3 Stage Test 1

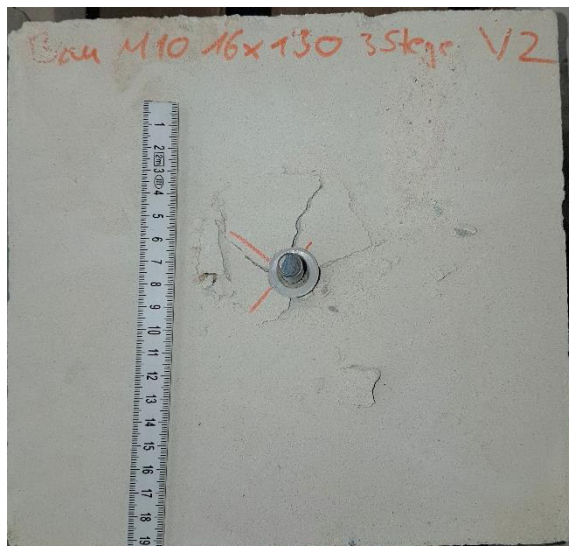


Abbildung 8-91 Bau KSL M10x130mm 3 Stage Test 2

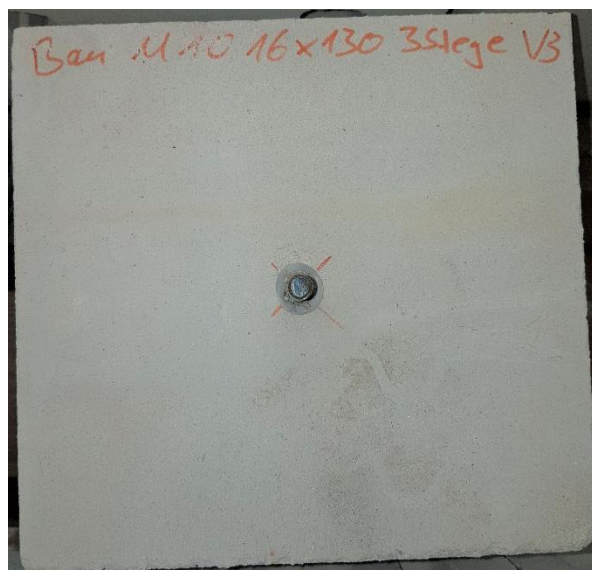


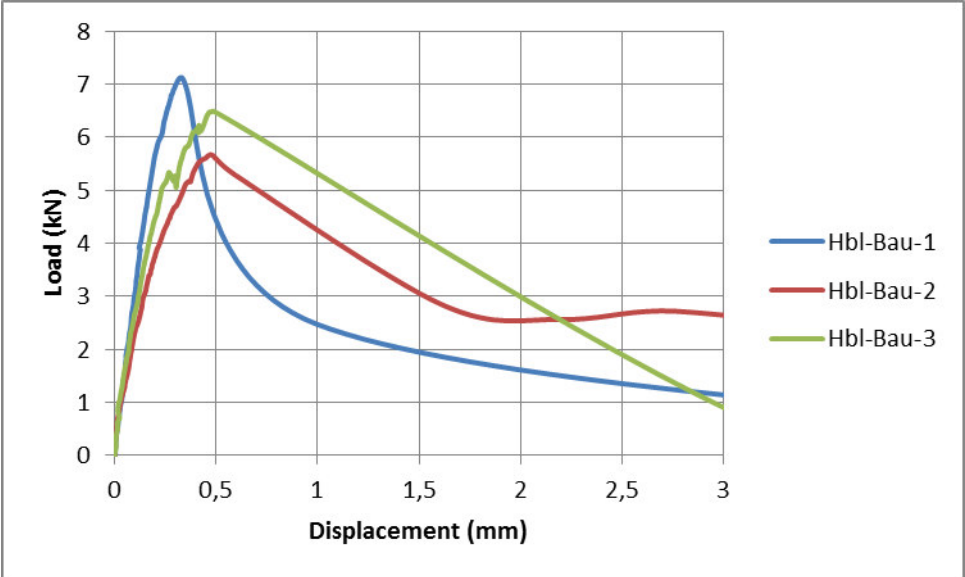
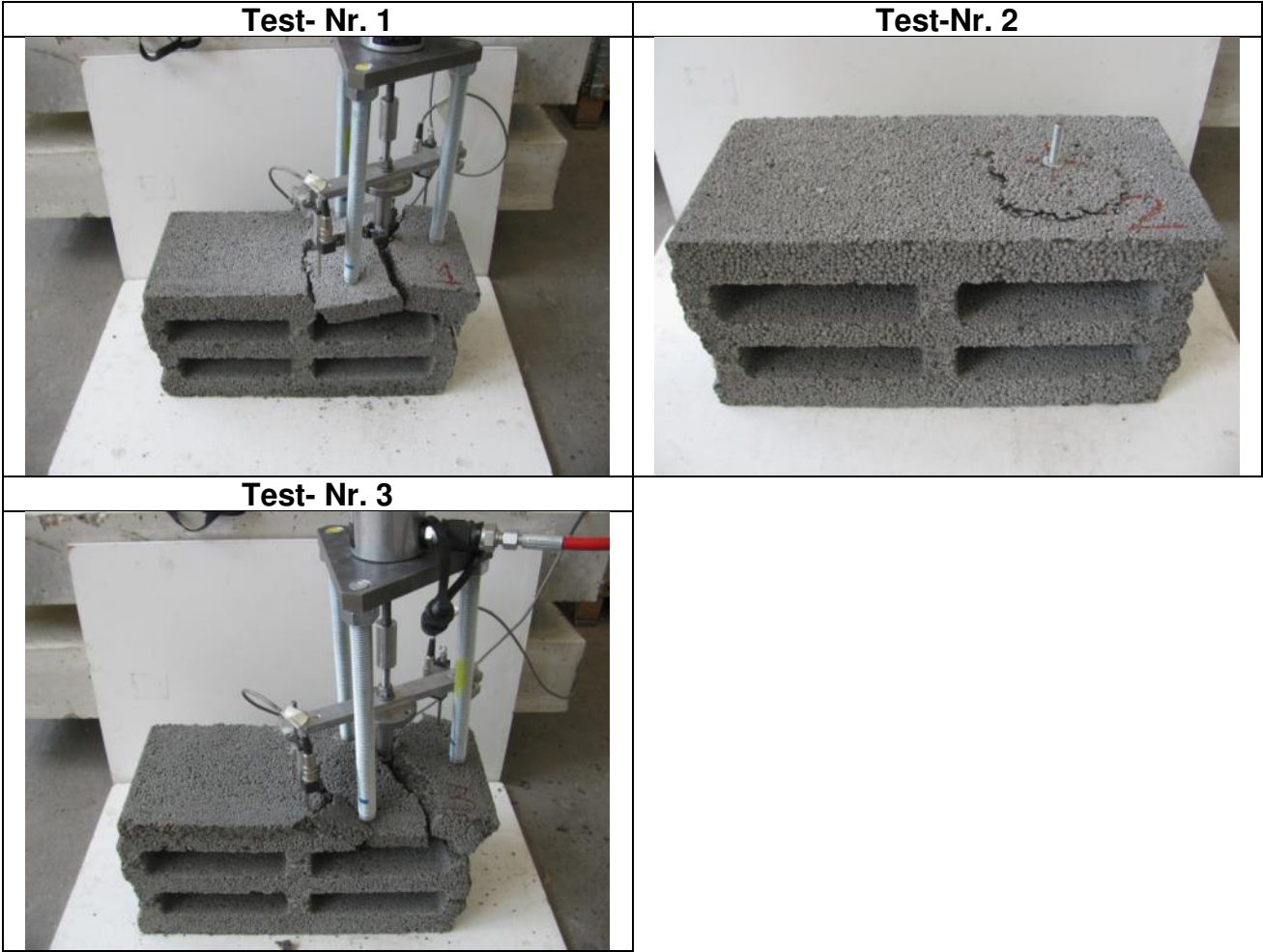
Abbildung 8-92 Bau KSL M10x130mm 3 Stage Test 3

8.3.3 Leichtbeton

8.3.3.1 Hbl: 1 Steg - Versuche mit Baustellenabstützung

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No: (fy/fu MPa)	545474 (780/860)
Sleeve	Würth WIT-SH 16x85		
Anchor depth [mm]	85		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	-		
Description of the test:	On site test procedure		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Knobel Liapor Hohlblock Hbl 2 -0,6			
Description of the stone (applicable standards)	DIN 18151; EN 771-3	Mean compressive strength [N/mm ²]	3,97
Stone dimensions L x B x H [mm]	16 DF 495 x 240 x 238	Mean stone density [kg/dm ³]	0,68
Installation			
Drill diameter $d_{cut,m}$ (Ist) [mm]	16,3	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth $h_{0\geq}$ [mm]	95	Edge distance c_1 [mm]	113
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c_2 [mm]	119
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d_B	17	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	
Force [kN]	23,562	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD067 (9,9819)	Displacement transducer	WA026 (-0,0268); WA096 (-0,027)
Fixture	150 mm		

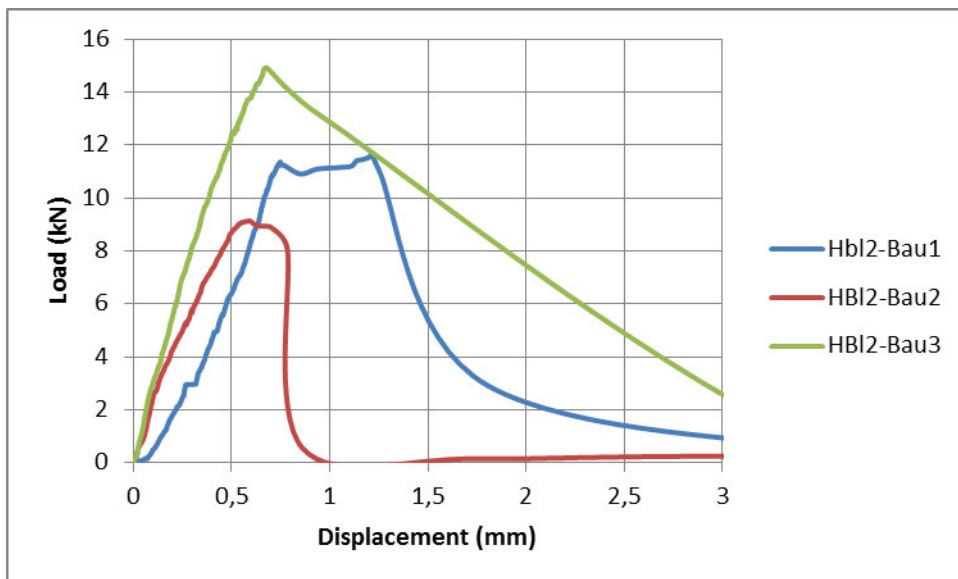
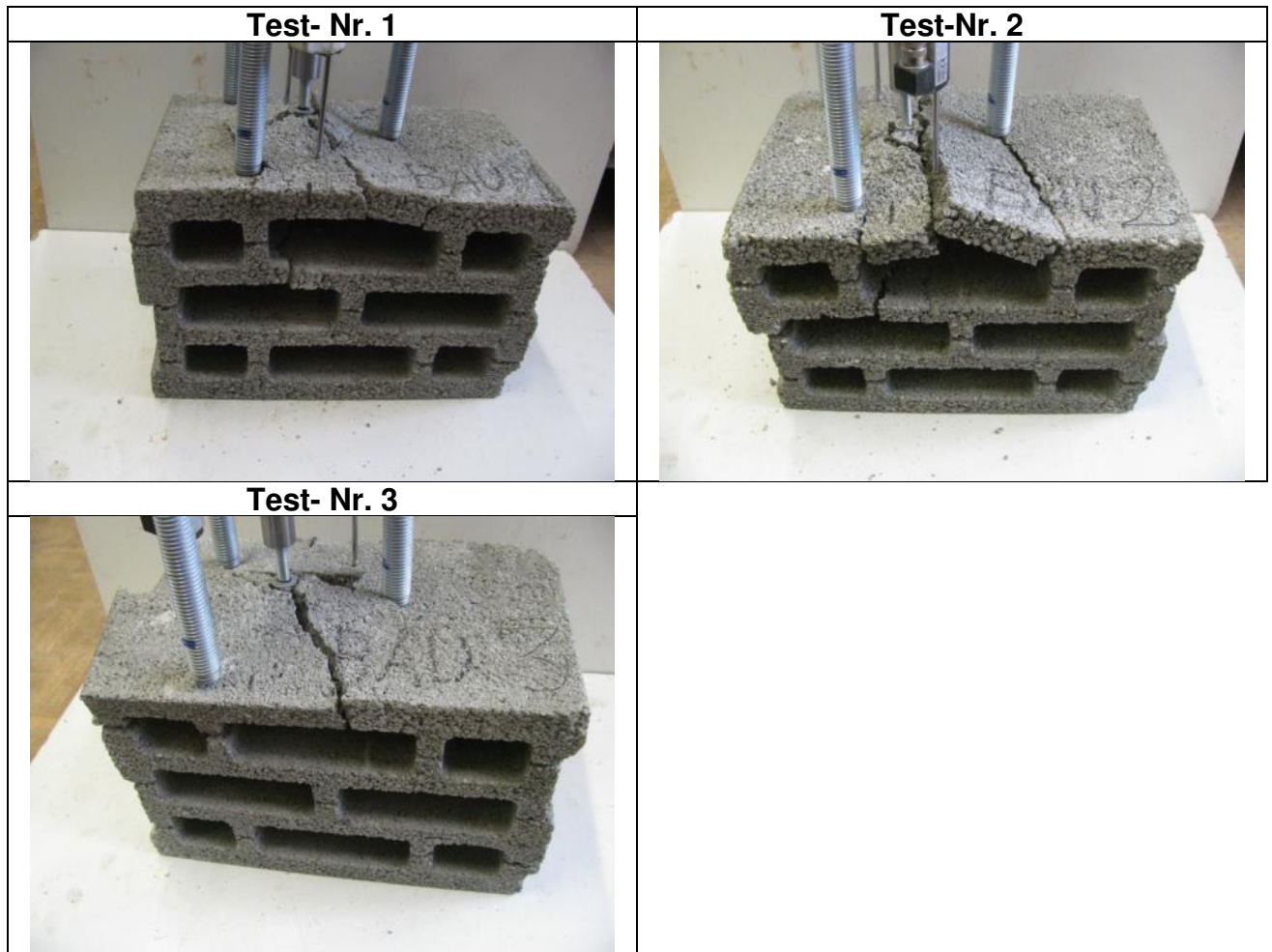
Test No:	HBL-Bau	1	2	3	-	-
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout				
Temperature of the lab	[°C]	24,5				
Temperature of the stone	[°C]	24				
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	06.06.2017 / 16:15				
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	13.06.2017 / 13:15				
Curing time	[h:min]	165				
Anchor depth h_{ef} (after curing)	[mm]	85	85	85	-	-
Adhesive failure $N_{u,adh}$	[kN]	-	-	-	-	-
displacement s_{adh} at $N_{u,adh}$	[mm]	-	-	-	-	-
1. Maximum load N_1	[kN]	-	-	-	-	-
Displacement s_1 at N_1	[mm]	-	-	-	-	-
Failure load N_u	[kN]	7,13	5,66	6,49	-	-
Average failure load $N_{u,m}$	[kN]	6,42				
Coefficient of variation	[%]	11,44				
Displacement s_u at Load N_u	[mm]	0,33	0,48	0,49	-	-
Displacement $s_{0.5u}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,11	0,13	0,13	-	-
Average displacement $s_{0.5u,m}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,13				
Coefficient of variation	[%]	8,09				
Failure mode	[-]	CC	CC	CC	-	-
Remarks						



8.3.3.2 Hbl: 2 Stege -Versuche mit Baustellenabstützung

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No: (fy/fu MPa)	9088 (534/593)
Sleeve	Würth WIT-SH 16x110		
Anchor depth [mm]	110		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	-		
Description of the test	On site test procedure		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Knobel Beton Hohl blockstein HBN 8-1,4			
Description of the stone (applicable standards)	DIN 18153; EN 771 - 3	Mean compressive strength [N/mm ²]	
Stone dimensions L x B x H [mm]	12 DF 365 x 240 x 238	Mean stone density [kg/dm ³]	
Installation			
Drill diameter $d_{cut,m}$ (Ist) [mm]	16,26	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth $h_{0\geq}$ [mm]	120	Edge distance c_1 [mm]	135
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c_2 [mm]	119
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d_B	17	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	5
Force [kN]	17,52	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD028 (9,9903)	Displacement transducer	WA149 (-0,077); WA151 (-0,077)
Fixture	150 mm		

Test No:	HBL2-Bau		1	2	3	-	-
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout					
Temperature of the lab	[°C]	22,8					
Temperature of the stone	[°C]	22,2					
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	04.09.2017 at 15:00					
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	30.10.2017 at 10:00					
Curing time	[h:min]	1339:00					
Anchor depth h_{ef} (after curing)	[mm]	110	110	110	-	-	-
Adhesive failure $N_{u,adh}$	[kN]	-	-	-	-	-	-
displacement s_{adh} at $N_{u,adh}$	[mm]	-	-	-	-	-	-
1. Maximum load N_1	[kN]	-	-	-	-	-	-
Displacement s_1 at N_1	[mm]	-	-	-	-	-	-
Failure load N_u	[kN]	11,36	9,13	14,90	-	-	-
Average failure load $N_{u,m}$	[kN]	11,80					
Coefficient of variation	[%]	24,67					
Displacement s_u at Load N_u	[mm]	0,75	0,58	0,68	-	-	-
Displacement $s_{0.5u}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,46	0,22	0,27	-	-	-
Average displacement $s_{0.5u,m}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,32					
Coefficient of variation	[%]	39,83					
Failure mode	[-]	CC	CC	CC	-	-	-
Remarks							



8.3.3.3 viele Stege - Versuche mit Baustellenabstützung

Injection mortar	Würth WIT-VM 300	Batch No:	140-16
Anchor rod	Würth WIT-AS M10	Batch No: (fy/fu MPa)	546169 (800/883)
Sleeve	Würth WIT-SH 16x85		
Anchor depth [mm]	85		
Project No:	209 17 002		
Type of test:	-		
Description of the test	On site test procedure		
Engineer:	Hitesh Lakhani, M. Tech		
Stone: Bisoplan Tec Super 009 1,6 – 0,4			
Description of the stone (applicable standards)	DIN EN 771-3; Z-17,1-1003	Mean compressive strength [N/mm ²]	2,09
Stone dimensions L x B x H [mm]	12 DF 247 x 365 x 249	Mean stone density [kg/dm ³]	0,65
Installation			
Drill diameter $d_{cut,m}$ (Ist) [mm]	16,3	Anchor diameter [mm]	9,8
Hole depth $h_{0\geq}$ [mm]	95	Edge distance c_1 [mm]	123,5
Drill machine	Würth BMH 32-XE	Edge distance c_2 [mm]	124,5
Drill mode	Hammer Drill	Setting direction	Horizontal
Cleaning brush diameter d_B	17	Mounting torque [Nm]	-
Test conditions			
Compressive stress [N/mm ²]	0,2	Recording frequency [Hz]	5
Force [kN]	18,031	Hydraulic cylinder	HZ 121 kN
Load cell	KMD067 (-9,9819)	Displacement transducer	WA026 (-0,0268); WA096 (-0,027)
Fixture	150 mm		

Test No:	TMP-Bau	1	2	3	-	-
Hole cleaning	[-]	2x blowout / 2x brush / 2x blowout				
Temperature of the lab	[°C]	24,5				
Temperature of the stone	[°C]	21,6				
Date and time at setup	[dd.mm.yyyy / h:min]	06.06.2017 / 16:15				
Date and time at test	[dd.mm.yyyy / h:min]	13.06.2017 / 13:50				
Curing time	[h:min]	165:35				
Anchor depth h_{ef} (after curing)	[mm]	85	85	85	-	-
Adhesive failure $N_{u,adh}$	[kN]	-	-	-	-	-
displacement s_{adh} at $N_{u,adh}$	[mm]	-	-	-	-	-
1. Maximum load N_1	[kN]	-	-	-	-	-
Displacement s_1 at N_1	[mm]	-	-	-	-	-
Failure load N_u	[kN]	3,61	3,30	4,07	-	-
Average failure load $N_{u,m}$	[kN]	3,66				
Coefficient of variation	[%]	10,57				
Displacement s_u at Load N_u	[mm]	0,33	0,37	0,17	-	-
Displacement $s_{0.5u}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,11	0,11	0,08	-	-
Average displacement $s_{0.5u,m}$ at $0,5 N_u$	[mm]	0,10				
Coefficient of variation	[%]	20,62				
Failure mode	[-]	CC	CC	CC	-	-
Remarks						

