

# Untersuchungsbericht zum Tragverhalten von Kopfbolzen in Leichtbeton

**T 3361**

T 3361

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

2018

ISBN 978-3-7388-0223-8

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

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

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

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

7. Juli 2016

# Untersuchungsbericht Nr. 11.02.26 U zum Tragverhalten von Kopfbolzen in Leichtbeton

Auftraggeber      Deutsches Institut für Bautechnik DIBt  
Kolonnenstr. 30 B  
10829 Berlin

## Inhalt

1.	Veranlassung.....	6
2.	Versuchsdurchführung .....	7
2.1	Allgemeines .....	7
2.2	Untersuchungsprogramm .....	7
2.3	Herstellung und Materialeigenschaften der Verankerungsgründe .....	8
2.4	Versuchsmuster .....	13
2.5	Durchführung der Versuche .....	13
3.	Versuchsergebnisse.....	15
3.1	Ergebnisse der Versuche mit der Versagensart ‚Betonausbruch‘ .....	15
3.1.1	Übersicht .....	15
3.1.2	Last-Verformungsverhalten.....	17
3.1.3	Bewertung der Ergebnisse der A1-Versuche – niederfester, ungerissener Leichtbeton.....	22
3.1.4	Bewertung der Ergebnisse der A3-Versuche – niederfester, gerissener Leichtbeton.....	25
3.1.5	Bewertung der Ergebnisse der A2-Versuche – höherfester, ungerissener Leichtbeton LC 40/44 .....	28
3.2	Ergebnisse der Versuche mit der Versagensart ‚Herausziehen‘ .....	30
3.2.1	Übersicht .....	30
3.2.2	Last-Verformungsverhalten.....	32
3.2.3	Bewertung der Versuche zur Versagensart ‚Herausziehen‘ – A1conf-Versuche.....	33
4.	Fazit und Zusammenfassung.....	36
4.1	Überblick.....	36
4.2	Ausblick .....	36
	Anhänge.....	42

## Quellenangabe

- [1] EOTA ETAG 001 Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete, Edition 1997, Amended November 2006
- [2] DIN DIN SPEC 1021-4-1 - Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton, August 2009
- [3] DIN DIN EN 1992 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Januar 2011
- [4] DIN DIN EN 206: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Juli 2014
- [5] DIN DIN EN 12390-13- Prüfung von Festbeton – Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul), Juni 2014
- [6] DIN DIN EN 12390-6- Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern, September 2010
- [7] DIN DIN EN 12390-1 Prüfung von Festbeton – Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen, Dezember 2012
- [8] Kroll, M. Diplomarbeit - Zum Tragverhalten von Kopfbolzen in Leichtbeton bei der Versagensart Herausziehen, November 2012
- [9] Kibarov, P. Diplomarbeit - Tragverhalten von Kopfbolzen in hochfestem Leichtbeton unter zentrischem Zug, Dezember 2012
- [10] Akyol, T. Bachelorarbeit - Tragverhalten von Kopfbolzendübel im gerissenen Leichtbeton LC 20/22 bei der Versagensart Betonausbruch, 24.07.2013
- [11] Eligehausen, R. , Mallee, R. Befestigungstechnik in Betonkalender 1997, Teil II, Ernst & Sohn, 1997
- [12] EOTA ETAG 029 Guideline for European Technical Approval of Metal Injection Anchors for Use in Masonry, Edition April 2013
- [13] Wesche, K. Baustoffe für tragende Bauteile, Teil 2, Beton – Mauerwerk, Bauverlag GmbH, 3. Auflage, 1993

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Untersuchungsprogramm – Versagensart ‚Betonausbruch‘ <sup>1)</sup> .....	7
Tabelle 2.2	Untersuchungsprogramm – Versagensart ‚Herausziehen‘ .....	8
Tabelle 2.3	Mischungszusammensetzung der Leichtbetone pro m <sup>3</sup> .....	9
Tabelle 2.4	verwendete Versuchsuntergründe.....	10
Tabelle 2.5	Ergebnisse der E-Modul-Untersuchungen .....	11
Tabelle 2.6	Ergebnisse der Spaltzug-Untersuchungen im niederfesten Leichtbeton LC 20/22.....	12
Tabelle 2.7	Ergebnisse der Spaltzug-Untersuchungen im höherfesten Leichtbeton LC 40/44.....	13
Tabelle 3.1	Versuchsergebnisse ‚Kopfbolzen in Leichtbeton – Versagen durch Ausbruch‘.....	16
Tabelle 3.2	Ergebnisse ‚Kopfbolzen in Leichtbeton – Versagen durch Herausziehen‘.....	31

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Abmessungen der verwendeten Kopfbolzen .....	6
Abbildung 2	Positionierung des Kopfbolzens in der Schalung für Risskörper [10] .....	9
Abbildung 3	Probekörper zur Ermittlung der zentrischen Zugfestigkeit nach dem Versuch .....	11
Abbildung 4	Schematische Darstellung der Versuchszylinder [9] .....	14
Abbildung 5	Last-Verformungsverhalten im niederfesten Leichtbeton – d10x75 - 1 .....	17
Abbildung 6	Teil eines Ausbruchkegels – niederfester Leichtbeton LC 20/22 .....	18
Abbildung 7	Radialrisse im Ausbruchkegel – niederfester Leichtbeton LC 20/22 .....	18
Abbildung 8	Last-Verformungsverhalten im festeren Leichtbeton LC 40/44 – d16x50 – 1 .....	19
Abbildung 9	Ausbruchkegel im festeren Leichtbeton LC 40/44 – d16x50 – 1.....	19
Abbildung 10	Last-Verformungsverhalten im A2.1 Test – d22x75 – 1 und 5 .....	20
Abbildung 11	Last-Verformungsverhalten im A3 Test – d16x50 – 2 .....	21
Abbildung 12	Fehlender Kompressionsbereich im A3 Test – d16x50 – 2 .....	21
Abbildung 13	Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der Verankerungstiefe – A1-Tests .....	22
Abbildung 14	Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der wirksamen Kopffläche – A1-Tests .....	23
Abbildung 15	Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der Summe aus wirksamer Kopffläche und Verankerungstiefe <sup>1,5</sup> – A1-Tests .....	24
Abbildung 16	Vergleich der mittleren Versagenslasten in ungerissenem und gerissenem Leichtbeton – A1- und A3-Tests.....	25
Abbildung 17	Verhältnis der mittleren Versagenslasten in ungerissenem und gerissenem Leichtbeton in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe – A1- und A3-Tests .....	26
Abbildung 18	Abhängigkeit der mittleren Versagenslasten von der Verankerungstiefe $h_{ef}^{1,5}$ in gerissenem Leichtbeton – A3-Tests.....	27
Abbildung 19	Abhängigkeit der mittleren Versagenslasten von der Verankerungstiefe <sup>1,5</sup> und der Wurzel der Festigkeit $f_{ic}^{0,5}$ – A3-Tests.....	27
Abbildung 20	Gegenüberstellung der mittleren Versagenslasten im niederfesten Leichtbeton LC 20/22 und im höherfesten Leichtbeton LC 40/44 – A1- und A2-Tests .....	28
Abbildung 21	Vergleich der Bruchflächen im LC 20/22 und LC 40/44.....	29
Abbildung 22	Schichtung der Betonage der Betonplatten der A2-Versuche.....	29
Abbildung 23	Last-Verformungsverhalten im Versuch 1 der Größe d16-75-7,5 – Serie A1conf.2.....	32
Abbildung 24	Schnitt durch die Versagensstelle – A1conf-Versuche.....	33
Abbildung 25	Abhängigkeit der Versagenslast von der Schulterbreite $a_h$ – A1conf-Versuche .....	33
Abbildung 26	Abhängigkeit der Versagenslast von der Kopffläche $A_h$ – A1conf-Versuche .....	34
Abbildung 27	Abhängigkeit der Versagenslast von Kopffläche $A_h$ und Festigkeit $f_{ic,test}$ – A1conf-Versuche .....	35

## 1. Veranlassung

Verankerungen in Normalbeton sind bereits seit vielen Jahren bekannt und die Ermittlung der Tragfähigkeit solcher Verankerung ist durch Zulassungen geregelt. Bedingt durch die besonderen Eigenschaften wie Reduktion notwendiger Stahleinlagen, erhöhter Feuerwiderstand sowie verbesserte Wärmedämmung ist der Einsatz von gefügedichtem Leichtbeton in den letzten Jahren stetig gestiegen. Im Jahr 2003 wurden 190.000 m<sup>3</sup> Leichtzuschläge zur Herstellung von gefügedichtem Leichtbeton verwendet. Unter anderem sind die folgenden Bauten mit der Hilfe von Leichtbeton errichtet worden:

- die Skiflugschanze bei Oberstdorf,
- das BMW-Hochhaus in München,
- das Kai-Center in Düsseldorf,
- die Rheinbrücke Köln-Deutz,
- die schwimmende Ölförderplattform für das Nordsee-Feld Heidrun sowie
- das Pandion Vista (Kranhaus) in Köln und
- Das obere Geschoss des Flughafens Berlin-Brandenburg.

Im Leichtbeton ist der Kraftfluss aufgrund der geringeren Tragfähigkeit der Leichtzuschläge im Vergleich zum Normalbeton verändert, so dass auch das Tragverhalten von Verankerungen durch die Matrix aus Zementstein und Leichtzuschlag beeinflusst ist. Es kommt industriell geblähter oder natürlich poriger Zuschlag zum Einsatz, der im Vergleich zum Normalzuschlag eine deutlich geringere Festigkeit aufweist, als die umgebende Zementmatrix. Dieser Leichtzuschlag begrenzt daher, anders als im Normalbeton, die Tragfähigkeit von Leichtbeton auf Zug.

Bereits in den derzeit gültigen Regelwerken [3] wird eine weitere Besonderheit des Leichtbetons beschrieben. Im Vergleich zum Normalbeton ist bei gleicher Druckfestigkeit die Zugfestigkeit geringer als beim Normalbeton. Da der Lastabtrag bei Kopfbolzen und Dübeln auch von der Zugfestigkeit abhängt, muss diese veränderte Relation auch einen wesentlichen Einfluss auf die Tragfähigkeit von Kopfbolzen und Dübeln haben.

Das Tragverhalten von Kopfbolzen unter Zugbeanspruchung soll mithilfe der vorliegenden Untersuchungen beschrieben werden. Insbesondere die Versagensarten ‚Betonausbruch‘ und ‚Herausziehen‘ sind im Rahmen dieser Untersuchungen betrachtet worden.

In der nachfolgenden Abbildung 1 sind die Abmessungen der verwendeten Kopfbolzen dargestellt.

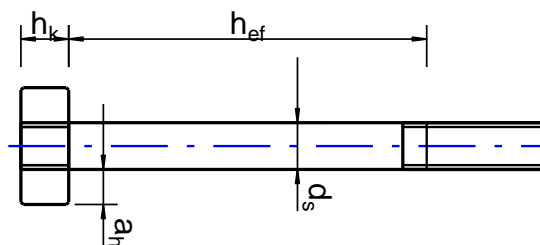


Abbildung 1 Abmessungen der verwendeten Kopfbolzen

Die folgenden Abkürzungen werden zur Beschreibung der maßgeblichen Geometrie verwendet.

$h_{ef}$	effektive Verankerungstiefe
$h_k$	Dicke des Kopfes
$a_h$	Schulterbreite
$d_s$	Durchmesser des Bolzenschaftes



## 2. Versuchsdurchführung

### 2.1 Allgemeines

Die Versuche zur Überprüfung des Tragverhaltens im Leichtbeton wurden in Anlehnung an [1] durchgeführt. Zur Untersuchung der Tragfähigkeit von Kopfbolzenverankerungen in ungerissenem Leichtbeton wurden sowohl der Schaft- und der Kopfdurchmesser als auch die Verankerungstiefe variiert. Mithilfe dieser Parameter soll die Abhängigkeit der Tragfähigkeit abgeleitet werden. Darüber hinaus wurde in zwei unterschiedlichen Festigkeiten und Rohdichten geprüft. Schließlich sollte ebenfalls eine Aussage zur Tragfähigkeit im Riss der Rissweite  $\Delta w = 0,3$  mm abgeleitet werden.

### 2.2 Untersuchungsprogramm

Zunächst sollte im niederfesten ungerissenen Leichtbeton an drei verschiedenen Kopfbolzengrößen mit unterschiedlichen wirksamen Kopfflächen die Tragfähigkeit untersucht werden. Es sollten Kopfbolzen zum Einsatz kommen, da bei diesen Verankerungselementen die Last mechanisch eindeutig über die Kopffläche in den Leichtbeton eingeleitet wird. Die Schaftdurchmesser wurden dabei in Anlehnung an vorhandene Kopfbolzen gewählt, aber für den Durchmesser des Kopfes wurden die Standardwerte aufgrund der geringeren lokalen Festigkeit des Leichtbetons vergrößert.

Das folgende in Tabelle 2.1 dargestellte Untersuchungsprogramm wurde zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Kopfbolzen in Leichtbeton durchgeführt.

Tabelle 2.1 Untersuchungsprogramm – Versagensart ‚Betonausbruch‘<sup>1)</sup>

$\Delta w$ [mm]	$h_{ef}$ [mm]	$a_h$ [mm]	Versuch	LC 20/22 D1,4			Versuch	LC 40/44 D1,8		
				$\varnothing 10$	$\varnothing 16$	$\varnothing 22$		$\varnothing 10$	$\varnothing 16$	$\varnothing 22$
0,0	50	7,5	A1	x	x	-	A2	-	x	-
	75	7,5 und 10		x	x	x		x	x	x
	100	7,5 und 10		x	x	x		-	x	-
	150	10		-	-	x		-	-	-
0,3	50	7,5	A3	-	x	-				
	75	7,5		x	x	x				

<sup>1)</sup> Die Anzahl der Versuche ist mindestens 10. Z. T. wurden mehr Versuche durchgeführt.

Die Versuchsanzahl betrug in jedem Versuch mindestens 10, um eine valide Aussagekraft für jede einzelne Versuchsserie zu bekommen. Außerdem verbessert sich bei diesem Versuchsumfang die Genauigkeit zur Ableitung charakteristischer Lasten.

A1-Versuche mit einer Verankerungstiefe von 150 mm wurden lediglich mit der Größe  $\varnothing 22$  durchgeführt, da bei den Größen  $\varnothing 10$  und  $\varnothing 16$  Stahlversagen maßgebend wäre. Bei den A2- und den A3-Versuchen wurde ein geringerer Umfang untersucht, um zum einen eine Korrelation untereinander, aber insbesondere mit den A1-Versuchen herstellen zu können. Insgesamt wurden 200 Versuche zum kegelförmigen Betonausbruch durchgeführt.

Zur Untersuchung der Versagensart ‚Herausziehen‘ wurde lediglich die Schulterbreite  $a_h$  und der Schaftdurchmesser  $d_s$ , aber nicht die Verankerungstiefe  $h_{ef}$  variiert, da diese Versagensart nach derzeitigem Kenntnisstand hauptsächlich auf der Kompression des Leichtbetons an der Kopffläche basiert. Die Tragfähigkeit bei weiter Abstützung hängt sowohl von der Rissbildung innerhalb des Leichtbetons, aber auch von der Kompression am Bolzenkopf ab. Durch die Versuchsserie A1conf zum ‚Herausziehen‘ lässt sich der Prozess der Kompression am Kopf gesondert untersuchen. Die Bezeichnung ‚conf‘ leitet sich im Übrigen von der englischen Bezeichnung confined ab und deutet auf die enge Abstützung im Versuch hin.

Untersuchungen an Kopfbolzen des Durchmessers  $\varnothing 10$  und einer Schulterbreite  $a_h = 10$  mm wurden nicht durchgeführt, da Stahlversagen für diese Kombination wahrscheinlich war. Die Kombination aus einem Bolzendurchmesser  $\varnothing 22$  und einer Schulterbreite von  $a_h = 5$  mm unterschritt das Verhältnis üblicher Kopfbolzen und wurde daher ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Untersuchungen waren zunächst auf die Größe  $\varnothing 16$  begrenzt. Die beiden anderen Größen wurden zusätzlich stichpunktartig untersucht.

Auch bei den Versuchen zum Herausziehen betrug die Versuchsanzahl in jeder Serie mindestens 10, um eine valide Aussagekraft für jede einzelne Versuchsserie zu bekommen und die Genauigkeit zur Ableitung charakteristischer Lasten zu verbessern.

Tabelle 2.2 zeigt das Untersuchungsprogramm zur Versagensart ‚Herausziehen‘.

**Tabelle 2.2 Untersuchungsprogramm – Versagensart ‚Herausziehen‘**

$\Delta w$ [mm]	$h_{ef}$ [mm]	$a_h$ [mm]	Versuch	LC 20/22 D1,4		
				$\varnothing 10$	$\varnothing 16$	$\varnothing 22$
0,0	75	5,0	A1 conf	x	x	-
		7,5		x	x	x
		10		-	x	-

### 2.3 Herstellung und Materialeigenschaften der Verankerungsgründe

Für die Untersuchungen standen Leichtbetone der Festigkeitsklassen LC20/22 und LC40/44 entsprechend [2] zur Verfügung. Die Betonrezepturen der verwendeten Mischungen wurden von der Fa. Liapor bereitgestellt, die auch den zugehörigen Zuschlag lieferte. Die Zusammensetzung der Leichtbetone entsprach den in der folgenden Tabelle angegebenen Werten.

Tabelle 2.3 Mischungszusammensetzung der Leichtbetone pro m<sup>3</sup>

	LC 20/22 D1,4			LC 40/44 D1,8		
	Stoffraum dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Rohdichte kg/dm <sup>3</sup>	Einwaage kg/m <sup>3</sup>	Stoffraum dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Rohdichte kg/dm <sup>3</sup>	Einwaage kg/m <sup>3</sup>
Liapor 6 4/8	407	1,11	452			
Liapor Sand K 0/2	257	1,77	454			
Liapor 8 4/8				422	1,41	595
Natursand 0/2				261	2,63	687
Kalksteinmehl	34,9	2,20	76,7	18,1	2,20	39,8
Saugwasser	--	1,00	136	--	1,00	50,2
Zement CEM I 42,5R	102	3,10	315	110	3,10	340
Anmachwasser	185	1,00	185	175	1,00	175
Restporen	15,0	--	--	14,0	--	--

Eine Verwendung von Fließmitteln war trotz Vorgabe nicht erforderlich, da die Frischbetonuntersuchungen bereits eine ausreichende Fließfähigkeit des Frischbetons aufwiesen.

Alle Untergründe wurden in horizontaler Lage betoniert. Eine Bewehrung im Bereich der Kopfbolzen war nicht vorhanden. Die Kopfbolzen wurden auf der Schalseite der Betonelemente angeordnet, in dem sie durch vorbereitete Löcher gesteckt und mit Muttern gesichert wurden. Dadurch war sowohl eine genaue Positionierung als auch eine genaue Einhaltung der Verankerungstiefe möglich. Der Randabstand war immer größer als  $c = 3,0 h_{ef}$ . Zur Vermeidung einer gegenseitigen Beeinflussung der geprüften Bereiche ist gemäß [1] der Abstand benachbarter Dübel immer größer als  $s = 4,0 h_{ef}$  zu wählen. Aufgrund des veränderten Verhältnisses zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei Leichtbeton wurde in diesem Forschungsvorhaben der Achsabstand benachbarter Dübel immer größer als  $s = 5,0 h_{ef}$  gewählt.

Die folgende Abbildung 2 zeigt den Einbau eines Kopfbolzens.



Abbildung 2 Positionierung des Kopfbolzens in der Schalung für Risskörper [10]

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit fanden sowohl Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm, die zusammen mit den Betonplatten hergestellt wurden, als auch Bohrkern mit einem Durchmesser

und einer Höhe von etwa 100 mm Verwendung. Die ermittelten Druckfestigkeiten sind für die jeweiligen Versuchsserien in den Anhängen aufgeführt.

Folgende Tabelle 2.4 zeigt die verwendeten Betonprobekörper.

**Tabelle 2.4 verwendete Versuchsuntergründe**

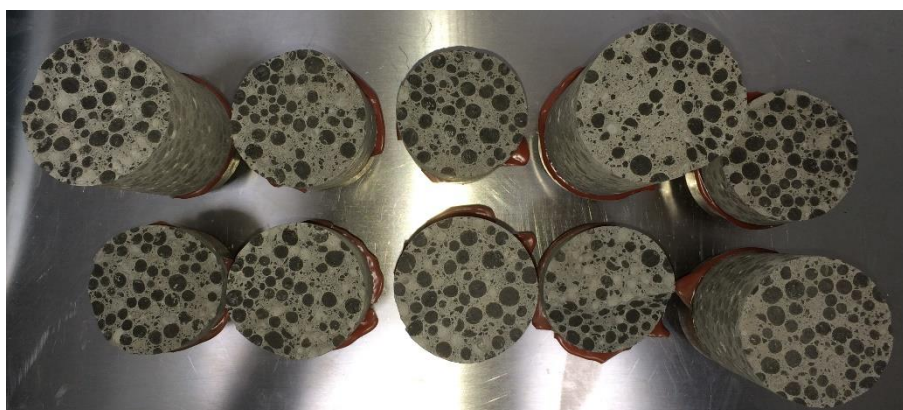
Leichtbeton	Versuchs- serie	Abmessungen l x b x h [cm³]	150er Würfel			100er Bohrkern	
			$f_{c,test}$ [N/mm²]	Alter [d]	Dichte [kg/m³]	$f_{c,test}$ [N/mm²]	Alter [d]
LC20-110621	A1 d10x50	120x100x15			1243	26,80	41
LC20-110621	A1 d16x50				1258	26,36	41
LC20-110621	A1		27,5	31	1243		
LC20-110720	A1 d10x75 A1 d16x75	140x120x20	28,7	30	1262		
LC20-110811	A1 d22x75	240x130x25	32,44	60	1263		
LC20-110818	A1 d22x75	240x130x25	30,53	27	1223		
LC20-110914	A1	250 x 160 x 35	28,31	35	1246		
LC20-111005	A1	250 x 160 x 35	30,78	36	1284	33,77	36
LC20-111115	A1	250 x 190 x 35	29,79	51	1255		
LC20-111124	A1	250 x 160 x 35	27,05	42	1256		
LC40-120531	A2.1 d16x50	205 x 190 x 20	40,89	35	2004	48,24	77
	A2.1 d16x75					51,62	127
LC40-120625	A2.2 d16x50	205 x 190 x 20	37,44	36	1770	42,92	52
	A2.2 d16x75					51,15	102
LC40-120731	A2.1 d10x75 A2.1 d22x75	250 x 190 x 25	47,84	64	1740	43,20	66
LC40-120823	A2.2 d10x75 A2.2 d22x75	250 x 190 x 25	43,08	41	1757	41,54	43
LC40-120903	A2 d16x100 A2 d16x100	160 x 160 x 20	44,85	37	1869		
			51,42	64	1857	43,91	64
LC40-120906	A2 d16x100	160 x 160 x 20	46,39	34	1869		
			53,08	57	1873	44,68	61
LC20-130107-1	A3	220 x 170 x 20	28,65	73	1282	21,35	74
LC20-130107-2	A3					22,91	74
LC20-130114-1	A3	220 x 170 x 20	28,88	71	1274	22,61	71
LC20-130114-2	A3					23,08	72
LC20-130227	A3	220 x 200 x 20	23,24	29	1253	20,19	29
LC20-120508	A1conf	150 x 120 x 20	24,49	50	1257	25,34	51
LC20-120614	A1conf		27,80	56	1244	27,62	57
LC20-120725	A1conf		22,69	57	1243	23,34	58

Der Leichtbetoncharge vom 05.10.2011 wurden Bohrkern des Durchmessers 50 mm und einer Höhe von etwa 100 mm entnommen, um an diesen Probekörpern die zentrische Zugfestigkeit zu ermitteln. Dazu wurden die Probekörper an beiden Enden mit Lasteinleitungsstempeln versehen, die mit einem Zweikomponenten-Kleber auf Epoxidharzbasis mit den Probekörpern verbunden waren. In Analogie zur E-Modul-Prüfung wurde ein Längen / Durchmesser Verhältnis von etwa 2 gewählt, um in der Mitte der Probe einen annähernd einaxialen Spannungszustand hervorzurufen.

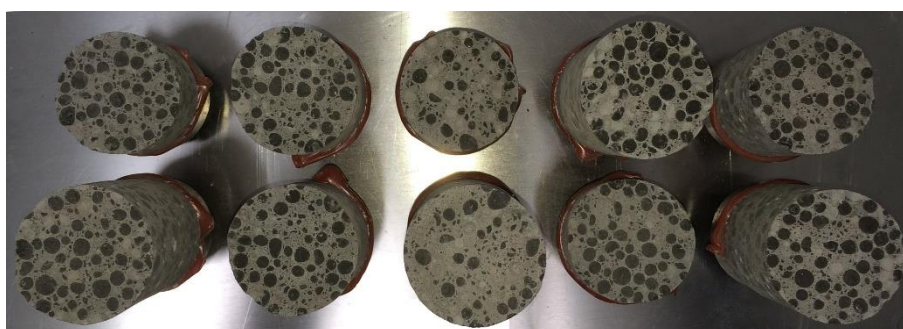
Die Ergebnisse dieser Versuche unterliegen einer starken Streuung und genügen nicht den Anforderungen an die Zugfestigkeit gemäß [3] (s. Anhang 6.1). An zwei der zehn Probekörper

konnte eine Vorschädigung, die vermutlich dem Entnahmeprozess geschuldet ist, nachgewiesen werden. Die erwartete Zugfestigkeit nach Norm [3, Tabelle 11.3.1] liegt bei  $f_{lctm} = 2,13 \text{ N/mm}^2$ , während die ermittelte mittlere Zugfestigkeit lediglich den Wert  $f_{lctm} = 1,26 \text{ N/mm}^2$  bei einem Variationskoeffizienten von  $v = 24,32 \%$  erreicht. Aufgrund des niedrigen Niveaus der Ergebnisse und der hohen Streuung ist eine Vorschädigung aller Probekörper wahrscheinlich, so dass die Ergebnisse verworfen werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Bruchflächen der zehn Probekörper nach dem Versuch.



Probekörper 1 bis 5



Probekörper 6 bis 10

**Abbildung 3** Probekörper zur Ermittlung der zentrischen Zugfestigkeit nach dem Versuch

Aufgrund dieser Ergebnisse sollten zentrische Zugversuche an Leichtbetonen zur Ermittlung der Zugfestigkeit nach Möglichkeit vermieden oder ggfs. an größeren Bohrkernen durchgeführt werden.

Der Elastizitätsmodul wurde als Sekantenmodul entsprechend der zum Zeitpunkt der Prüfung gültigen Fassung von [7] an Bohrkernen mit einem Durchmesser von etwa 100 mm und einer Höhe von etwa 200 mm ermittelt. Die Bohrkern wurden der Platte LC20-111005-1 entnommen. Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Werte. Die Einzelwerte befinden sich in Anhang 6.2.

**Tabelle 2.5** Ergebnisse der E-Modul-Untersuchungen

LC20-111005-1	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Trockenrohddichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Probe 1	10.500	29,8	
Probe 2	11.300	30,4	
Probe 3	10.700	30,9	
Mittelwert	10.800	30,3	1.284
v [%]	4,0	1,8	

Auf der Basis der mittleren Druckfestigkeit von  $f_{cm} = 30,3 \text{ N/mm}^2$  ist der verwendeten Leichtbeton als LC 20/22 einzustufen. Nach [3] lässt sich der E-Modul gemäß folgender Gleichung bestimmen.

$$E_{lcom} = 9.500 \times f_{cm}^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\rho}{2.200}\right)^2 = 9.500 \times 30,3^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{1.284}{2.200}\right)^2 = 10.097 \frac{N}{mm^2} \quad (2-1)$$

Der ermittelte E-Modul liegt somit etwa 7 % über dem rechnerisch erwarteten Wert der zugehörigen Festigkeitsklasse.

Die Spaltzugfestigkeit wurde an den Leichtbetonprobekörpern ermittelt, in denen die Versuche zum Herausziehen durchgeführt wurden (vgl. Anhang 6.3). Dazu wurden den Untergründen Bohrkerne des Durchmessers 100 mm und einer Länge von ca. 200 mm entnommen und entsprechend DIN EN 12390, Teil 6 [6] geprüft. Zusätzlich wurden Bohrkerne den Leichtbeton-Untergründen höherer Festigkeit LC 40/44 entnommen und für die Ermittlung der Spaltzugfestigkeit verwendet. Die Länge dieser Bohrkerne betrug etwa  $l = 100 \text{ mm}$ .

Die folgende Gleichung zeigt das Verhältnis zwischen Spaltzugfestigkeit  $f_{ct,SZ}$  und der Druckfestigkeit  $f_c$ .

$$f_{ct,SZ} = k \times f_c^{\frac{2}{3}} \quad (2-2)$$

Die zu erwartende Spaltzugfestigkeit ist vom verwendeten Zuschlag abhängig und streut daher stärker als beim Normalbeton. Wesche [13] nennt für den Faktor  $k$  Werte zwischen  $k = 0,16$  und  $k = 0,37$ . Für Prüflinge, die an der Luft getrocknet sind, wird ein Mittelwert von  $k = 0,23$  angegeben.

**Tabelle 2.6 Ergebnisse der Spaltzug-Untersuchungen im niederfesten Leichtbeton LC 20/22**

Betonplatte	mittlere Spaltzugfestigkeit $f_{ct,SZ,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Variationskoeffizient $v$ [%]	Druckfestigkeit $f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	erwartetes Minimum $f_{ct,SZ,min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	erwartetes Maximum $f_{ct,SZ,max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	erwartetes Mittel bei Luftlagerung $f_{ct,SZ,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Korrelation $f_{ct,SZ,m} / f_{ct,SZ,m}$ [-]
LC20-120508-1	1,98	13,9	27,2	1,45	3,35	2,08	0,95
LC20-120508-2	1,89	12,4	23,5	1,31	3,03	1,89	1,00
LC20-120614-1	2,09	15,2	26,4	1,42	3,28	2,04	1,02
LC20-120614-2	2,22	21,9	28,8	1,50	3,48	2,16	1,03
LC20-120725-1	1,74	24,3	24,4	1,35	3,11	1,93	0,90
LC20-120725-2	1,63	17,5	22,3	1,27	2,93	1,82	0,89

Die Tabelle 2.6 stellt die ermittelten Spaltzugfestigkeiten im niederfesten Leichtbeton LC 20/22 den zu erwartenden Werten gegenüber.

Es zeigt sich, dass die ermittelten Spaltzugfestigkeiten im zu erwartenden Bereich und sogar nahe dem rechnerischen Mittelwert liegen.

Die im höherfesten Leichtbeton LC 40/44 ermittelten Spaltzugfestigkeiten sind in Tabelle 2.7 dargestellt.

Tabelle 2.7 Ergebnisse der Spaltzug-Untersuchungen im höherfesten Leichtbeton LC 40/44

Betonplatte	mittlere Spaltzugfestigkeit	Variationskoeffizient	Druckfestigkeit	erwartetes Minimum	erwartetes Maximum	erwartetes Mittel bei Luftlagerung	Korrelation
	$f_{ct,sz,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$v$ [%]	$f_{lc}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ct,sz,min}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ct,sz,max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ct,sz,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	[-]
LC40-120531	2,42	22,4	48,2	2,12	4,90	3,05	0,79
LC40-120625	2,58	14,4	42,9	1,96	4,54	2,82	0,92
LC40-120731	2,97	14,1	43,2	1,97	4,56	2,83	1,05
LC40-120823	3,34	7,32	41,5	1,92	4,44	2,76	1,21
LC40-120903	3,01	21,8	43,9	1,99	4,61	2,86	1,05
LC40-120906	2,67	12,3	44,7	2,01	4,66	2,90	0,92

## 2.4 Versuchsmuster

Zur Herstellung der Versuchsmuster wurden handelsübliche Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 verwendet. Der Schraubenkopf wurde entfernt und ein der Schraube entsprechendes Gewinde auf das Ende des Schaftes geschnitten. Dieses Gewinde diente dann der Aufnahme des neuen Kopfs. Das Material des Kopfs bestand aus hochvergütetem Stahl der Werkstoffnummer 1.7225, um ein Versagen des Kopfs oder der Verbindung zum Schaft auszuschließen.

Eine Zeichnung der Kopfbolzen ist in Abbildung 1 dargestellt.

## 2.5 Durchführung der Versuche

Für die Versuchsreihen A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> und A<sub>3</sub> standen Abstützdurchmesser in den Abstufungen  $d = 235$  mm,  $d = 295$  mm,  $d = 450$  mm,  $d = 600$  mm und  $d = 700$  mm zur Verfügung. Der Durchmesser der Abstützung wurde dabei in den A<sub>1</sub>-Versuchen in Analogie zum Normalbeton mindestens zum Vierfachen der Verankerungstiefe gewählt, um einen ungestörten Ausbruch des Leichtbetons zu ermöglichen. Für die A<sub>2</sub>- und A<sub>3</sub>-Versuche wurde der Abstützdurchmesser aufgrund der Ergebnisse in den A<sub>1</sub>-Versuchen auf das Sechsfache der Verankerungstiefe vergrößert.

Die Versuche zur Versagensart Herausziehen wurden mit enger Abstützung (confined tests) durchgeführt. Die Abstützdurchmesser betragen bei allen Versuchen 47 mm.

Es wurden zwei unterschiedliche Versuchseinrichtungen verwendet. Für Versuche, die eine Tragfähigkeit bis etwa 85 kN erwarten ließen, wurde ein servo-hydraulisches System der Firma Händchen verwendet. Darüber hinaus kam ein Hydrauliksystem der Fa. Enerpac zum Einsatz, mit dem Kräfte bis max. 300 kN gemessen werden können. Die Laststeigerung wurde so gewählt, dass ein Versagen zwischen 60 s und 180 s erreicht wurde.

Die folgende Abbildung zeigt die Versuchsaufbauten im Bild sowie schematisch.

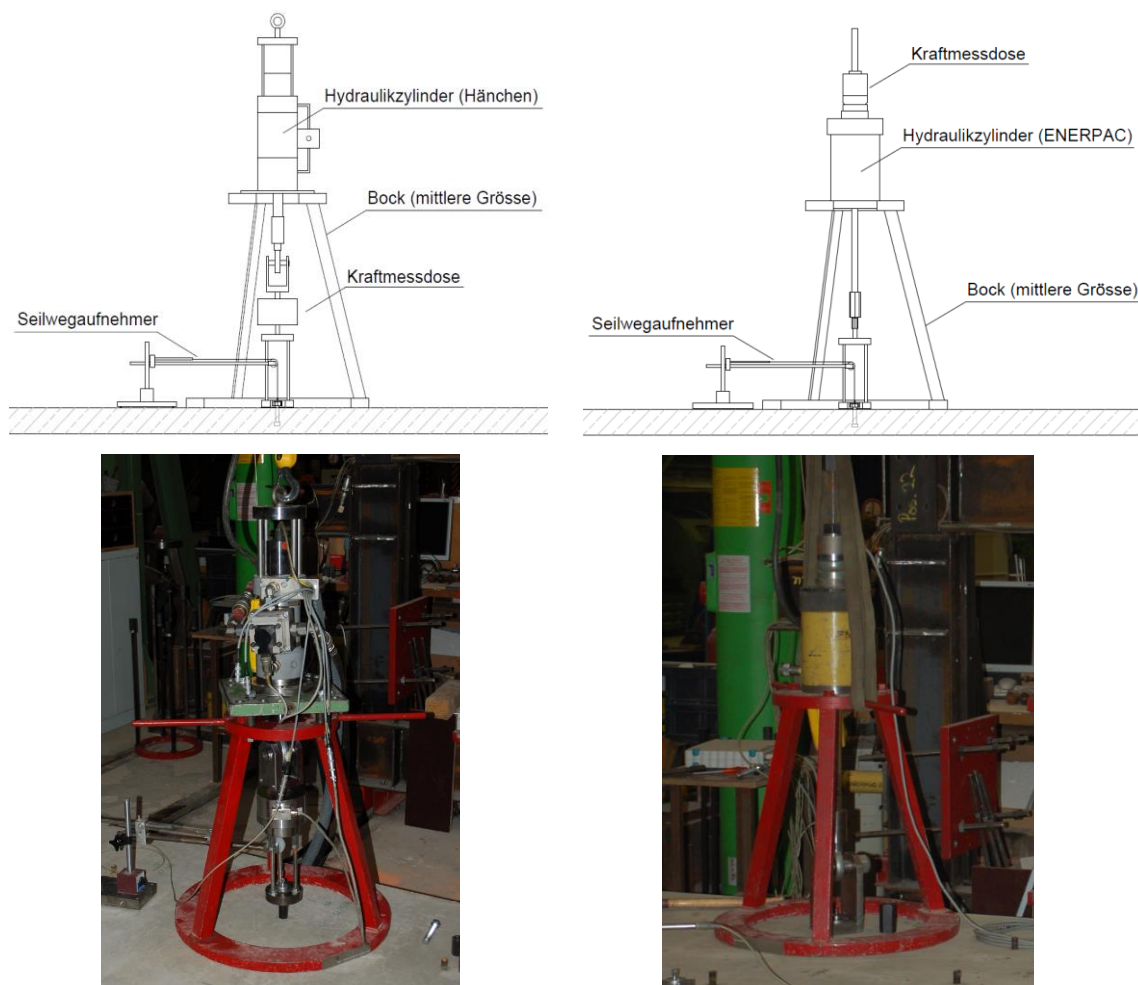


Abbildung 4 Schematische Darstellung der Versuchszylinder [9]

Die Verformungsmessung erfolgte mit einem induktiven Wegaufnehmer mit einem Messbereich von 50 mm, der mithilfe einer Umlenkung direkt auf dem Anschlussgewinde des Kopfbolzens die Verformung erfasste.

Die Versuchsdurchführung und die verwendeten Mess- und Montagemittel entsprachen den Vorgaben der ETAG 001 [1]. Die detaillierten Testparameter können den entsprechenden Anhängen entnommen werden.



## 3. Versuchsergebnisse

### 3.1 Ergebnisse der Versuche mit der Versagensart ‚Betonausbruch‘

#### 3.1.1 Übersicht

Die in diesem Abschnitt zitierten 5%-Quantile wurden auf der Basis einer Normalverteilung der Versagenslasten mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90% bestimmt. Sämtliche Versuchsergebnisse in diesem Bericht sind detailliert als Anlagen beigefügt.

In der nachfolgenden Tabelle werden folgende Abkürzungen verwendet.

$n$	Anzahl der Versuche
$v$	Variationskoeffizient der ausgewerteten Stichprobe
$h_{ef}^t$	effektive Verankerungstiefe
$c_1$	Randabstand im Versuch
$A_H$	$= \pi \times (a_h^2 + d_s \times a_h)$ in Zugrichtung wirksame Kopffläche
$f_{lc,test}$	Festigkeit der Betonuntergründe zum Versuchszeitpunkt
$f_{lc}$	Bezugsfestigkeit des Leichtbetons, bezogen auf einen Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm
$\rho_{lc,test}$	Trockenrohdichte der Betonuntergründe zum Versuchszeitpunkt
$\rho_{lc}$	Bezugsrohdichte des Leichtbetons gemäß [3]
$F_{Ru,m}$	mittlere Versagenslast der Stichprobe im Versuch
$F_{RK,o}$	5%-Quantil der Stichprobe

Abkürzung der verschiedenen Versagensarten:

CF Versagen durch kegelförmigen Ausbruch des Betons

Sp Versagen durch Spalten des Betons

Po Versagen durch Herausziehen des kompletten Dübels

Kombinationen der obigen Versagensarten sind ebenfalls möglich.

Tabelle 3.1 Versuchsergebnisse ‚Kopfbolzen in Leichtbeton – Versagen durch Ausbruch‘

Test	Größe	Verankerungs- grund	n	v [%]	h <sub>ef</sub>	c <sub>1</sub>	A <sub>H</sub>	[mm]	f <sub>ct,rest</sub>	f <sub>ct</sub>	ρ <sub>fc,rest</sub> [kg/dm <sup>3</sup> ]	ρ <sub>fc</sub>	Versagensart	Normalverteilung		Bemerkungen
														F <sub>Ru,m</sub> [kN]	F <sub>Rk,0</sub> [kN]	
A1	10x50	LC20/22	9	5,25	51,0	182,0	412,3		27,5	22,0	1,24	1,3	9xCF	24,16	20,80	T10: unberücksichtigt aufgrund von Spalten
A1	10x75	LC20/22	9	7,15	74,8	218,0	412,3		28,7	22,0	1,26	1,3	9xCF	36,18	29,33	T8: unberücksichtigt aufgrund von Spalten
A1.1	10x100	LC20/22	5	5,74	98,6	347,0	412,3		29,8	22,0	1,26	1,3	5xPo/CF	45,36	36,50	
A1.2	10x100	LC20/22	5	4,44	98,2	347,0	412,3		27,0	22,0	1,26	1,3	5xPo/CF	45,18	38,35	
A1	16x50	LC20/22	9	4,87	49,8	181,0	553,7		27,5	22,0	1,24	1,3	9xCF	27,81	24,22	T8: unberücksichtigt aufgrund von Spalten
A1	16x75	LC20/22	10	5,19	74,5	218,0	553,7		28,7	22,0	1,26	1,3	10xCF	43,21	37,46	
A1.1	16x100	LC20/22	5	2,68	99,8	341,0	553,7		32,4	22,0	1,26	1,3	5xPo/CF	54,29	49,35	
A1.2	16x100	LC20/22	5	8,16	101,1	341,0	553,7		30,5	22,0	1,22	1,3	1xPo/Sp 4xPo/CF	49,59	35,83	
A1.1	22x75	LC20/22	4	7,45	75,4	222,0	1005		32,4	22,0	1,26	1,3	4xCF	65,29	46,05	
A1.2	22x75	LC20/22	4	7,04	75,3	222,0	1005		30,5	22,0	1,22	1,3	4xCF	60,67	43,76	
A1.1	22x100	LC20/22	5	6,11	99,0	468,0	1005		29,8	22,0	1,26	1,3	5xCF	74,91	59,34	
A1.2	22x100	LC20/22	5	3,22	99,4	468,0	1005		27,0	22,0	1,26	1,3	5xCF	70,47	62,76	
A1.1	22x150	LC20/22	5	11,70	149,8	446,0	1005		28,3	22,0	1,25	1,3	1xPo/Sp 4xPo/CF	88,39	53,21	
A1.2	22x150	LC20/22	5	11,12	150,5	446,0	1005		30,8	22,0	1,28	1,3	5xPo/Sp	87,26	54,27	
A2.1	16x50	LC40/44	8	6,07	49,7	185,0	553,7		40,9	44,0	1,75	1,7	8xCF	49,05	40,85	
A2.2	16x50	LC40/44	8	10,13	50,2	185,0	553,7		37,4	44,0	1,75	1,7	8xCF	29,22	21,07	
A2.1	10x75	LC40/44	6	9,23	75,4	150,0	412,3		43,2	44,0	1,74	1,7	6xCF	49,21	35,16	
A2.2	10x75	LC40/44	6	10,46	75,4	150,0	412,3		41,6	44,0	1,76	1,7	5xCF 1xS	52,48	35,50	
A2.1	16x75	LC40/44	4	5,33	74,7	185,0	553,7		40,9	44,0	1,75	1,7	4xCF	62,59	49,38	T5+6 vorgeschädigt!
A2.2	16x75	LC40/44	6	6,54	74,8	185,0	553,7		37,4	44,0	1,75	1,7	6xCF	45,79	36,53	
A2.1	22x75	LC40/44	6	9,51	74,5	250,0	1005		43,2	44,0	1,74	1,7	6xCF	51,54	36,38	
A2.2	22x75	LC40/44	6	16,98	75,8	250,0	1005		41,6	44,0	1,76	1,7	6xCF	67,35	31,98	
A2.1	16x100	LC40/44	8	4,79	100,5	185,0	553,7		43,9	44,0	1,72	1,7	8xCF	60,90	52,87	
A2.2	16x100	LC40/44	4	4,77	100,9	185,0	553,7		44,7	44,0	1,71	1,7	4xCF	62,52	50,71	
A3.1	10x75	LC20/22	2	9,57	74,9	150,0	412,3		21,3	22,0	1,28	1,3	2xCF	21,57		
A3.2	10x75	LC20/22	3	3,54	76,0	150,0	412,3		22,9	22,0	1,28	1,3	3xCF	17,90	14,54	
A3.3	10x75	LC20/22	2	1,02	76,0	150,0	412,3		22,6	22,0	1,28	1,3	2xCF	23,25		
A3.4	10x75	LC20/22	1		75,4	150,0	412,3		23,1	22,0	1,28	1,3	1xCF	18,50		
A3.1	16x50	LC20/22	3	16,76	50,4	185,0	553,7		22,6	22,0	1,28	1,3	3xCF	10,78	1,18	
A3.2	16x50	LC20/22	3	4,60	50,7	185,0	553,7		23,1	22,0	1,28	1,3	3xCF	11,15	8,43	
A3.3	16x50	LC20/22	6	5,89	50,3	185,0	553,7		20,2	22,0	1,25	1,3	6xCF	11,24	9,19	
A3.1	16x75	LC20/22	6	4,11	75,1	185,0	553,7		21,3	22,0	1,28	1,3	6xCF	18,57	16,21	
A3.2	16x75	LC20/22	6	6,94	76,1	185,0	553,7		22,9	22,0	1,28	1,3	6xCF	17,90	14,06	
A3.1	22x75	LC20/22	1		76,4	250,0	1005		22,6	22,0	1,28	1,3	1xCF	19,33		
A3.2	22x75	LC20/22	2	6,71	75,8	250,0	1005		23,1	22,0	1,28	1,3	2xCF	18,03		
A3.3	22x75	LC20/22	4	9,79	76,2	250,0	1005		20,2	22,0	1,25	1,3	4xCF	18,44	11,30	

### 3.1.2 Last-Verformungsverhalten

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch das Last-Verformungsverhalten im Versuch 1 der Größe d10x75 im niederfesten ungerissenen Leichtbeton LC 20/22.

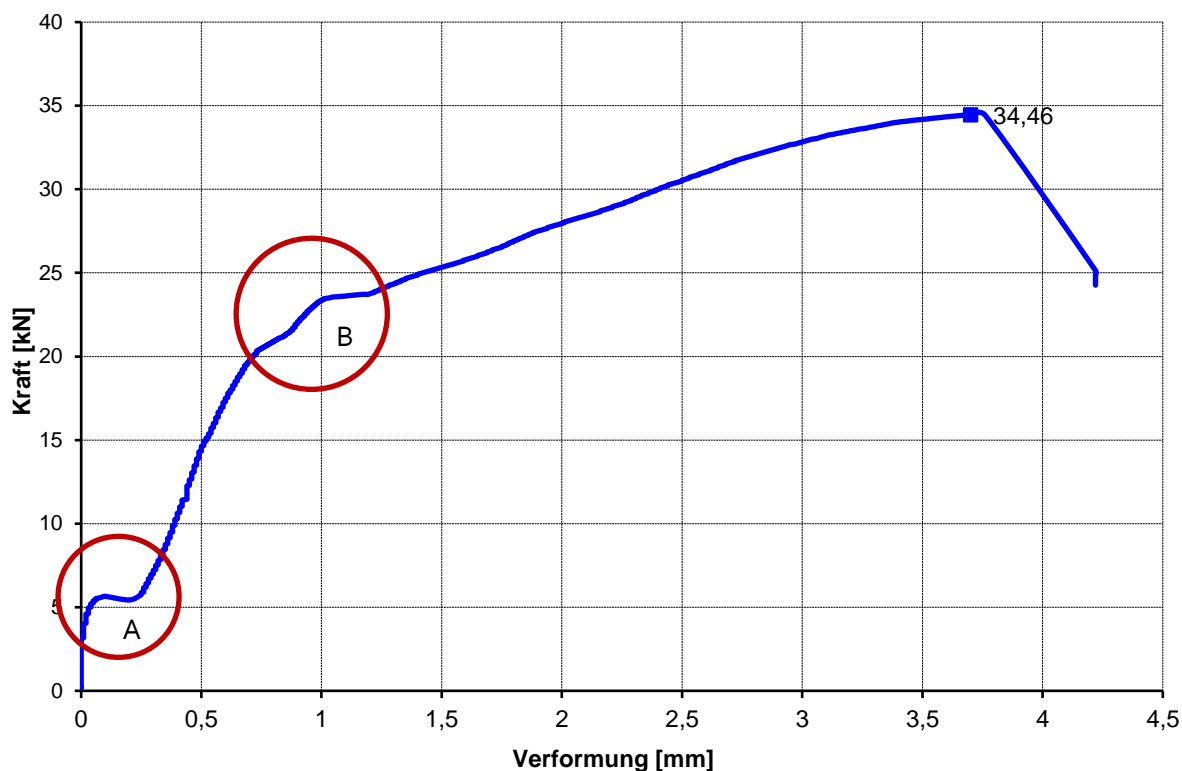


Abbildung 5 Last-Verformungsverhalten im niederfesten Leichtbeton – d10x75 - 1

Die erste Auffälligkeit im Last-Verformungsverhalten ist in Abbildung 5 mit der Stelle A gekennzeichnet. Bei einer Last von etwa 5 kN bricht in Abhängigkeit von der Größe der Kopffläche das poröse Gerüst innerhalb der Zuschlagkörner zusammen und es kommt zur Kompression des unmittelbaren Lasteinleitungsbereichs. Die folgende Abbildung 6 zeigt den Kompressionsbereich. Abbildung 6 zeigt auf der rechten Seite außerdem einen Kopfbolzen nach dem Versuch. Es ist deutlich die Relativverschiebung zwischen Kopfbolzen und Betonoberfläche zu erkennen, die ebenfalls die Kompression im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich belegt. Die dargestellte Mutter diente ursprünglich der Sicherung des Kopfbolzens in der Schalung und saß daher vor dem Versuch bündig versenkt in der Betonoberfläche.

Im Punkt B kommt es zu einer weiteren Verringerung der Steifigkeit, deren Ursache in der Rissbildung innerhalb des Ausbruchkegels zu suchen ist. Im Gegensatz zum Normalbeton überwiegen radial verlaufende Risse, die beispielhaft in Abbildung 7 gezeigt sind.

Der dargestellte Ablauf des Versagensprozesses ist ebenfalls durch die Form des Ausbruchkegels belegt. Zunächst sorgt das Zusammenbrechen des Korngerüsts für die Kompression des unmittelbar beanspruchten Leichtbetons. Am Ende dieser Kompression setzt dann die Rissbildung des Ausbruchs an.

Eine weitere Auffälligkeit ist ebenfalls in Abbildung 6 dargestellt. Die Neigung der Mantellinie des Ausbruchkegels liegt bei den Verankerungen in Leichtbeton bei etwa  $20^\circ$  zur Ebene der Betonoberfläche, während sie bei Normalbeton üblicherweise bei etwa  $37,5^\circ$  [11] liegt.

Auch die Form der Ausbruchfläche an der Oberfläche ist im Vergleich zum Normalbeton verändert. Während auf der einen Seite die Ausbruchkegelteile die Abstützung berühren oder sogar darunter verlaufen, gibt es auf der anderen Seite keine Berührung mit der Abstützung.

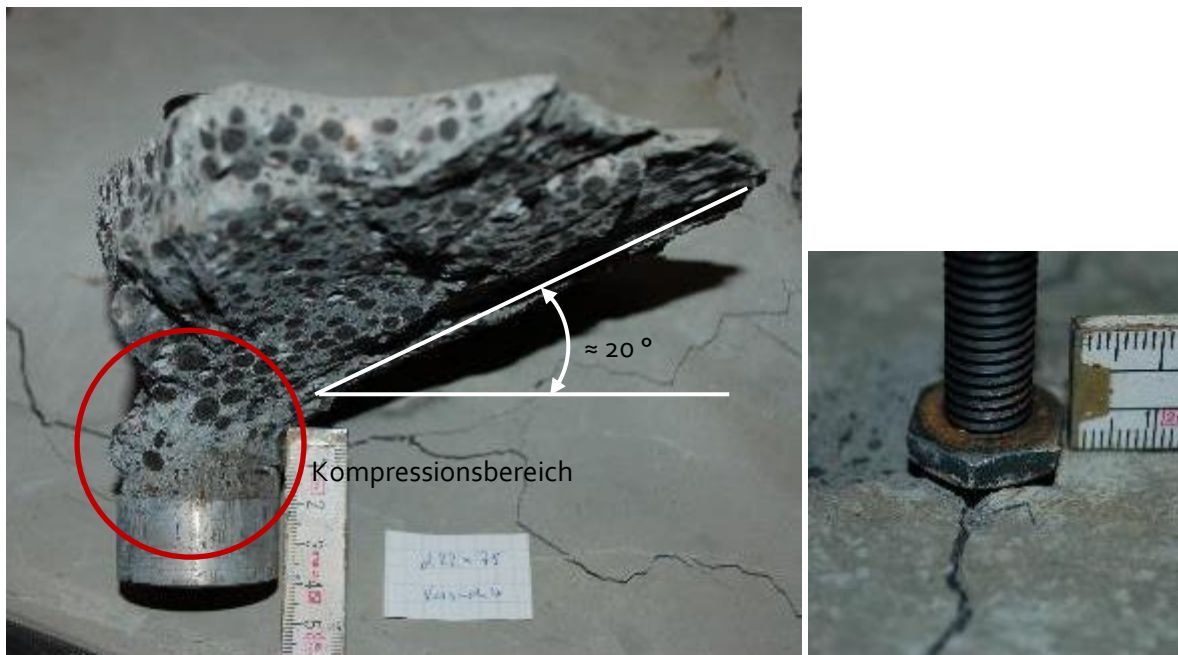


Abbildung 6 Teil eines Ausbruchkegels – niederfester Leichtbeton LC 20/22

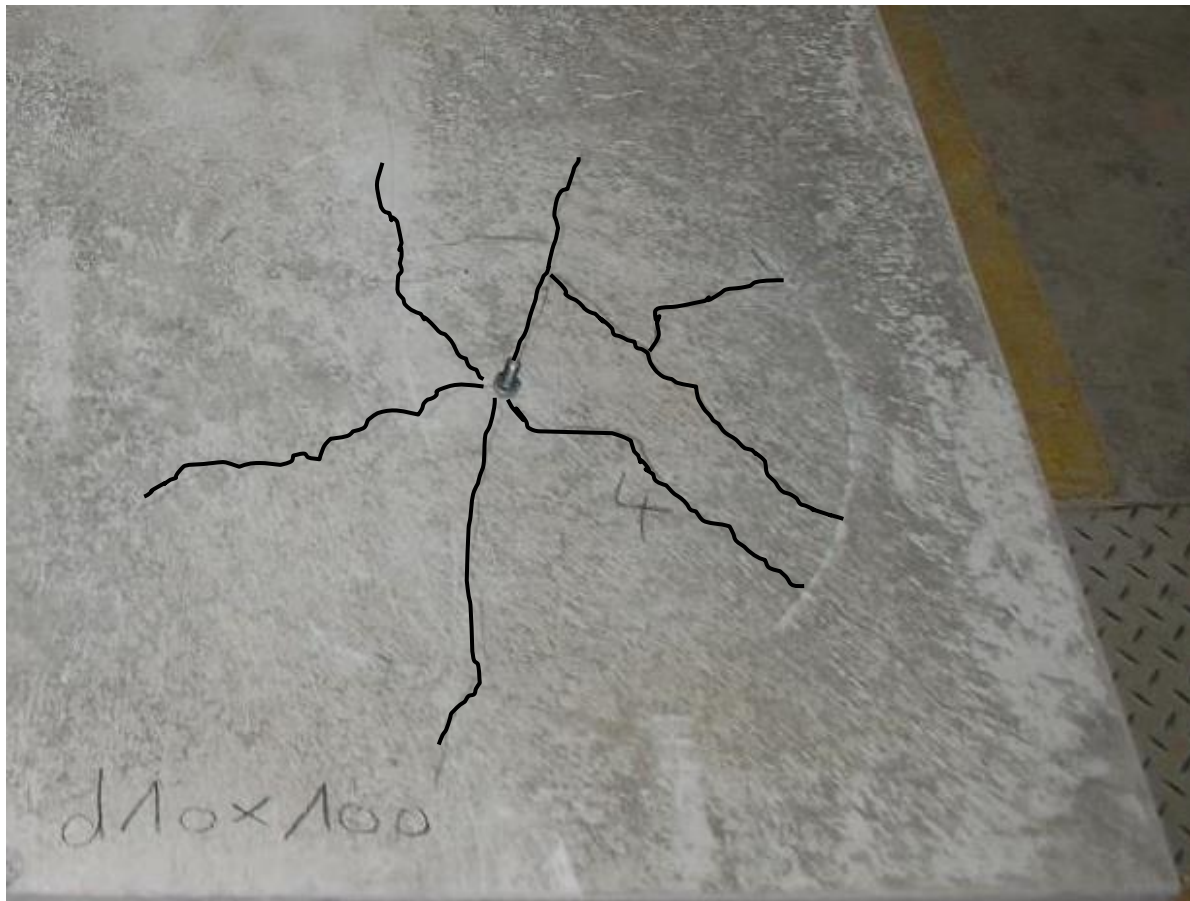


Abbildung 7 Radialrisse im Ausbruchkegel – niederfester Leichtbeton LC 20/22

Im festeren ungerissenen Leichtbeton LC 40/44 ist die Kompression der Zuschläge nicht mehr so deutlich, da die Zuschläge durch eine höhere Festigkeit keine mit dem niederfesten Leichtbeton vergleichbare Kompression erfahren (Bereich A). Die folgende Abbildung 8 zeigt das Last-Verformungsverhalten im Versuch A2.1-1 der Größe d16x50.

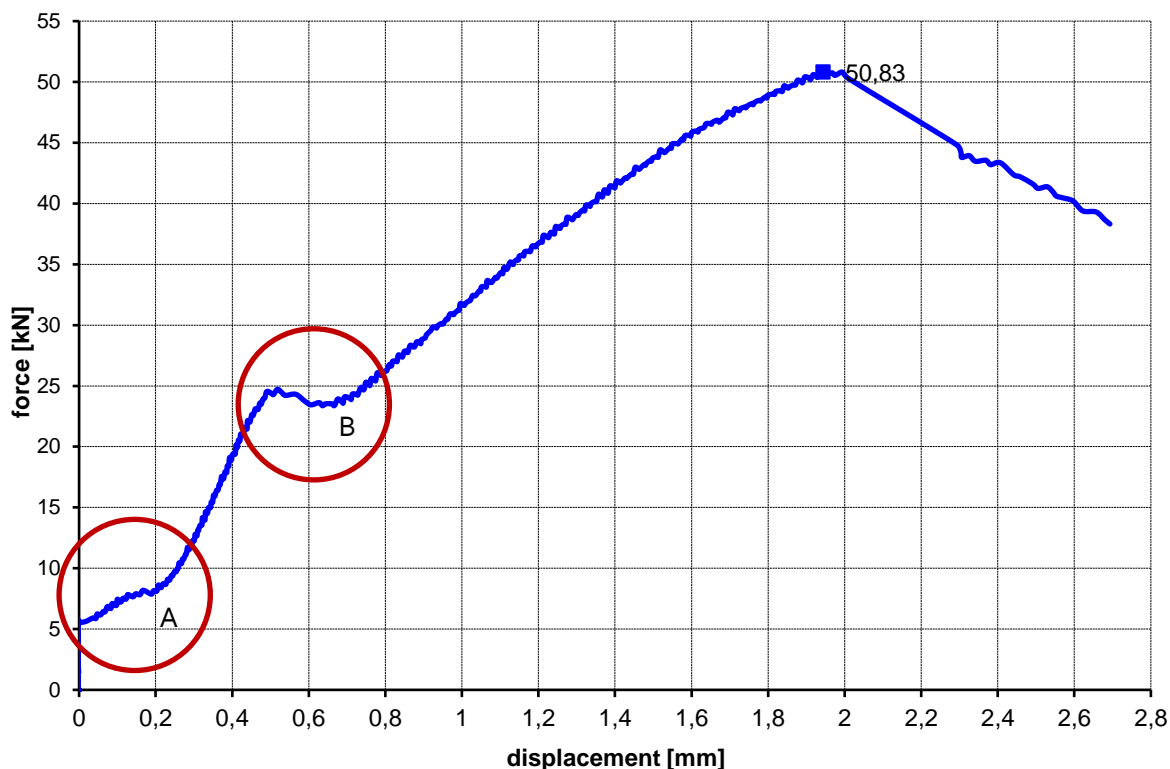


Abbildung 8 Last-Verformungsverhalten im festeren Leichtbeton LC 40/44 – d16x50 – 1

Ein deutlich ausgeprägter Kompressionsbereich, wie im niederfesten Leichtbeton im A1-Versuch, ist bei den Versuchen im höher festen Leichtbeton nicht feststellbar. Die folgende Abbildung zeigt den Ausbruchkegel im ersten A2-Versuch der Größe d16x50.



Abbildung 9 Ausbruchkegel im festeren Leichtbeton LC 40/44 – d16x50 – 1

Die Rissbildung läuft im Leichtbeton höherer Festigkeit LC 40/44 analog zur Rissbildung im niederfesten Beton ab. Auch hier zeigen sich deutlich mehr Radialrisse, die im Leichtbeton höherer Festigkeit häufig auch die Tragfähigkeit begrenzen. Die folgende Abbildung 10 zeigt die Versuche 1

und 5 der Größe  $d_{22 \times 75}$  im höherfesten Leichtbeton LC 40/44. Bei beiden Versuchen zeigt die Last-Verformungskurve ein erstes Maximum bei etwa 48 kN und einen anschließenden steilen Lastabfall, der auf die Radialrissbildung hindeutet. Im Versuch 5 ist im Gegensatz zu Versuch 1 aber noch eine anschließende Laststeigerung auf etwa 61 kN möglich, während bei Versuch 1 das zweite Maximum lediglich einen Wert von 42 kN erreicht.

Es ist daher erforderlich, das erste Maximum der Versuche im höherfesten Leichtbeton LC 40/44 als Versagen durch Rissbildung zu definieren, da mögliche weitere und höhere Maxima nicht zuverlässig reproduziert werden können.

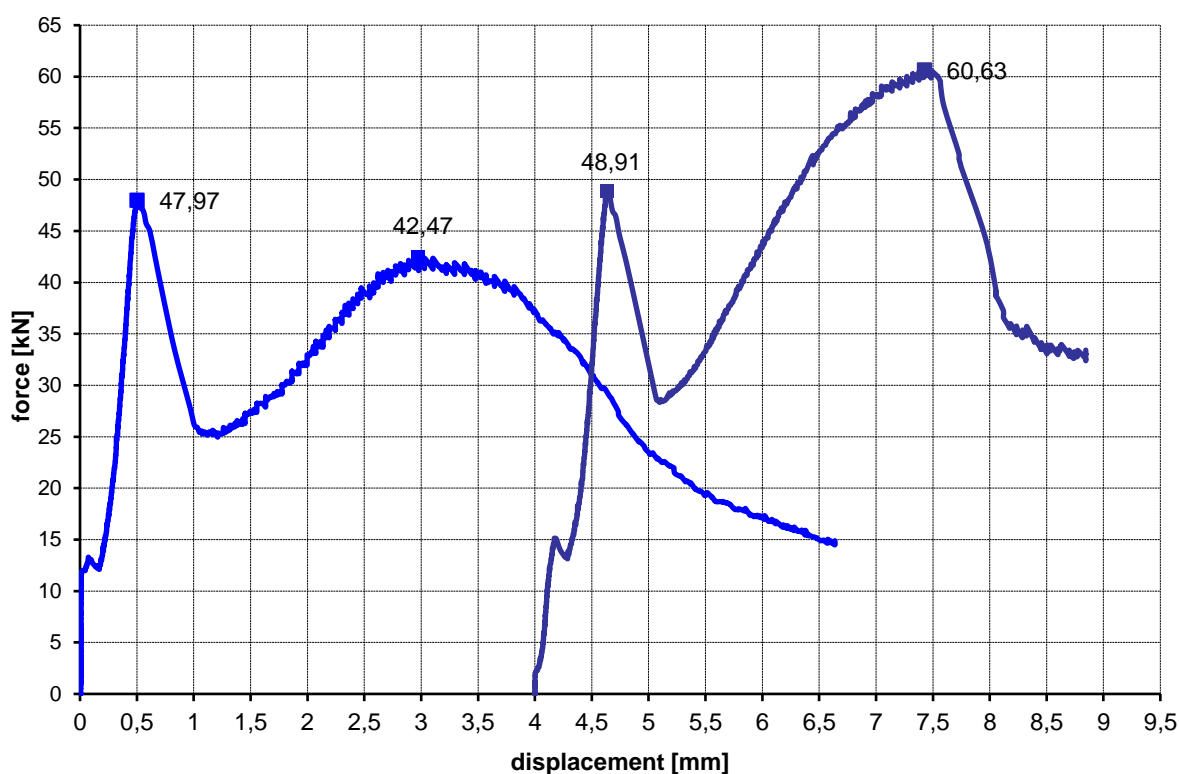


Abbildung 10 Last-Verformungsverhalten im A2.1 Test –  $d_{22 \times 75}$  – 1 und 5

Die Versuche im gerissenen niederfesten Leichtbeton LC 20/22 ,A3' zeigen kaum Kompression, sondern hauptsächlich eine Verringerung der Steifigkeit durch Rissbildung. Im A1-Versuch mit der Größe  $d_{10}$  liegt der Kompressionsbereich für die drei untersuchten Verankerungstiefen 50 mm, 75 mm und 100 mm zwischen 4 kN und 5 kN. In den A3-Versuchen der Größe  $d_{10}$  ist dieser Bereich nicht zu erkennen.

Bei der Größe  $d_{16}$  liegt der Kompressionsbereich, dessen Höhe sich aus den A1-Versuchen ableiten lässt, bei einer Last von etwa 12 kN bis 16 kN und daher etwa auf dem Niveau des Versagens der A3-Versuche. Bei der Größe  $d_{22}$  liegt die Versagenslast in den A3-Tests ebenfalls etwa auf dem Niveau der Kompression aus dem A1-Versuch.

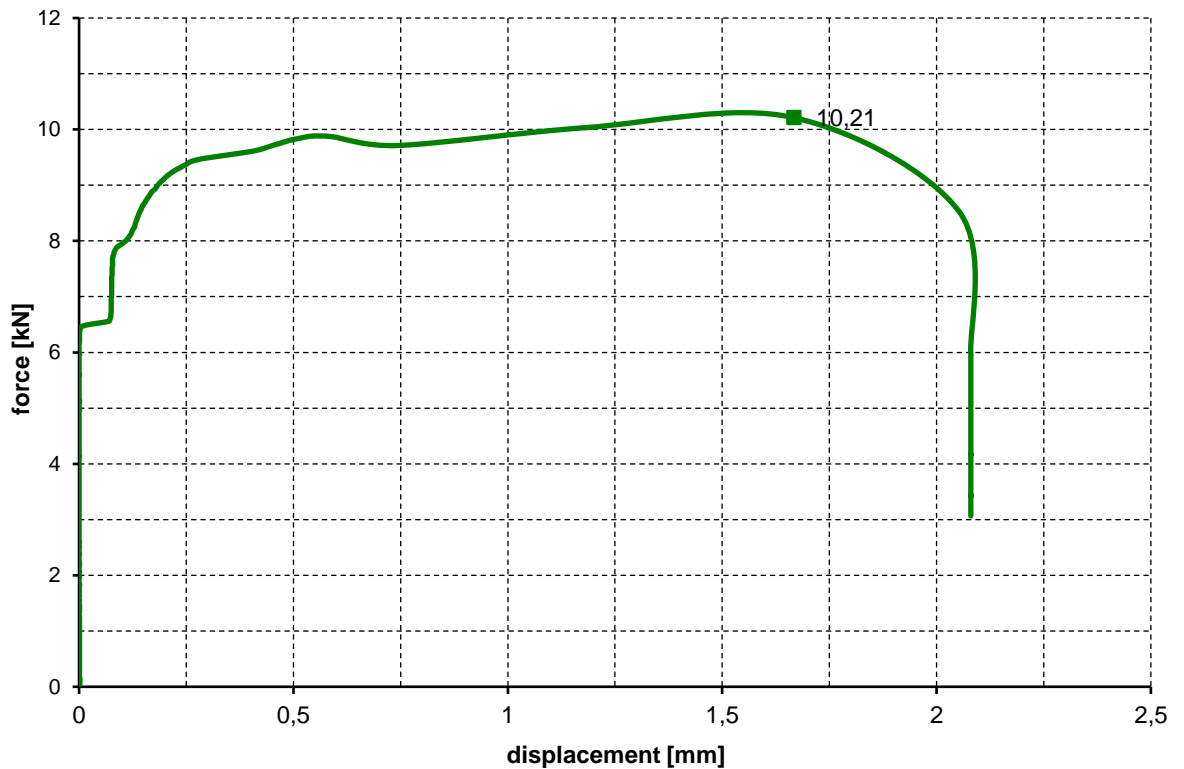


Abbildung 11 Last-Verformungsverhalten im A<sub>3</sub> Test – d16x50 – 2

Die Bruchfläche entlang des Kopfbolzens d16x50 im A<sub>3</sub>-Versuch (niederfest – gerissen) ist in der folgenden Abbildung gezeigt. Auch hier ist kein Kompressionsbereich zu erkennen.



Abbildung 12 Fehlender Kompressionsbereich im A<sub>3</sub> Test – d16x50 – 2

Es kann gefolgert werden, dass die Rissbildung maßgeblich für die Tragfähigkeit der Verankerung war und die lokale Tragfähigkeit der Zuschläge höher lag, als die Systemtragfähigkeit. Dieses Erkenntnis lässt sich ebenfalls durch die A<sub>1</sub>-Versuche an der Größe d16 verifizieren, da die Kompression der Zuschläge bei der Größe d16 im A<sub>1</sub>-Versuch bei einer Last von etwa 14 kN beginnt.

Es liegt somit der Schluss nahe, dass die Rissbildung der maßgebliche Faktor für die Begrenzung der Tragfähigkeit ist und die lokale Festigkeit des Zuschlags in diesen Versuchen lediglich eine untergeordnete Rolle spielt.

### 3.1.3 Bewertung der Ergebnisse der A1-Versuche – niederfester, ungerissener Leichtbeton

Die Ergebnisse der Versuche im ungerissenen, niederfesten Leichtbeton der Festigkeitsklasse LC 20/22 zeigen sowohl eine Abhängigkeit von der Verankerungstiefe als auch von der Kopffläche. Im folgenden Diagramm ist die Abhängigkeit der Versuchsergebnisse der einzelnen Kopfbolzengrößen von der Verankerungstiefe dargestellt. Außerdem ist die theoretische Tragfähigkeit im Normalbeton der gleichen Festigkeit gezeigt. Die Kompression wurde dabei außer Acht gelassen, d. h. es erfolgte keine rechnerische Anpassung der Verankerungstiefe.

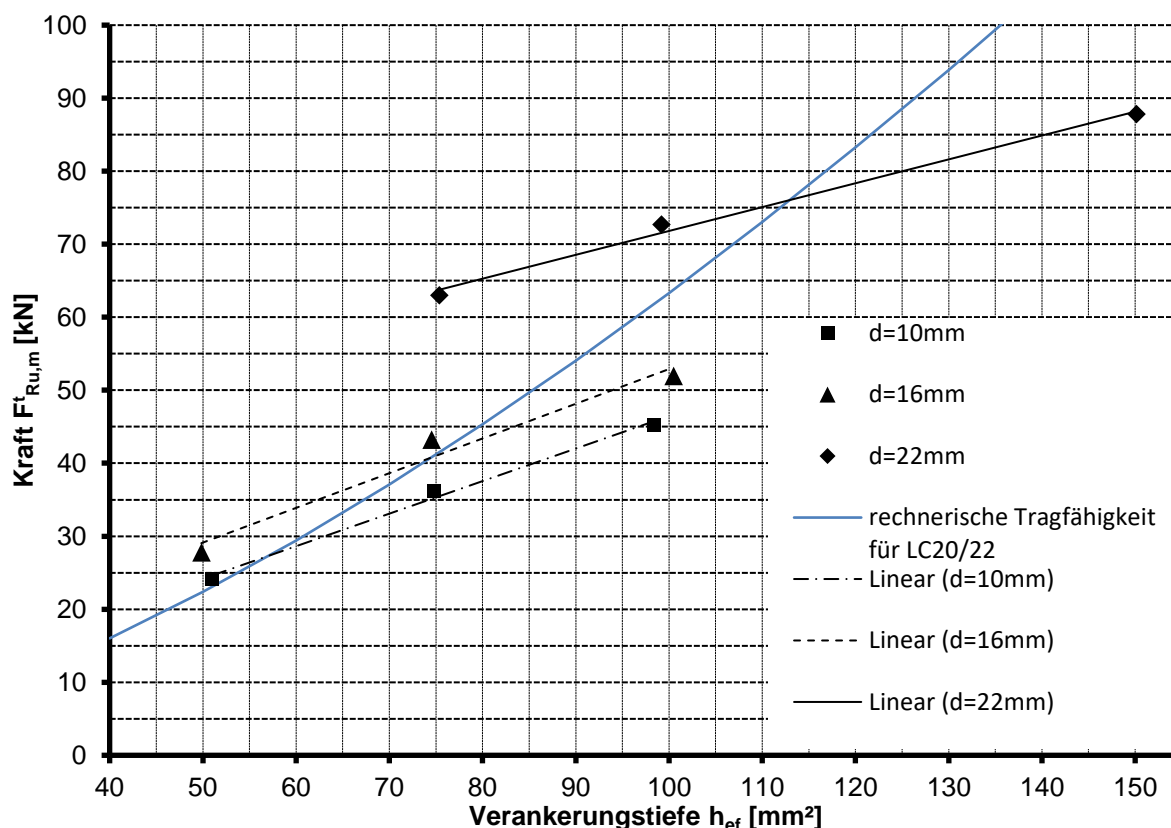


Abbildung 13 Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der Verankerungstiefe – A1-Tests

Es zeigt sich, dass sich für die drei Größen jeweils ein linearer Trend der mittleren Versagenslast über die Verankerungstiefe ableiten lässt. Darüber hinaus wird jedoch auch deutlich, dass es zusätzliche Parameter für die Ableitung einer Bemessungsformel geben muss, da sich für gleiche Verankerungstiefen unterschiedliche Tragfähigkeiten abhängig vom Durchmesser ergeben.

Zusätzlich wird durch den Vergleich mit der Bemessung nach CEN [2] unter der Berücksichtigung einer Festigkeit von  $f_{ic} = 22 \text{ N/mm}^2$  deutlich, dass der derzeitige Ansatz zur Bemessung nicht ohne Modifikation auf Verankerungen in Leichtbeton übertragbar ist.

Der Ausgangspunkt des Versagens liegt am Rand des Kopfes des Kopfbolzens, so dass mit steigender Kopffläche auch eine größere Mantelfläche des Ausbruchkegels und folglich eine höhere Tragfähigkeit folgt. Als weiterer Parameter, der die Tragfähigkeit beeinflusst, wurde daher die wirksame Kopffläche  $A_H$  untersucht. Die folgende Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Versuchsergebnisse von der wirksamen Kopffläche  $A_H$  der Kopfbolzen.



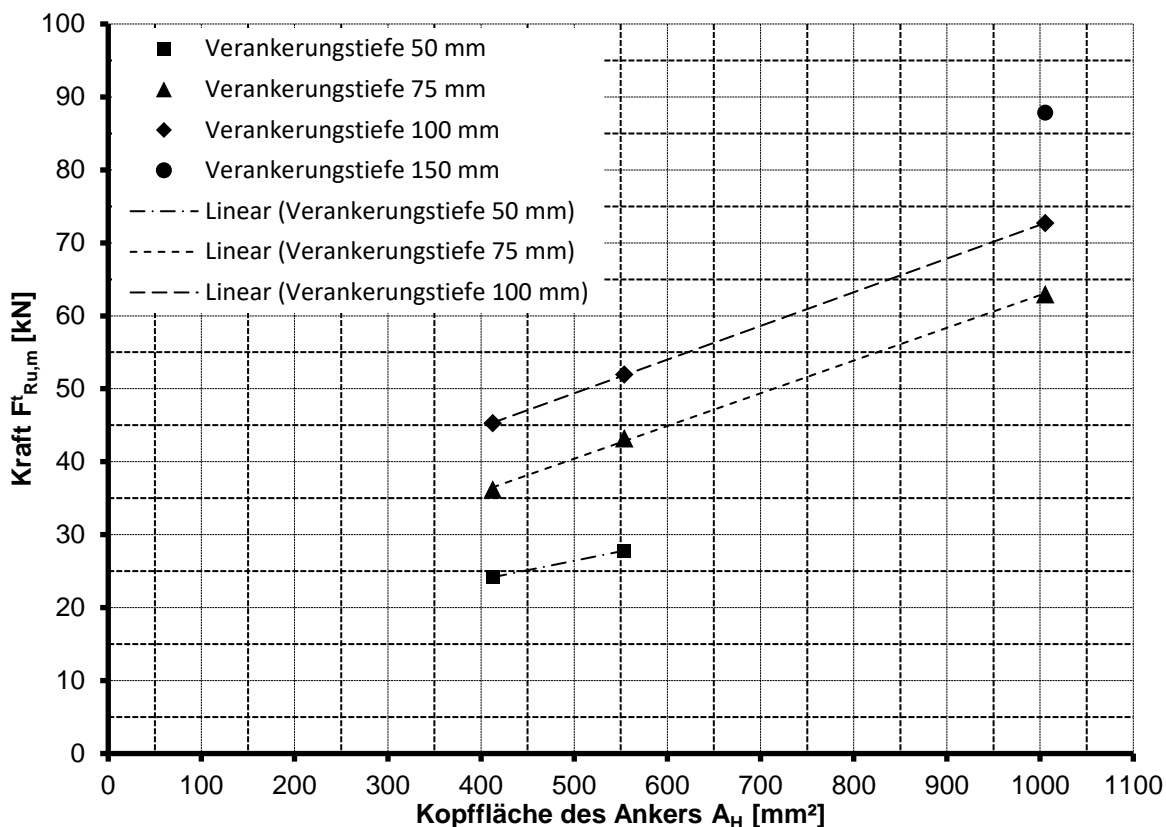


Abbildung 14 Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der wirksamen Kopffläche – A1-Tests

In diesem Diagramm zeigt sich ebenfalls, analog zu Abbildung 13, ein bereichsweise linearer Trend zwischen mittlerer Tragfähigkeit und der wirksamen Kopffläche der Verankerung. Eine Kombination beider Einflussgrößen scheint daher naheliegend.

Durch Iteration der Parameter ergibt sich eine Kombination beider Einflussgrößen gemäß folgender Proportionalitätsbeziehung.

$$F_{Ru,m} \sim (h_{ef}^{1,5} + A_H) \quad (3-1)$$

Die folgende Abbildung 15 stellt die mittleren Versagenslasten im Versuch der Summe aus wirksamer Kopffläche und der dritten Wurzel des Quadrats der effektiven Verankerungstiefe gegenüber.

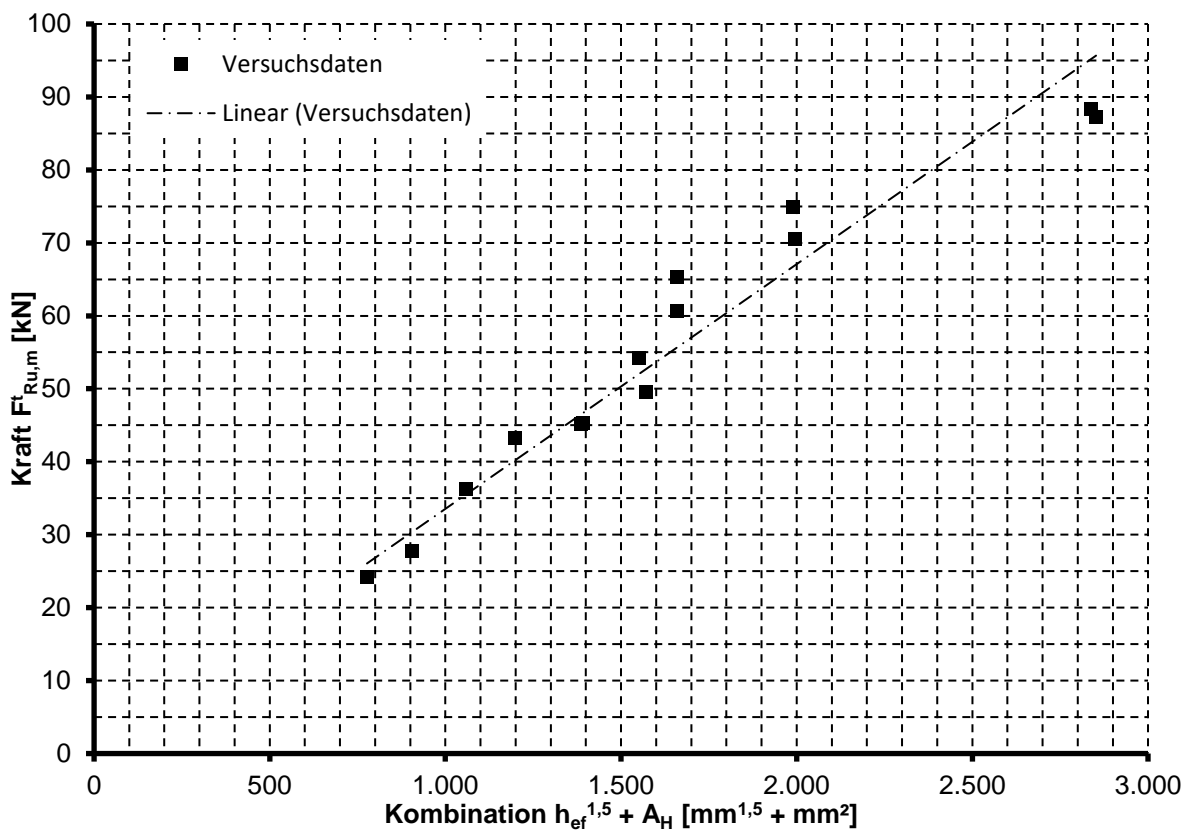


Abbildung 15 Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der Summe aus wirksamer Kopffläche und Verankerungstiefe<sup>1,5</sup> – A1-Tests

Abbildung 15 verdeutlicht, dass sich die mittleren Versagenslasten sehr gut durch einen linearen Trend in Abhängigkeit von der Summe aus der dritten Wurzel des Quadrats der Verankerungstiefe  $h_{ef}^{1,5}$  sowie der wirksamen Kopffläche  $A_H$  abbilden lassen. Die Gültigkeit des Trends ist dabei auf den untersuchten Bereich eingegrenzt.

Aufgrund der empirischen Herleitung dieser Abhängigkeit ergibt sich keine einheitenkonforme Lösung, deren Anwendbarkeit zunächst auf den untersuchten Bereich einzuschränken ist.

### 3.1.4 Bewertung der Ergebnisse der A<sub>3</sub>-Versuche – niederfester, gerissener Leichtbeton

Im gerissenen Leichtbeton der Festigkeitsklasse LC 20/22 wurden hauptsächlich Versuche mit einer Verankerungstiefe von 75 mm durchgeführt. Zusätzlich wurde die Größe d16x50 untersucht. Die Rissbreite in allen Versuchen betrug  $\Delta w = 0,30$  mm. Es wurde davon ausgegangen, dass die Rissbreiten im Leichtbeton denen im Normalbeton ähneln.

Bei diesen Versuchen war, im Vergleich zu den Versuchen im ungerissenen niederfesten Leichtbeton, kein Einfluss der wirksamen Kopffläche mehr erkennbar. Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich mit den Versuchen im ungerissenen Leichtbeton LC 20/22 (A<sub>1</sub>-Tests) und der rechnerischen Tragfähigkeit nach CEN [2] im gerissenen Normalbeton der Festigkeit 22 N/mm<sup>2</sup>.

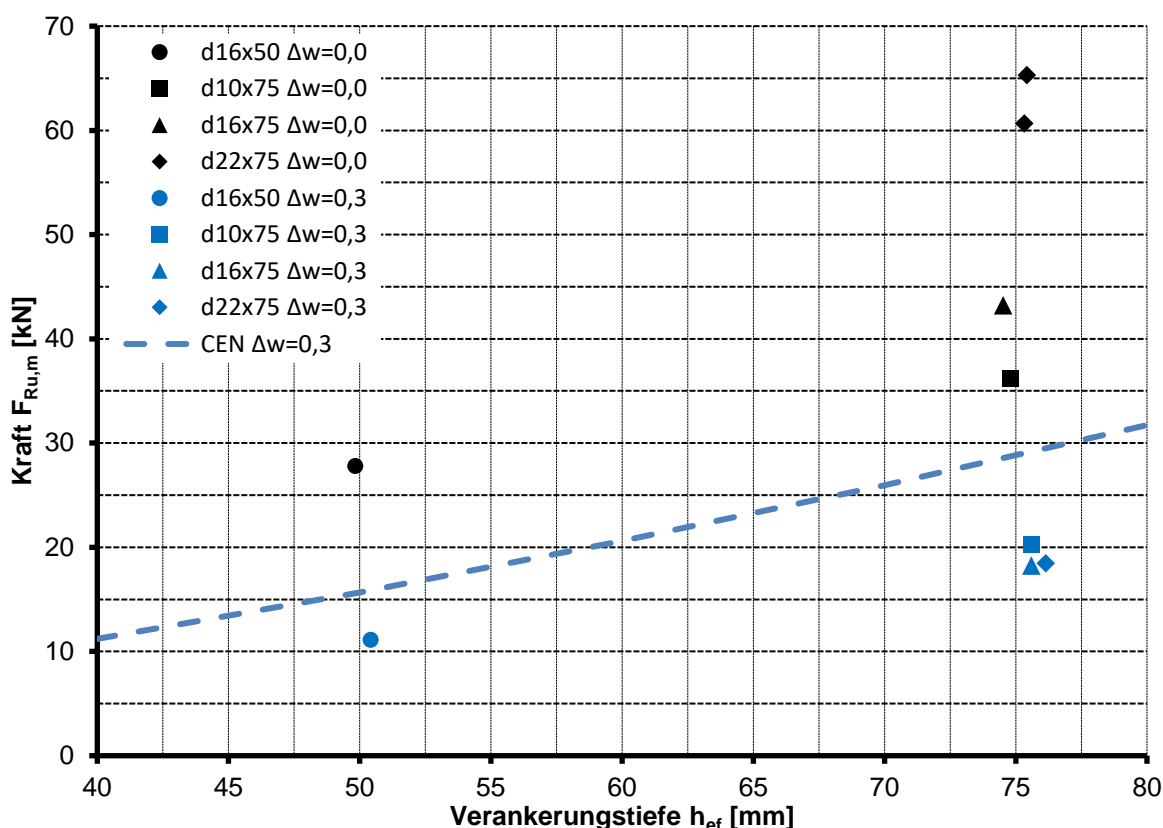


Abbildung 16 Vergleich der mittleren Versagenslasten in ungerissenen und gerissenen Leichtbeton – A<sub>1</sub>- und A<sub>3</sub>-Tests

Im Normalbeton beträgt das Verhältnis der Tragfähigkeiten im ungerissenen und gerissenen Beton etwa 0,7 [1, Anhang B, Gleichungen (2.3) und (2.4)]. Aus Abbildung 16 lässt sich ableiten, dass dieses Verhältnis im Leichtbeton LC 20/22 deutlich geringer zu sein scheint. Die folgende Abbildung zeigt das Verhältnis  $\alpha_m$  der mittleren Tragfähigkeiten im ungerissenen und gerissenen Beton in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe.

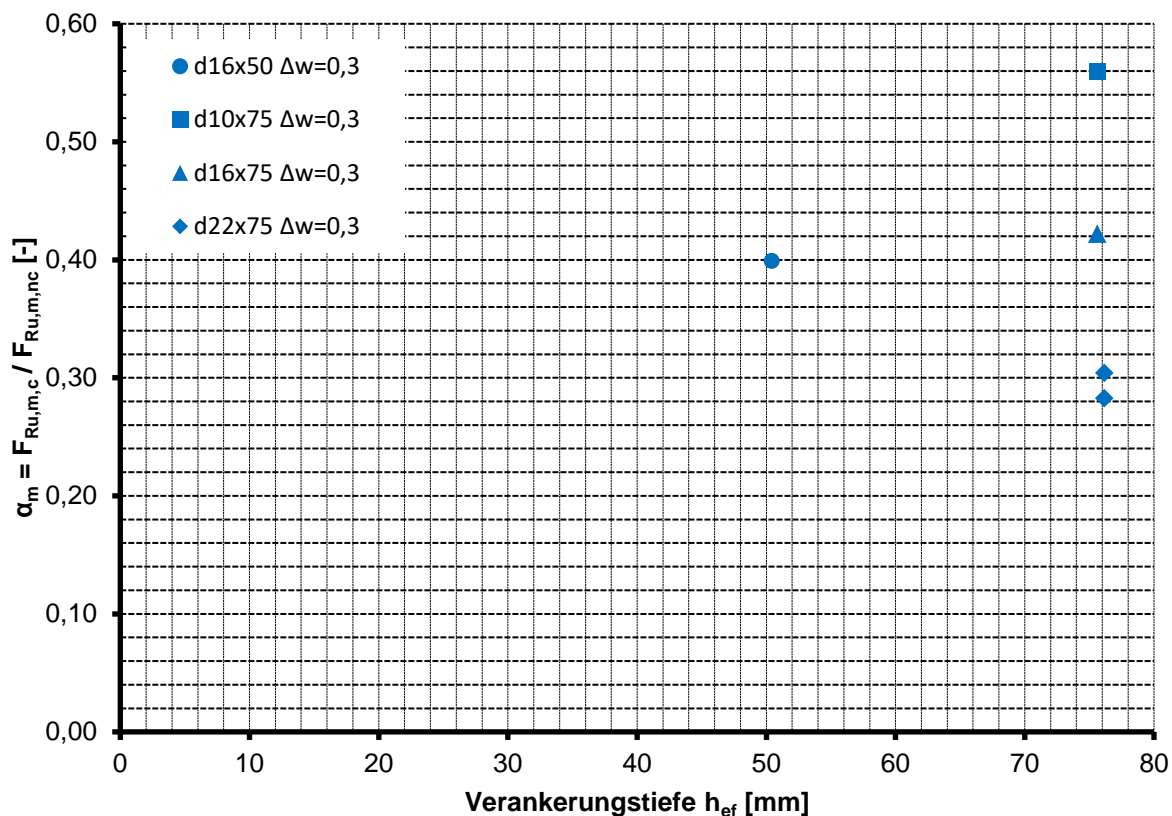


Abbildung 17 Verhältnis der mittleren Versagenslasten in ungerissenem und gerissenem Leichtbeton in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe – A<sub>1</sub>- und A<sub>3</sub>-Tests

Der Grund für das unterschiedliche Tragverhalten zwischen ungerissenem und gerissenem Leichtbeton konnte nicht ermittelt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass die geringere Zugfestigkeit des Leichtbetons im Vergleich zum Normalbeton ein wesentlicher Grund ist.

Aber die Abhängigkeit der mittleren Versagenslast von der dritten Wurzel des Quadrats der Verankerungstiefe konnte ermittelt werden. Es ergibt sich, dass die Ergebnisse lediglich von der Verankerungstiefe und nicht von der Kopffläche abhängen.

Eine Darstellung der mittleren Versagenslasten über der dritten Wurzel des Quadrats der Verankerungstiefe zeigt das folgende Diagramm.

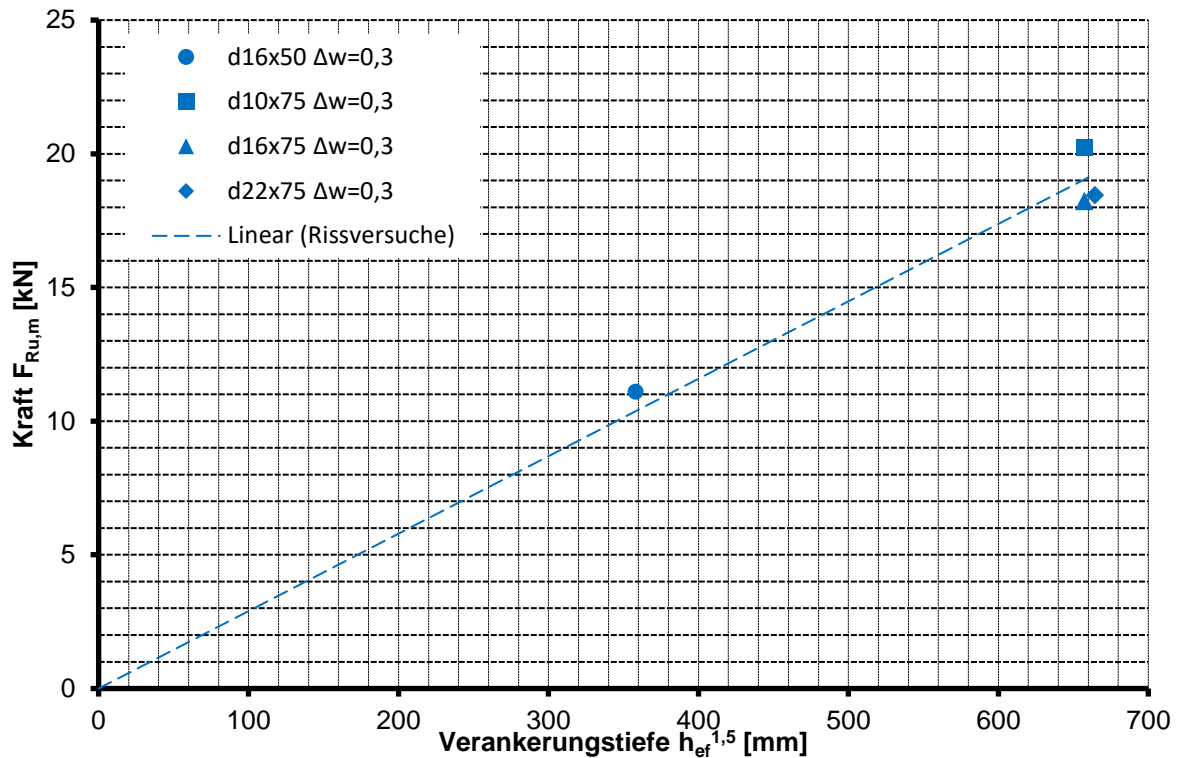


Abbildung 18 Abhängigkeit der mittleren Versagenslasten von der Verankerungstiefe  $h_{ef}^{1,5}$  in gerissenem Leichtbeton – A3-Tests

Daher lässt sich die Tragfähigkeit der untersuchten Kopfbolzen im gerissenen Leichtbeton LC20/22 bei einer Rissweite von  $\Delta w = 0,3$  mm analog zur bekannten Bemessung gemäß ETAG 001 [1, Anhang C] in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe und der Festigkeit ausdrücken.

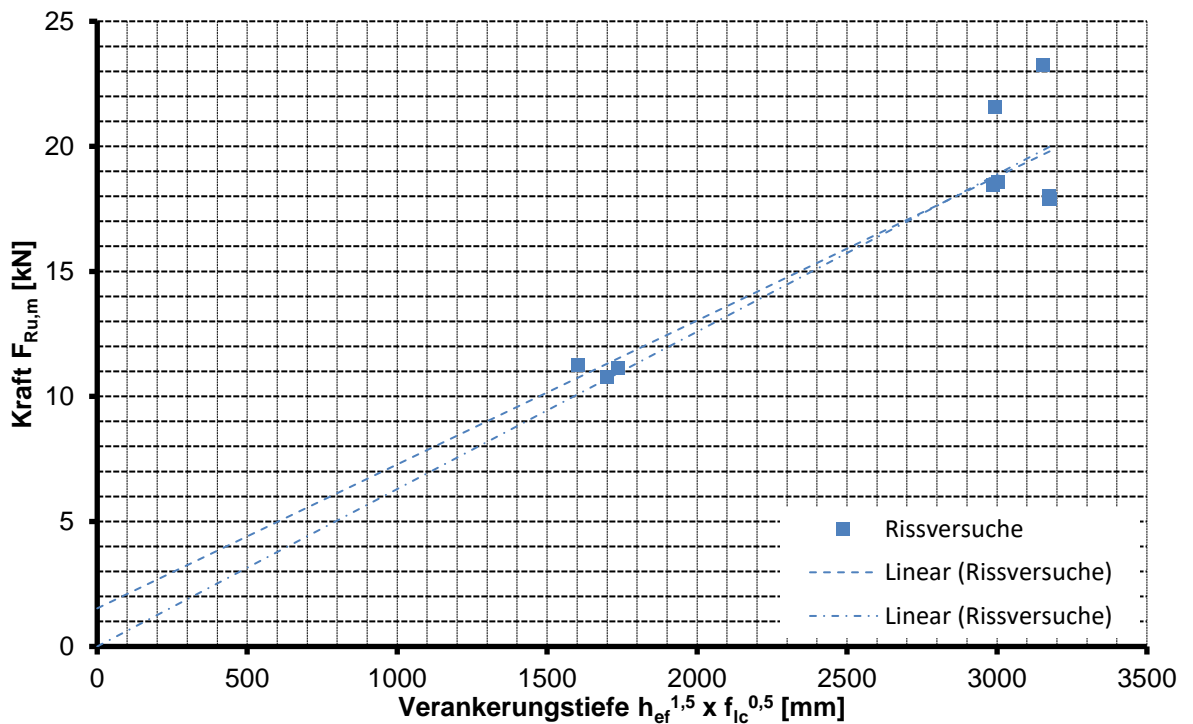


Abbildung 19 Abhängigkeit der mittleren Versagenslasten von der Verankerungstiefe<sup>1,5</sup> und der Wurzel der Festigkeit  $f_{ic}^{0,5}$  – A3-Tests

In der Abbildung 19 sind die mittleren Versagenslasten dem Produkt  $h_{ef}^{1,5} \times f_{lc}^{0,5}$  gegenüber gestellt. Außerdem werden die Mittelwerte der Versagenslasten der einzelnen Versuchsreihen mit zwei linearen Trends gezeigt. Der eine Trend bezieht nicht den Ursprung in Berechnungen ein, so dass sich ein y-Achsenabschnitt von etwa 1,5 kN ergibt. Unter Berücksichtigung des Ursprungs ergibt sich eine geringfügig höhere Steigung der Trendlinie. Mit der folgenden Gleichung (3-2) lassen sich daher die Versuchsergebnisse der A3-Versuche gut annähern.

$$F_{Ru,m}(A3) = 6,3 \times h_{ef}^{1,5} \times \sqrt{f_{lc}} \quad (3-2)$$

### 3.1.5 Bewertung der Ergebnisse der A2-Versuche – höherfester, ungerissener Leichtbeton LC 40/44

Die Versuche in Leichtbeton höherer Festigkeit LC 40/44 führten nicht zu schlüssigen Resultaten. Wie bei den Versuchen in niederfestem Leichtbeton LC 20/22 wurden die Versuche über mehrere Versuchsuntergründe verteilt, um die Streuung aus der Herstellung der Versuchsuntergründe ebenfalls zu erfassen.

Die folgende Abbildung stellt die mittleren Versagenslasten der verschiedenen Größen, Verankerungstiefen und Untergründen den Ergebnissen im niederfesten Leichtbeton LC 20/22 gegenüber.

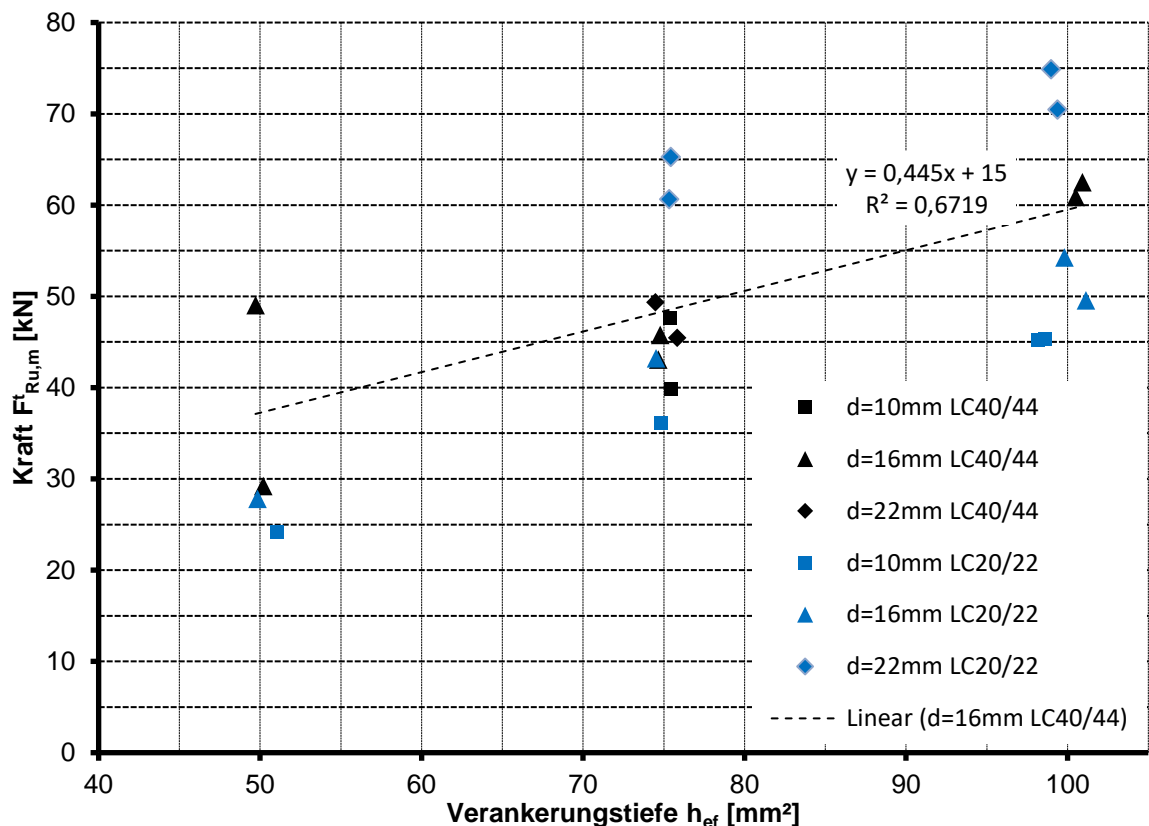


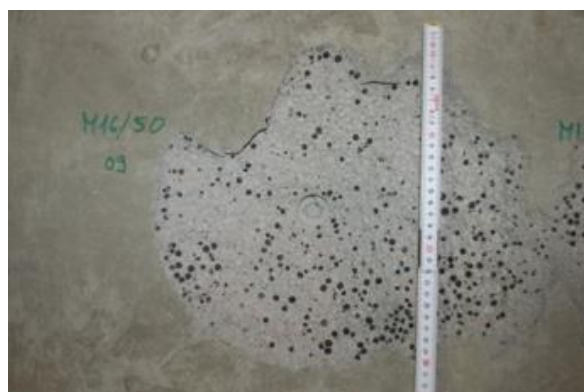
Abbildung 20 Gegenüberstellung der mittleren Versagenslasten im niederfesten Leichtbeton LC 20/22 und im höherfesten Leichtbeton LC 40/44 – A1- und A2-Tests

Abbildung 20 zeigt, dass die Ergebnisse der Größe 16 bei einer Verankerungstiefe von 50 mm und 75 mm einer großen Streuung unterliegen. Für die Größe 22 liegen die Ergebnisse im LC 40/44 zum Teil sogar unterhalb der Werte, die im LC 20/22 erzielt wurden.

Die Ergebnisse der Versuche an den Größe d16x50 und d16x75 wurden jeweils in denselben Untergründen erzielt, d. h. etwa 50 % der Versuche mit der Größe d16x50 wurden zusammen mit der Hälfte der Prüflinge der Größe d16x75 auf einer Betonplatte angeordnet. Die verbliebenen Prüfungen befanden sich gemeinsam auf einer weiteren Platte. Die Herstellung dieser Platten erfolgte aufgrund der Größe in drei Betonierabschnitten, d. h. der Leichtbeton wurde in mehreren Lagen eingebracht. Die erste Mischung fiel durch ein großes Ausbreitmaß auf und lässt daher auf einen im Vergleich mit den anderen Mischungen zu großen Wassergehalt und daher eine geringere Festigkeit schließen. Das Versagensbild einiger dieser Versuche zeigt darüber hinaus einen höheren Anteil an Verbundbrüchen entlang der Mantellinie des Ausbruchkegels. Bei den Versuchen im niederfesten Leichtbeton LC 20/22 war die Bruchfläche durch Kornbruch gekennzeichnet, d. h. Risse verliefen durch das Korn und nicht herum. Die folgende Abbildung 21 zeigt den Unterschied der Bruchflächen zwischen LC 20/22 und LC 40/44.



LC 20/22 – d22x100 – Versuch 5



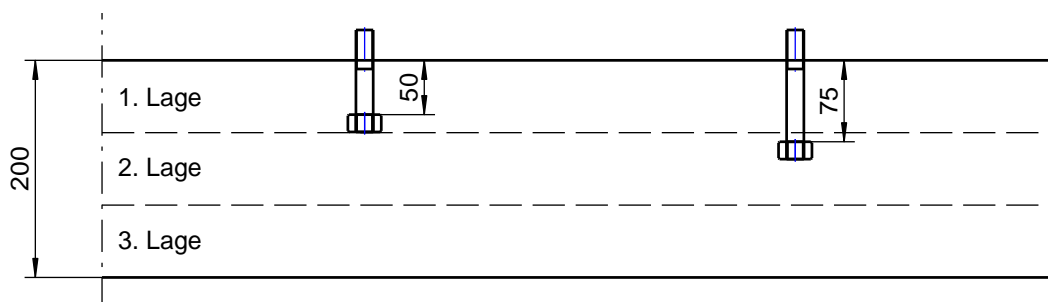
LC 40/44 – d16x50 – Versuch 9

**Abbildung 21** Vergleich der Bruchflächen im LC 20/22 und LC 40/44

Es wird deutlich, dass der Anteil gebrochener Körner innerhalb der Bruchfläche im LC 40/44 deutlich geringer ist. Im Bruchzustand war daher im LC 20/22 der Bruch des Korn maßgebend, während im Leichtbeton höherer Festigkeit LC 40/44 die Verbundzone zwischen Zementmatrix und Korn aufgrund eines zu hohen Wassergehalts versagt hat.

Zur Ermittlung der Materialeigenschaften wurden im Zuge der Betonage der Untergründe Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm hergestellt. Dabei wurden die Würfelschalungen sortenrein entsprechend der Charge befüllt. Eine Durchmischung fand nicht statt.

Aufgrund des lagenweisen Einbringens des Leichtbetons ergibt sich daher im Verankerungsbereich der Größen d16x50 aber auch d16x75, dass die Leichtbetoncharge mit dem hohen Wassergehalt und der geringen Festigkeit das Tragverhalten der Kopfbolzen maßgeblich bestimmt. Die folgende Abbildung illustriert die Schichtung im Beton aufgrund des Betonageablaufs.



**Abbildung 22** Schichtung der Betonage der Betonplatten der A2-Versuche

Als Festigkeit ist daher lediglich ein Wert von  $f_{lc} = 31,5 \text{ N/mm}^2$  berücksichtigt. Die Dicke dieser ersten Betonlage entsprach etwa der Verankerungstiefe 50 mm, so dass die Versuche mit der Größe d16x50 eine Beeinflussung zeigen, während die Versuche an der Größe d16x75 ohne Auffälligkeit sind.

Für die Versuchsreihen d10x75 und d22x75 wurde analog den vorgenannten Versuchen verfahren. Die Prüflinge wurden je zur Hälfte auf zwei Betonuntergründe verteilt. Die Größe d10x75 führt dabei zu schlüssigen Ergebnissen, da sich nur eine geringe Varianz in Abhängigkeit von der verwendeten Betonplatte zeigt. Für die Größe d22x75 hingegen liegen die Werte der ersten Teilserie etwa auf gleichem Niveau, wie die Versuche in niederfestem Beton. Die Ergebnisse der zweiten Teilserie jedoch liegen etwa 16 kN unter denen der ersten Teilserie im LC 40/44.

Es lässt sich somit keine schlüssige Erklärung für die Ergebnisse finden und eine rechnerische Ableitung der Versuchsergebnisse ist nicht möglich.

## 3.2 Ergebnisse der Versuche mit der Versagensart ‚Herausziehen‘

### 3.2.1 Übersicht

Die in diesem Abschnitt zitierten 5%-Quantile wurden auf der Basis einer Normalverteilung der Versagenslasten mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90% bestimmt. Sämtliche Versuchsergebnisse in diesem Bericht sind detailliert als Anlagen beigefügt.

In der nachfolgenden Tabelle werden folgende Abkürzungen verwendet.

n	Anzahl der Versuche
v	Variationskoeffizient der ausgewerteten Stichprobe
$h_{ef}^t$	effektive Verankerungstiefe
$a_h$	Schulterbreite
$c_1$	Randabstand im Versuch
$A_s$	maßgebender Stahlquerschnitt in Zugrichtung
$A_H$	$= \pi \times (a_h^2 + d_s \times a_h)$ in Zugrichtung wirksame Kopffläche
$f_{lc,test}$	Festigkeit der Betonuntergründe zum Versuchszeitpunkt
$f_{lc}$	Bezugsfestigkeit des Leichtbetons, bezogen auf einen Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm
$\rho_{lc,test}$	Trockenrohddichte der Betonuntergründe zum Versuchszeitpunkt
$\rho_{lc}$	Bezugsrohddichte des Leichtbetons gemäß [3]
$F_{Ru,m}$	mittlere Versagenslast der Stichprobe im Versuch
$F_{Rk,o}$	5%-Quantil der Stichprobe

Abkürzung der verschiedenen Versagensarten:

Po Versagen durch Herausziehen des Kopfbolzens ohne kegelförmigen Ausbruch

Zunächst war es erforderlich, einen geeigneten Abstützdurchmesser zur Ermittlung des Herauszieh-Widerstands zu finden. Daher wurden die ersten Versuche der Größe d10 mit einem Abstützdurchmesser von 37 mm durchgeführt. Dieser Durchmesser wurde in Analogie zu ETAG 029 [12, Annex A] zu  $1,5 \times d$  bis  $2,0 \times d$  gewählt. Es zeigte sich jedoch, dass kein Versagen durch Herausziehen mit diesem Durchmesser erreicht werden konnte. Daher wurden alle weiteren Versuche mit einem Durchmesser der Abstützung von 47 mm durchgeführt.

Die folgende Tabelle 3.2 stellt die Ergebnisse der Versuche zur Versagensart ‚Herausziehen‘ zusammen.



Test	Größe	Verankerungs- grund	n	v	h <sup>ef</sup>	a <sub>h</sub>	c <sub>1</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>H</sub>	f <sub>ic,test</sub>		f <sub>ic</sub>	ρ <sub>ic,test</sub>	ρ <sub>ic</sub>	Versagens- art	Normalverteilung	
										[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]					F <sub>Ru,m</sub>	F <sub>Rk,0</sub>
A1conf	10x75x5,0	LC20/22	5	6,68	75,0	5,0	120	78,5	235,6	26,40	22,0	22,0	1,24	1,3	5xPo	53,59	41,42
A1conf	10x75x5,0	LC20/22	4	2,33	75,0	5,0	120	78,5	235,6	28,83	22,0	22,0	1,24	1,3	4xPo	49,66	45,09
A1conf	10x75x7,5	LC20/22	4	9,47	75,0	7,5	150	78,5	412,3	27,19	22,0	22,0	1,26	1,3	4xPo	66,03	41,29
A1conf	10x75x7,5	LC20/22	5	4,45	75,0	7,5	150	78,5	412,3	23,48	22,0	22,0	1,26	1,3	5xPo	64,57	54,79
A1conf	16x75x5,0	LC20/22	5	8,51	75,0	5,0	155	201,1	329,9	26,40	22,0	22,0	1,24	1,3	5xPo	67,69	48,10
A1conf	16x75x5,0	LC20/22	5	4,13	75,0	5,0	155	201,1	329,9	28,83	22,0	22,0	1,24	1,3	5xPo	67,60	58,10
A1conf	16x75x7,5	LC20/22	5	3,44	75,0	7,5	185	201,1	553,7	27,19	22,0	22,0	1,26	1,3	5xPo	85,43	75,44
A1conf	16x75x7,5	LC20/22	5	4,44	75,0	7,5	185	201,1	553,7	23,48	22,0	22,0	1,26	1,3	5xPo	78,39	66,54
A1conf	16x75x10,0	LC20/22	3	2,15	75,0	10,0	215	201,1	816,8	24,40	22,0	22,0	1,24	1,3	3xPo	89,42	79,23
A1conf	16x75x10,0	LC20/22	5	2,66	75,0	10,0	215	201,1	816,8	22,28	22,0	22,0	1,24	1,3	5xPo	87,73	79,78
A1conf	22x75x7,5	LC20/22	4	1,49	75,0	7,5	220	380,1	695,1	24,40	22,0	22,0	1,24	1,3	4xPo	91,07	85,68
A1conf	22x75x7,5	LC20/22	5	8,50	75,0	7,5	220	380,1	695,1	22,28	22,0	22,0	1,24	1,3	5xPo	86,16	61,27

Tabelle 3.2 Ergebnisse ‚Kopfbolzen in Leichtbeton – Versagen durch Herausziehen‘

### 3.2.2 Last-Verformungsverhalten

Die folgende Abbildung 23 zeigt exemplarisch das Verformungsverhalten im Versuch A1conf.2-1 der Größe d16-75-7,5.

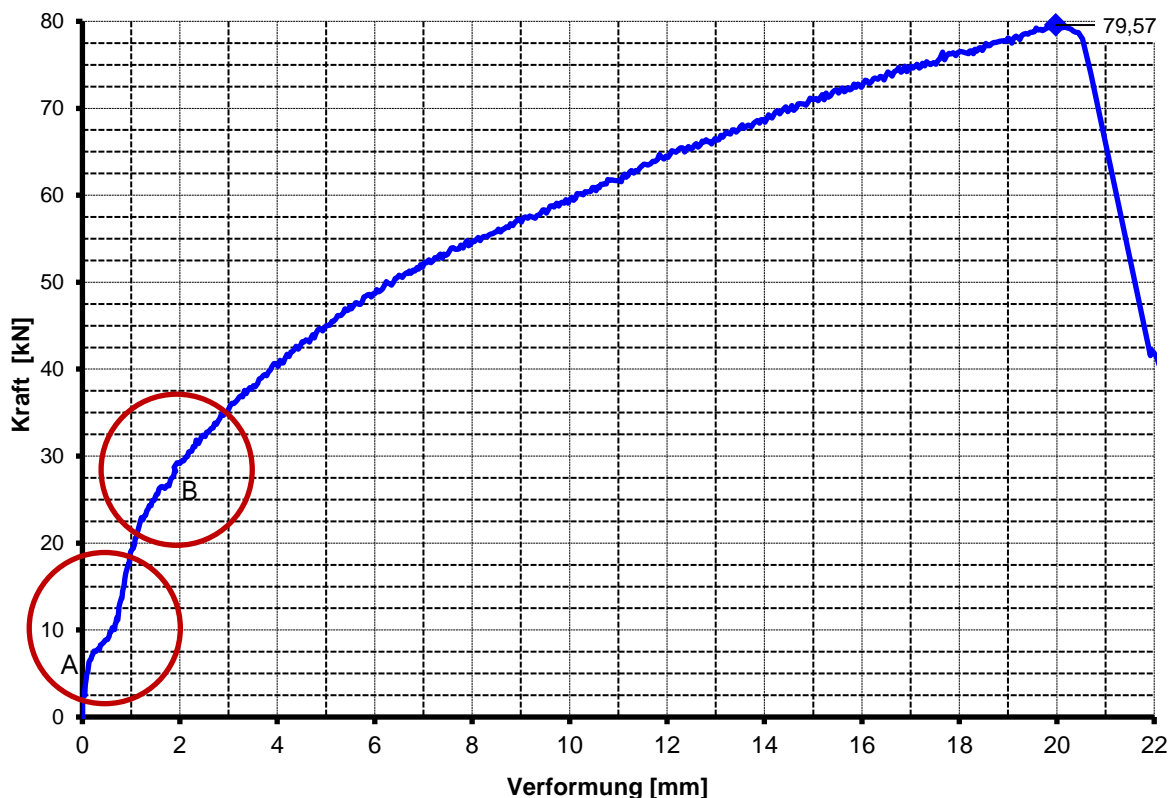


Abbildung 23 Last-Verformungsverhalten im Versuch 1 der Größe d16-75-7,5 – Serie A1conf.2

Analog den Versuchen mit weiter Abstützung (Serie A1) ist eine erste Abnahme der Steifigkeit im Lastbereich zwischen 5 kN und 10 kN zu erkennen (Bereich A). Ab einer Last von etwa 20 kN bis 25 kN (Bereich B) sinkt die Steifigkeit weiter, bis bei etwa 80 kN die Höchstlast erreicht wird. Auch Bereich B ist bereits aus den A1-Versuchen bekannt. Das Last-Verformungsverhalten bei enger Abstützung ist somit dem bei weiter Abstützung bis zu einer Last von etwa 25 kN sehr ähnlich. Die Annahme, dass zunächst der lokal hoch beanspruchte Leichtbeton in der Lasteinleitungszone am Kopf des Kopfbolzens komprimiert wird und erst im Anschluss die Rissbildung einsetzt, ist damit bestätigt.

Das Versagen in den A1conf-Versuchen ist durch eine Art Durchstanzen gekennzeichnet, das in den Anhängen und in Tabelle 3.2 als Herausziehen gekennzeichnet ist. Die folgende Abbildung 24 zeigt einen Kopfbolzen mit dem umgebenden Leichtbeton nach dem Versuch. Der Bereich des komprimierten Leichtbetons oberhalb des Bolzenkopfes ist deutlich zu erkennen. Außerdem sind die Risse zu sehen, entlang derer das Schubversagen stattgefunden hat.

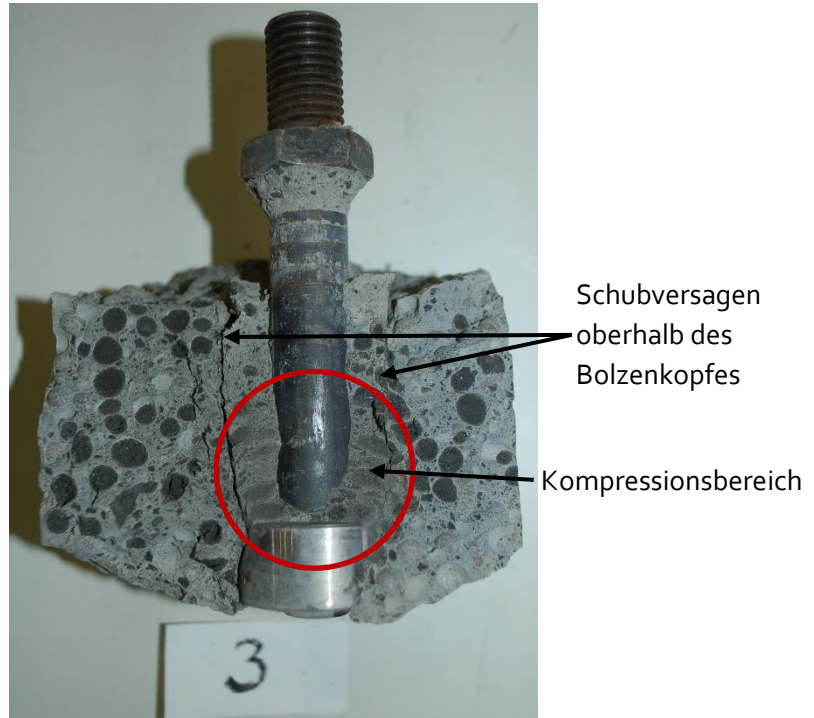


Abbildung 24 Schnitt durch die Versagensstelle – A1conf-Versuche

### 3.2.3 Bewertung der Versuche zur Versagensart ‚Herausziehen‘ – A1conf-Versuche

Die Versuche zur Versagensart ‚Herausziehen‘ zeigen eine Abhängigkeit der Versagenslast von der Schulterbreite.

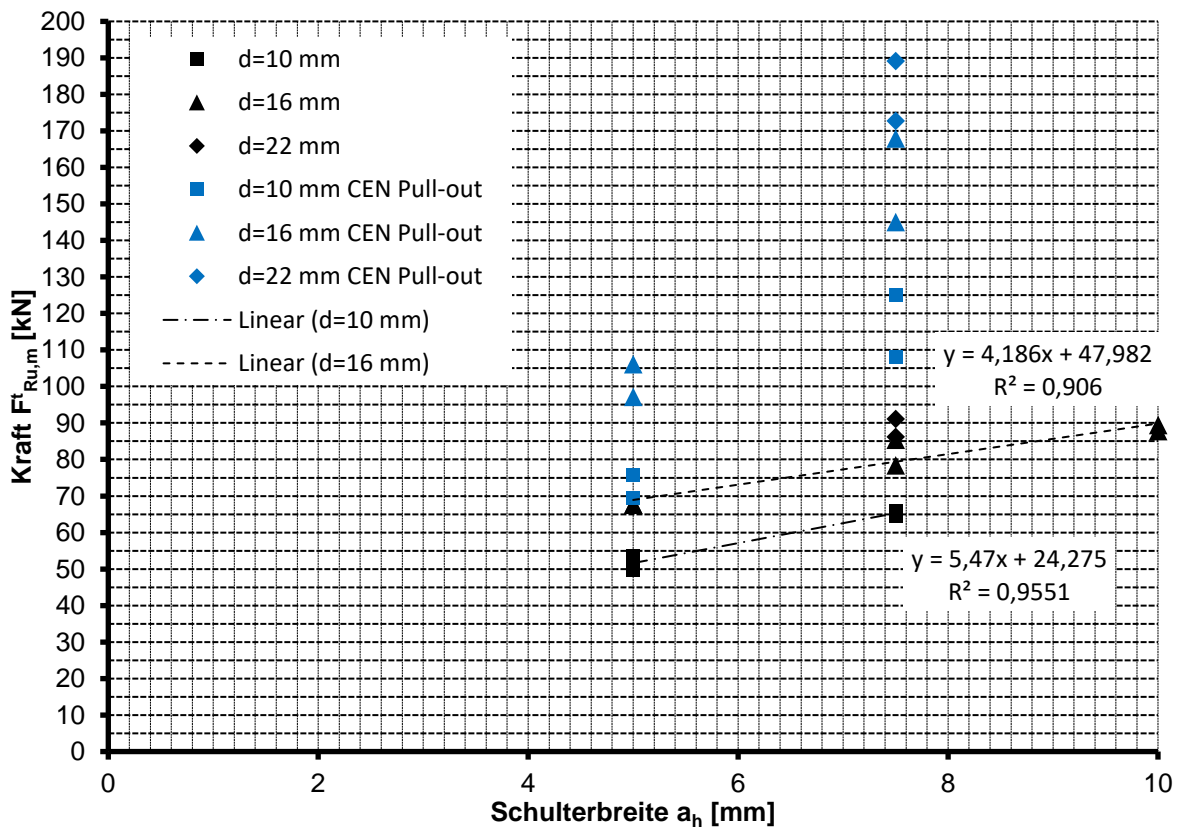


Abbildung 25 Abhängigkeit der Versagenslast von der Schulterbreite  $a_h$  – A1conf-Versuche

In Abbildung 25 ist die mittlere Versagenslast in Abhängigkeit von der Schulterbreite gezeigt. Es wird deutlich, dass bei gleicher Schulterbreite die Last mit zunehmendem Schaftdurchmesser steigt. Zusätzlich ist im Diagramm gegenübergestellt, welche Tragfähigkeiten sich nach der bisherigen Berechnung gemäß CEN [2] ergeben würden. Es zeigt sich, dass bei Anwendung der bisherigen Formel die Tragfähigkeiten zum Teil deutlich überschätzt würden. Eine Anpassung ist daher auch für die Versagensart ‚Herausziehen‘ erforderlich.

Der gemeinsame Einfluss von Schaftdurchmesser und Schulterbreite lässt sich durch die wirksame Kopffläche ausdrücken. Im folgenden Diagramm ist daher die mittlere Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der wirksamen Kopffläche  $A_h$  dargestellt. Auch in diesem Diagramm ist zur Orientierung die rechnerische Tragfähigkeit nach der derzeit gültigen Bemessung für Normalbeton [2] gezeigt.

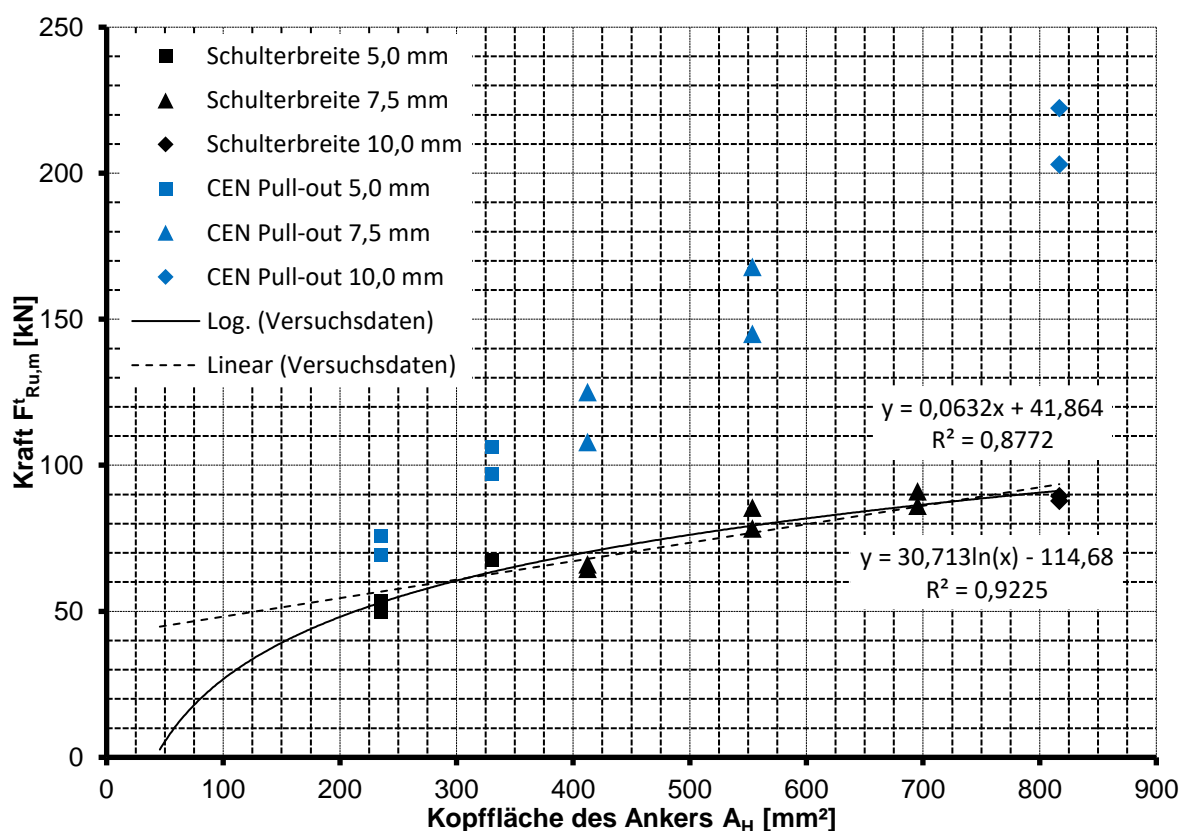


Abbildung 26 Abhängigkeit der Versagenslast von der Kopffläche  $A_h$  – A1conf-Versuche

Die derzeitige Bemessungsformel für Normalbeton nach der folgenden Gleichung hat eine Steigung von  $8,4 = 6 \times 1,4$ , die auf die Ergebnisse im Leichtbeton nicht übertragbar ist.

$$F_{Ru,m,p} = 6 \times 1,4 \times A_h \times f_{ck,cube} \quad (3-3)$$

Die Ergebnisse im Leichtbeton hingegen lassen sich zwar bereichsweise durch einen linearen Trend annähern, aber dieser bezieht den Ursprung nicht mit ein. Eine Tragfähigkeit von  $41,9$  kN bei einer Kopffläche  $A_h = 0$  ist die mechanisch sinnlose Folge. Im Diagramm ist daher zusätzlich ein logarithmischer Trend gezeigt, der die Ergebnisse der Untersuchungen besser annähert, als die lineare Regression. Dieser logarithmische Trend liefert bei einer Kopffläche von  $A_h = 42$  mm² eine Tragfähigkeit von  $F = 0$ . Bei einem Schaftdurchmesser von  $10$  mm entspräche das einer Schulterbreite von  $a_h \approx 1,2$  mm. Der logarithmische Trend liefert somit auch das mechanisch sinnvollere Ergebnis in Bezug auf den Nulldurchgang.

Wird in diese Betrachtung auch noch die Festigkeit des Untergrundes einbezogen, lässt sich der in der folgenden Abbildung 27 dargestellte Zusammenhang ableiten. Die Gültigkeit ist dabei auf den in den Versuchen geprüften Bereich eingegrenzt (6 N bis 20 N).

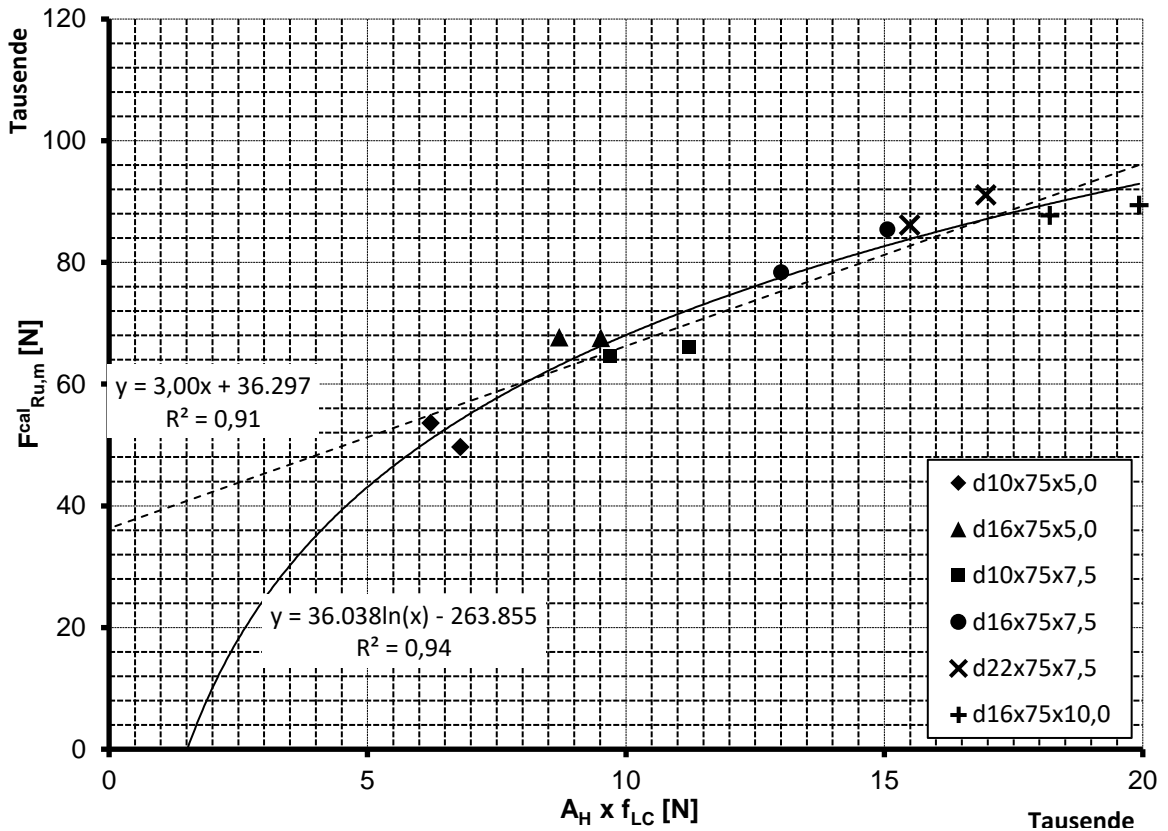


Abbildung 27 Abhängigkeit der Versagenslast von Kopffläche  $A_h$  und Festigkeit  $f_{i,c, \text{test}}$  – A1conf-Versuche

Auch bei dieser Betrachtung ergibt die Näherung mit Hilfe des natürlichen Logarithmus die mechanisch sinnvollere Lösung. Unter Annahme einer Festigkeit von  $f_{i,c} = 22 \text{ N/mm}^2$  ergibt sich eine Tragfähigkeit von  $F = 0 \text{ kN}$  für eine Schulterbreite von  $a_h = 1,85 \text{ mm}$ .

Für die rechnerische Ermittlung der mittleren Tragfähigkeit von Kopfbolzen in niederfestem Leichtbeton LC 20/22 lässt sich somit die folgende Formel ableiten.

$$F_{R_u, m, p}(LC 20/22) = 36.038 \times \ln(A_h \times f_{i,c}) - 264.000 \quad (3-4)$$

Aufgrund des Versuchsumfanges und der untersuchten Kopfbolzengeometrie hat diese Formel zunächst nur Gültigkeit bei Einhaltung der untersuchten Parameter. Diese Parameter sind zum einen die Festigkeitsklasse LC 20/22 sowie zum anderen die Kopfbolzengeometrie. Zur allgemeinen Anwendung der Gleichung sind deutlich mehr Versuche mit unterschiedlicher Geometrie und Festigkeiten des Leichtbetons nötig.

## 4. Fazit und Zusammenfassung

### 4.1 Überblick

Im Rahmen der Untersuchungen im ungerissenen niederfesten Leichtbeton konnten zwei wesentliche Mechanismen im Versagensprozess erarbeitet werden. Zum einen ist die Rissbildung hauptsächlich für das Versagen durch Betonausbruch. Die Risse sind jedoch, anders als im Normalbeton hauptsächlich radial orientiert. Daher scheint die Anordnung von Oberflächenbewehrung zur Minimierung und Verteilung der Risse unumgänglich. Zum anderen wird im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich am Kopf des Kopfbolzens der Leichtzuschlag stark komprimiert. Es stellt sich heraus, dass das Tragverhalten sowohl von der Verankerungstiefe als auch von der wirksamen Kopffläche des Kopfbolzens abhängt.

Im gerissenen niederfesten Leichtbeton der Rissweite  $\Delta w = 0,3$  mm ist die Kompression der Leichtzuschläge nicht mehr zweifelsfrei nachweisbar und auch die Abhängigkeit der Versagenslast von der wirksamen Kopffläche  $A_h$  ist nicht mehr gegeben. Eine durchgängige Bemessungsvorschrift, wie sie im cc-Verfahren nach [2] Verwendung findet, ist daher zunächst nicht möglich. Auf der sicheren Seite liegend, sollte aber auch im gerissenen Leichtbeton von einer Kompression ausgegangen werden.

Der Einfluss höherer Festigkeit und auch weiterer Rohdichten sollte durch Untersuchungen in Leichtbeton der Festigkeitsklasse LC 40/44 ermittelt werden. Die Ergebnisse sind aber nicht einheitlich und lassen keinen mechanisch sinnvollen Schluss in Bezug auf die Abhängigkeit der Tragfähigkeit zu. Der Einfluss der Rohdichte wurde daher ebenfalls nicht erfasst.

Zur Versagensart ‚Herausziehen‘ wurden insgesamt 60 Versuche durchgeführt und die Resultate mit der derzeitigen Bemessungsformel nach [2] verglichen. Im Leichtbeton kann der bisherige Bemessungsansatz jedoch nicht uneingeschränkt verwendet werden. In dieser Arbeit wurde daher auf Basis des natürlichen Logarithmus ein neuer Ansatz zur rechnerischen Ermittlung der Tragfähigkeit erarbeitet. Zusätzlich lassen sich aus dem Last-Verformungsverhalten Rückschlüsse auch für die Versuche mit Betonausbruch ableiten.

Zu den Untersuchungen der Tragfähigkeit wurden begleitend immer auch die Druckfestigkeit an Würfeln und Bohrkernen untersucht. Zusätzlich wurde die Zugfestigkeit zunächst durch zentrische Zugversuche erfasst. Es ergaben sich aus diesen Versuchen keine schlüssigen Ergebnisse, weil die Bohrkern durch den Entnahmeprozess zu starke Vorschädigungen aufwiesen. In der Folge wurde die Zugfestigkeit auf Basis der Spaltzugfestigkeit ermittelt. Außerdem wurde an einigen Proben der E-Modul des Leichtbetons gemessen. Sowohl die Spaltzugfestigkeit als auch der E-Modul zeigten keinerlei Besonderheiten, sondern lagen im Erwartungsbereich nach [13].

### 4.2 Ausblick

Die Unterschiede zwischen dem Tragverhalten in Normal- und Leichtbeton sind deutlich stärker ausgefallen als im Vorfeld der Untersuchungen zu vermuten war. Insbesondere die nicht vernachlässigbare Abhängigkeit im niederfesten ungerissenen Leichtbeton von der wirksamen Kopffläche erfordert weitere Untersuchungen.

Darüber hinaus lässt die große lokale Verformungsfähigkeit des Leichtbetons starke Lastumlagerung innerhalb von Gruppen zu. Die Tragfähigkeit von Gruppen ist daher gesondert zu untersuchen.

Eine genaue Aussage zum Einfluss von Festigkeit und Rohdichte ist nach den vorliegenden Untersuchungen nicht möglich. Die in diesem Bericht dargestellten Untersuchungen sollten wiederholt und erweitert werden, um diese für die Beurteilung wesentlichen Einflüsse erfassen zu können.

Zusätzlich beeinflusst die lokale Kompression des Leichtzuschlags das Tragverhalten maßgeblich. Auch aus diesem Grund sollten weitere Zuschläge mit unterschiedlichen Festigkeiten untersucht werden. Die Tragfähigkeit bei der Versagensart ‚Herausziehen‘ ist in dieser Hinsicht besonders interessant.

Durch Verwendung von Kopfbolzen wurde eine eindeutige Lasteinleitung durch das Wirkprinzip Formschluss bei den vorliegenden Untersuchungen zu Grunde gelegt. Im Hinblick auf nachträgliche Befestigungen sollten weitere Produkte untersucht werden. Aufgrund der geringen lokalen Festigkeit der Leichtzuschläge, bieten sich hier Systeme an, die die Einwirkung über eine möglichst große Fläche verteilen und an den Untergrund weiterleiten.

Kopfbolzen im Leichtbeton scheinen für eine praktische Nutzung keine bevorzugte Befestigungsvariante zu sein. Vermutlich sind Injektionsbefestigungen günstiger, da eine Kompression nicht zu erwarten ist und eine relativ große Oberfläche für die Übertragung der Ankerkraft in den Leichtbeton zur Verfügung steht.

Dortmund, 07. Juli 2016



Dr.-Ing. K. Block

Es folgen 95 Blatt Anlagen.



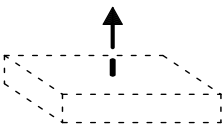
Dipl.-Ing. Rainer Becker

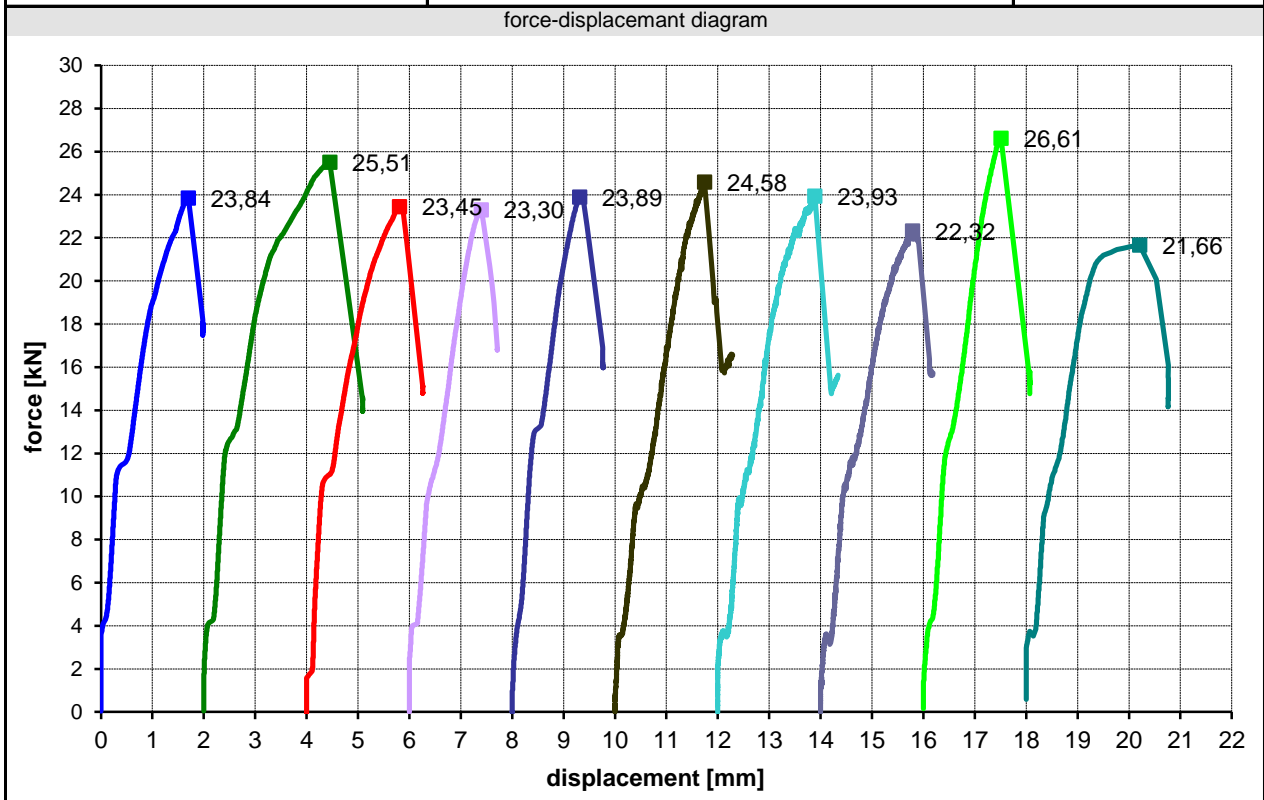
Tabelle 4 Übersicht über die Anhänge

	Versuchsbeschreibung	Anhang
A1	Zugversuche LC20/22 ungerissen – weite Abstützung	1
A2	Zugversuche LC40/44 ungerissen – weite Abstützung	2
A3	Zugversuche LC20/22 Rissweite 0,3 mm – weite Abstützung	3
A1 conf	Zugversuche LC20/22 ungerissen – enge Abstützung	4
	Ermittlung der Betonkenndaten – Druckfestigkeit	5
	Ermittlung der Betonkenndaten – Zug- und Spaltzugfestigkeit, E-Modul	6



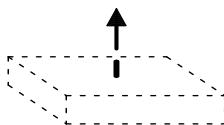
Anhang 1.1

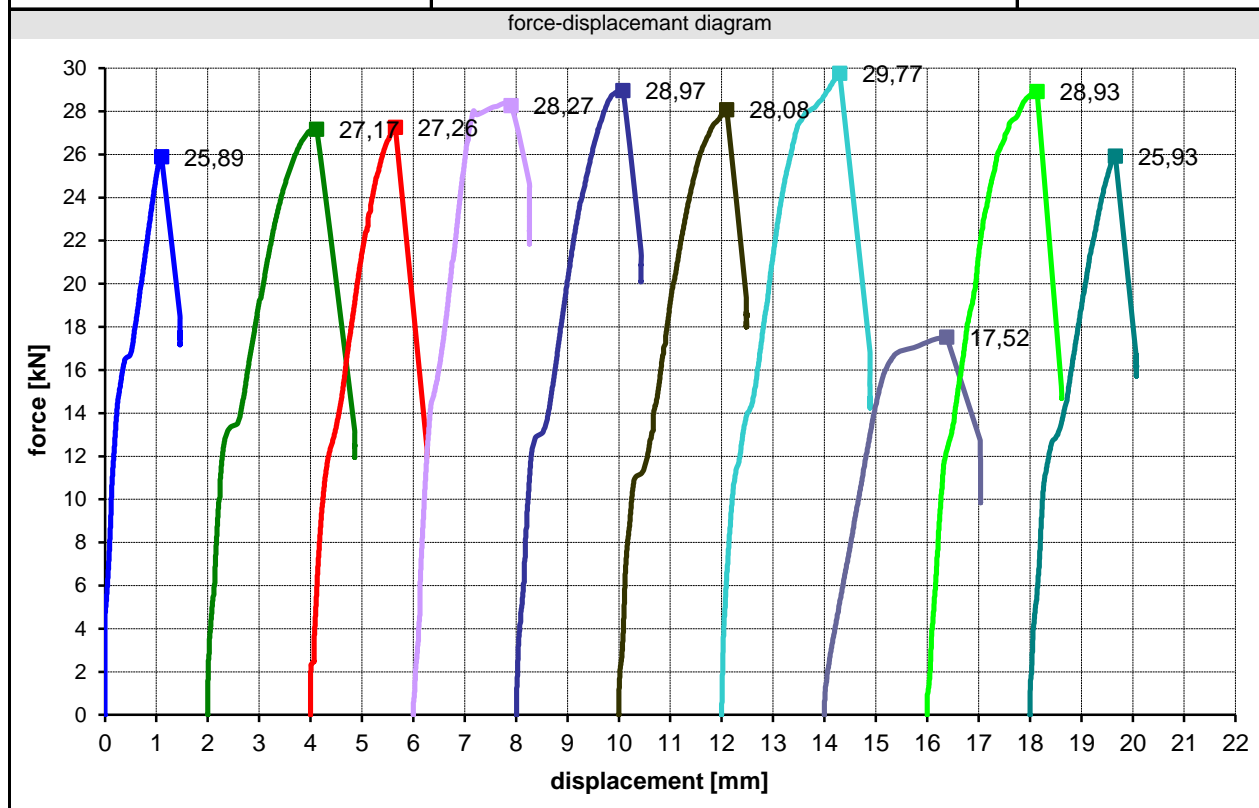
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>M10x50</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rigg connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 50 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 235 mm test speed : 1-2:83;3-5:133N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-110621-1 strength / density : 27,5 N/mm <sup>2</sup> / 1,24 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 120x100x15 cm <sup>3</sup>  tester : RB edge distance : 248 mm temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 23,91$ kN $v = 5,99$ % $F_{Rk,NV}^t = 20,23$ kN $F_{Rk,log}^t = 20,48$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 50,0$ mm $t_{fix} : 10,0$ mm		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	50,43	53,92	49,39	50,89	52,17	50,70	50,93	51,32	50,63	49,78		
cone depth [mm]	30,00	26	24	24	10-30	22	24	11-23	21	10-15		
edge distance [mm]	189	188	182	500	184	341	341	184	188	186		
date of test [dd.mm]	21.07	21.07	21.07	21.07	21.07	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07		
test time [hh:mm]	16:05	16:43	16:56	17:04	17:14	10:24	10:32	10:40	10:51	10:58		
$N_1$ [kN]	23,84	25,51	23,45	23,30	23,89	24,58	23,93	22,32	26,61	21,66		
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	1,70	2,45	1,81	1,40	1,31	1,74	1,89	1,79	1,51	2,21		
$F_{Ru}^t$ [kN]	23,84	25,51	23,45	23,30	23,89	24,58	23,93	22,32	26,61	21,66		
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF/Sp		
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

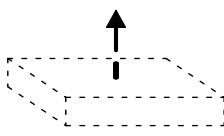
Anhang 1.2

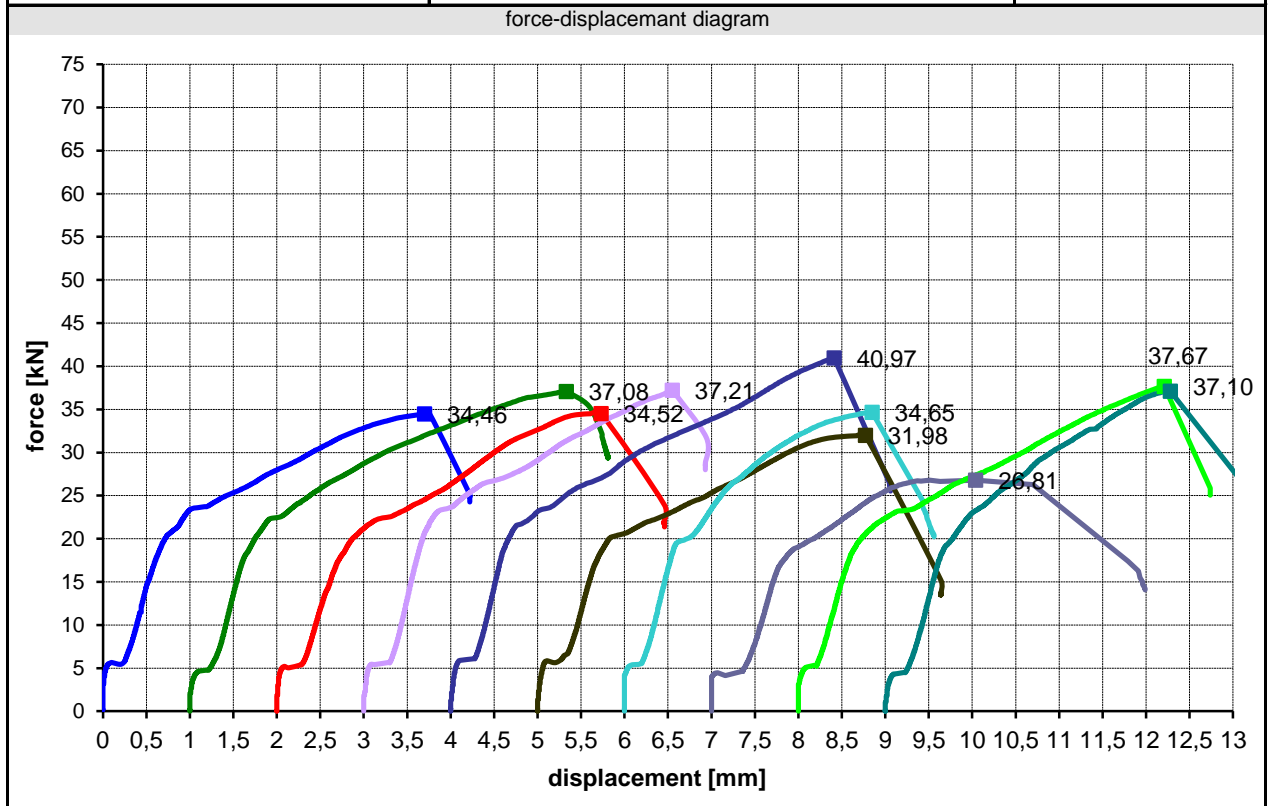
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>16x50</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 50 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 235 mm test speed : 1-5:133;6-5:167N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-110621-1 strength / density : 26,29 N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 120x100x15 cm <sup>3</sup>  tester : RB edge distance : 248 mm temperature : 20,0 °C  $T_{inst}$ : -- $h_{ef}$ : 50,0 mm $t_{fix}$ : 16,0 mm		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 26,78$ kN $v = 13,05$ % $F_{Rk,NV}^t = 17,81$ kN $F_{Rk,log}^t = 17,91$ kN  



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	49,36	49,35	51,35	50,72	50,29	47,83	50,23	50,10	49,79	49,24		
cone depth [mm]	16	23	27,5	32	16-30,5	30,5	29	16-32	31	16-32,5		
edge distance [mm]	189	189	181	500	185	341	341	185	188	184		
date of test [dd.mm]	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07	22.07		
test time [hh:mm]	13:35	13:42	13:48	13:55	14:02	14:08	14:14	14:32	14:27	14:20		
$N_1$ [kN]	25,89	27,17	27,26	28,27	28,97	28,08	29,77	17,52	28,93	25,93		
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	1,10	2,12	1,65	1,90	2,08	2,10	2,30	2,38	2,14	1,66		
$F_{Ru}^t$ [kN]	25,89	27,17	27,26	28,27	28,97	28,08	29,77	17,52	28,93	25,93		
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	Sp	CF	CF		
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

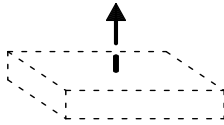
Anhang 1.3

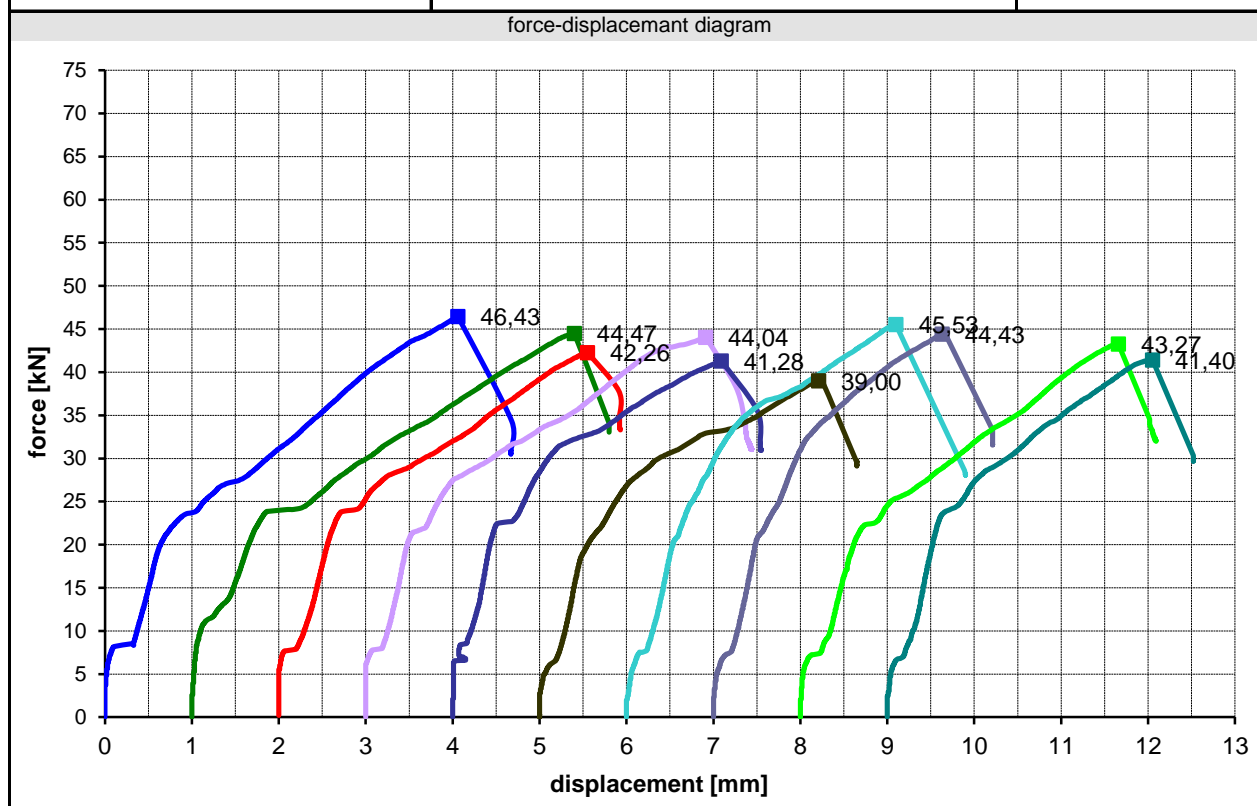
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d10x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rig connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 295 mm test speed : 167 N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-110720-1 strength / density : 28,71 N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 140x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : RB $T_{inst}$ : -- edge distance : 302 mm $h_{ef}$ : 75,0 mm temperature : 24,2 °C $t_{fix}$ : 10,0 mm		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 35,25$ kN $v = 10,89$ % $F_{Rk,NV}^t = 25,39$ kN $F_{Rk,log}^t = 26,04$ kN
				



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	75,97	75,86	74,45	76,29	76,59	73,91	73,51	73,64	74,34	73,22		
cone depth [mm]	16	ne	17	ne	ne	16	14	ne	18	16		
edge distance [mm]	224	239	218	411	411	224	240	226	410	412		
date of test [dd.mm]	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08	19.08	19.08	19.08	19.08	19.08		
test time [hh:mm]	13:34	13:44	13:51	13:59	14:12	11:14	11:23	11:50	11:57	12:05		
$N_1$ [kN]	34,46	37,08	34,52	37,21	40,97	31,98	34,65	26,81	5,35	37,10		
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	3,70	4,33	3,73	3,55	4,41	3,77	2,85	3,04	4,21	3,28		
$F_{Ru}^t$ [kN]	34,46	37,08	34,52	37,21	40,97	31,98	34,65	26,81	37,67	37,10		
kind of failure	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	Sp	CF/Sp	CF/Sp		
annotation T6-10: LC20-110720-2 $f_{ic} = 28,7$ N/mm <sup>2</sup> $\rho_{ic} = 1,262$ kg/dm <sup>3</sup> kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

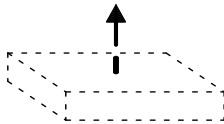
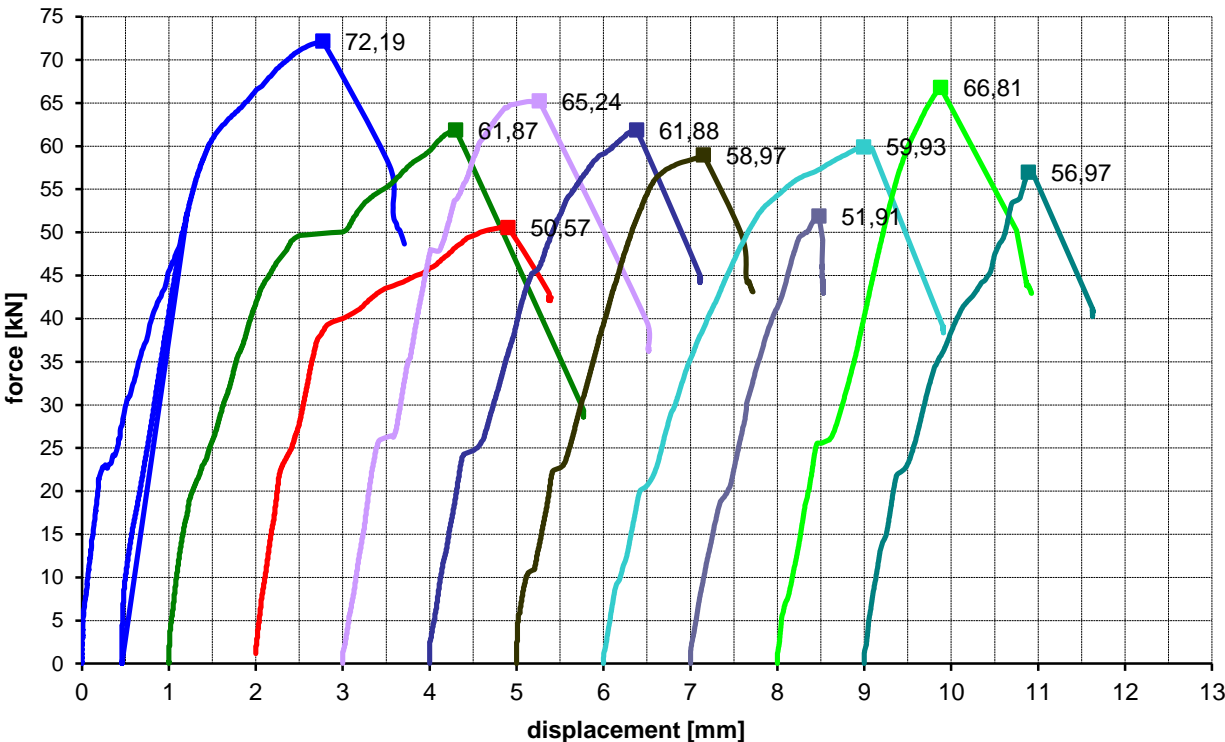
Anhang 1.4

project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 295 mm test speed : 250 N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-110720-1 strength / density : 28,71 N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 140x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : RB $T_{inst}$ : -- edge distance : 304 mm $h_{ef}$ : 75,0 mm temperature : 24,7 °C $t_{fix}$ : 16,0 mm		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 43,21$ kN $v = 5,19$ % $F_{Rk,NV}^t = 37,46$ kN $F_{Rk,log}^t = 37,72$ kN
				

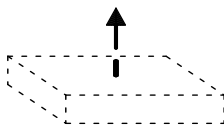


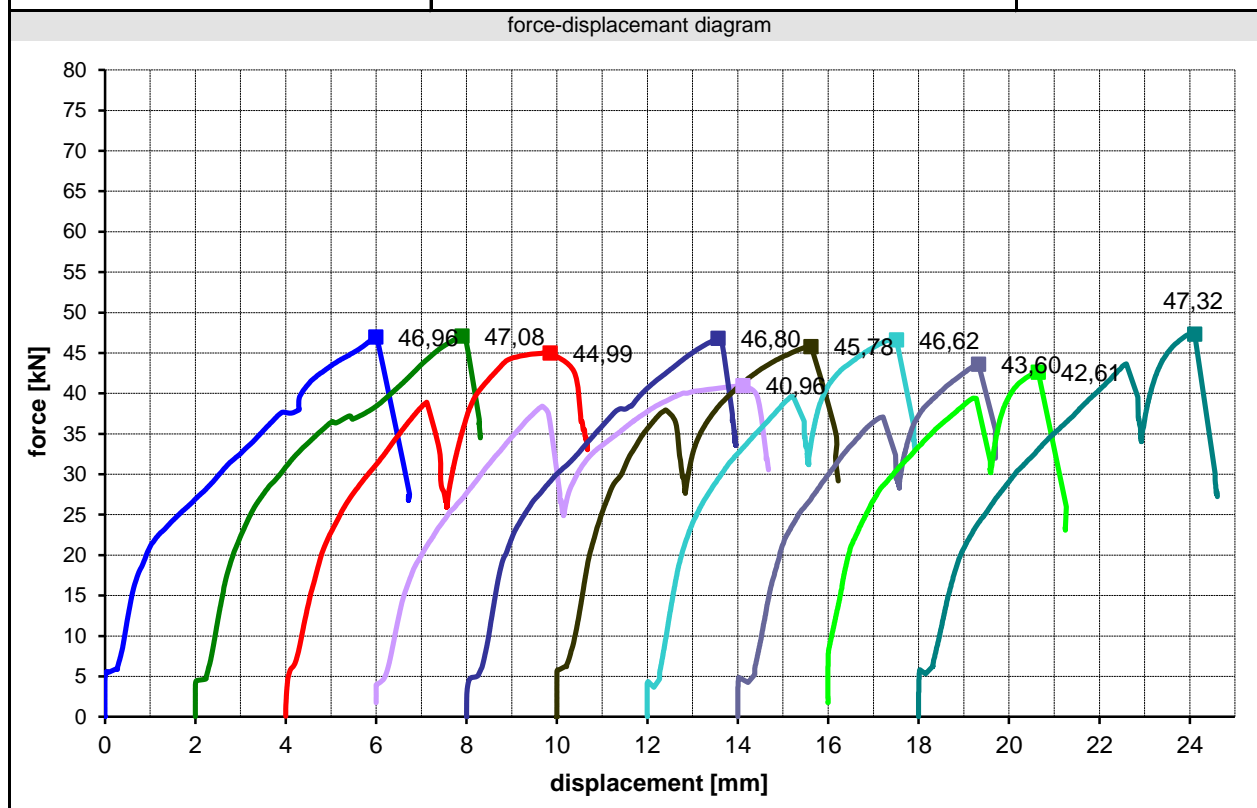
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	75,5	74,7	75,4	74,1	73,5	74,7	74,7	74,7	73,6	74,3		
cone depth [mm]	ne	ne	18	15	17	15	18	17	17	14		
edge distance [mm]	223	598	223	237	236	225	599	218	237	239		
date of test [dd.mm]	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08	19.08	19.08	19.08	19.08	19.08		
test time [hh:mm]	14:24	14:30	14:37	14:43	14:49	12:56	13:01	13:07	13:14	13:28		
$N_1$ [kN]	46,43	44,47	42,26	44,04	41,28	39,00	45,53	44,43	43,27	41,40		
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	4,06	4,40	3,55	3,91	3,09	3,21	3,10	2,63	3,66	3,05		
$F_{Ru}^t$ [kN]	46,43	44,47	42,26	44,04	41,28	39,00	45,53	44,43	43,27	41,40		
kind of failure	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp		
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 1.5

project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>22x75</b>	<b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		<b>A1</b>								
test rigg		base material & installation		forces / statistics								
connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 10 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 295 mm test speed : 1-2:250;3-5:500N/s		base material : LC 20/22 ; LC20-110811-1 strength / density : 32,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,263 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 240x130x25 cm <sup>3</sup>  tester : RB $T_{inst}$ : -- edge distance : 230 mm $h_{ef}$ : 75,0 mm temperature : 20,0 °C $t_{fix}$ : 22,0 mm		$F_{Ru,m}^t = 60,63$ kN $v = 10,86$ % $F_{Rk,NV}^t = 43,73$ kN $F_{Rk,log}^t = 45,55$ kN								
												
force-displacemant diagram												
												
summary												
<b>test number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
embed. depth [mm]	75,0	74,2	75,7	76,2	76,0	74,6	74,5	75,4	75,9	76,2		
cone depth [mm]	15-20	5-15	5	15-20	10	ne	ne	22	37,5	33,5		
edge distance [mm]	239	238	227	226	226	236	236	226	223	222		
date of test [dd.mm]	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10		
test time [hh:mm]	11:14	11:36	11:49	11:54	12:01	13:11	13:22	13:28	13:34	13:39		
$N_1$ [kN]	52,23	61,87	50,57	65,24	61,88	58,97	59,93	51,91	66,81	56,97		
$\delta_{FtRu}$ [mm]	2,77	3,30	2,90	2,26	2,38	2,15	2,99	1,48	1,88	1,89		
$F_{Ru}^t$ [kN]	72,19	61,87	50,57	65,24	61,88	58,97	59,93	51,91	66,81	56,97		
kind of failure	CF/Sp	CF/Sp	Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	CF/Sp	Sp	CF/Sp	CF/Sp		
annotation												
T6-10: LC20-110818-1 $f_{lc,c150}=30,5$ N/mm <sup>2</sup> $\rho_{lc}=1,223$ kg/dm <sup>3</sup> T1: Wechsel der Kraftmessdose kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

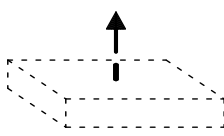
Anhang 1.6

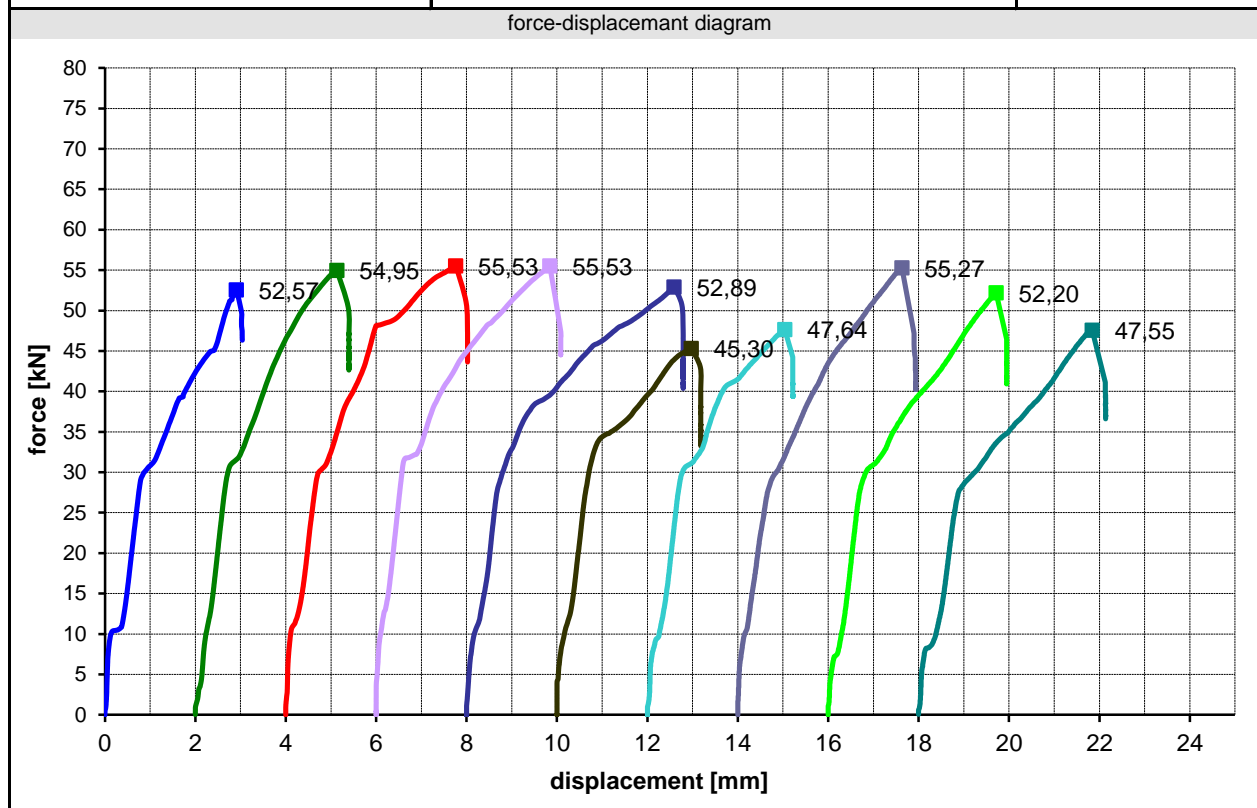
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d10x100</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rig connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 100 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450mm test speed : 333 N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-111115-1 strength / density : 29,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250 x 190 x 25 cm <sup>3</sup>  tester : RB edge distance : 468 mm temperature : ~20 °C  $T_{inst}$ : -- $h_{ef}$ : 100 mm $t_{fix}$ : 10,0 mm		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 45,27$ kN $v = 4,85$ % $F_{Rk,NV}^t = 39,64$ kN $F_{Rk,log}^t = 39,82$ kN
				



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	99,8	98,7	97,8	97,4	99,5	98,2	97,4	98,6	98,1	98,6		
cone depth [mm]	~10	~25-30	~30-40	~10	~25-35	~15-40	~55-60	~30-50	~10	~20		
edge distance [mm]	349,0	949,0	347,0	348,0	348,0	349,0	949,0	345,0	350,0	349,0		
date of test [dd.mm]	30.12	30.12	30.12	30.12	30.12	04.01	04.01	04.01	04.01	04.01		
test time [hh:mm]	14:59	15:06	15:17	15:26	15:34	11:57	12:04	12:11	12:17	12:25		
$N_1$ [kN]	37,68	37,21	38,89	38,39	38,04	37,92	39,61	37,07	39,44	43,64		
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	5,99	5,90	5,85	8,12	5,57	5,62	5,51	5,32	4,65	6,11		
$F_{Ru}^t$ [kN]	46,96	47,08	44,99	40,96	46,80	45,78	46,62	43,60	42,61	47,32		
kind of failure	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF		
annotation T6-10: LC20-111115-2 $f_{lc,150} = 27,0$ N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

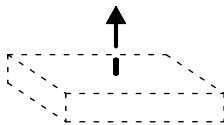
Anhang 1.7

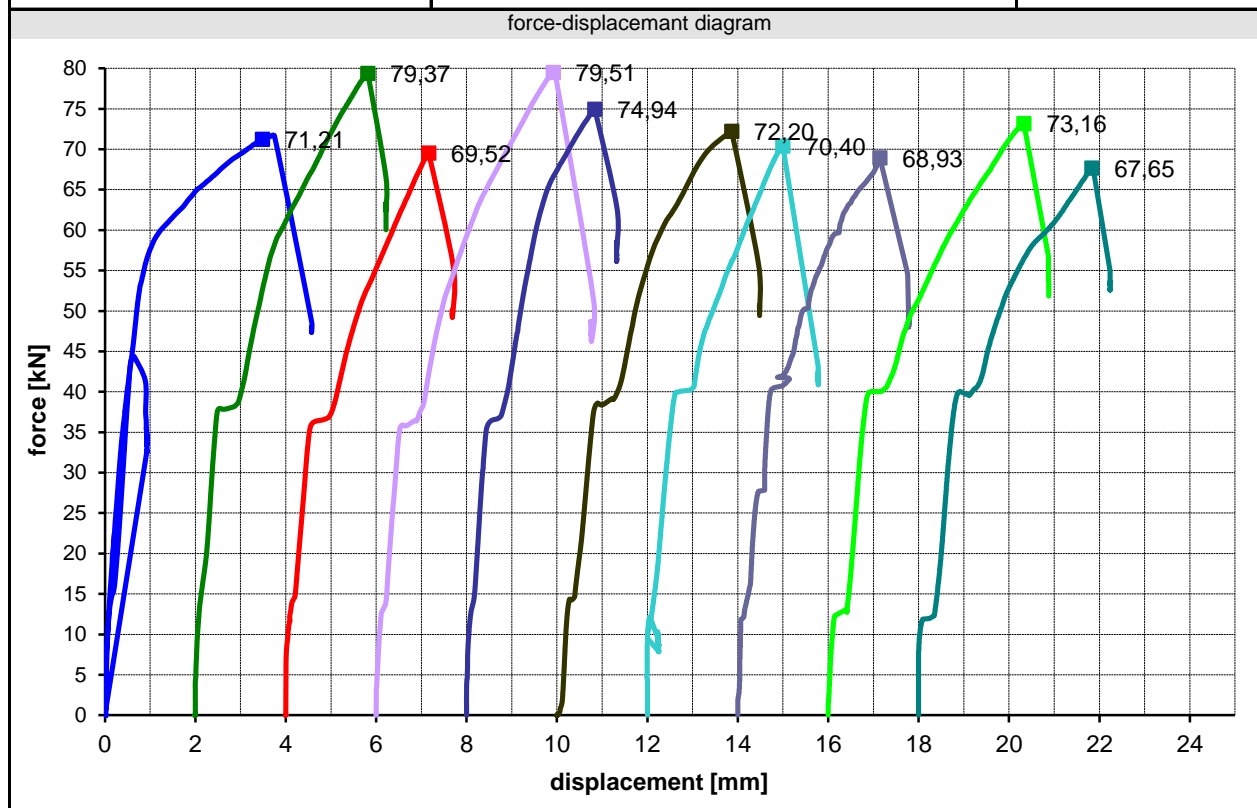
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x100</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 100 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 500 N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-110811-1 strength / density : 32,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 240x130x25 cm <sup>3</sup>  tester : RB edge distance : 346 mm temperature : 20,0 °C  $T_{inst}$ : -- $h_{ef}$ : 100 mm $t_{fix}$ : 16,0 mm		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 51,94$ kN $v = 7,30$ % $F_{Rk,NV}^t = 42,21$ kN $F_{Rk,log}^t = 42,75$ kN
				



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	100,4	100,7	101,4	97,6	99,0	102,8	101,4	100,0	100,3	101,1		
cone depth [mm]	18,00	15	20	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne		
edge distance [mm]	342,0	341,0	349,0	350,0	351,0	341,0	341,0	345,0	349,0	349,0		
date of test [dd.mm]	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10	07.10		
test time [hh:mm]	18:22	18:30	18:41	18:46	18:52	16:03	16:10	16:17	16:22	16:28		
$N_1$ [kN]	52,57	54,95	55,53	55,53	52,89	45,30	47,64	55,27	52,20	47,55		
$\bar{\sigma}_{FtRu}$ [mm]	2,91	3,13	3,76	3,84	4,59	2,97	3,04	3,63	3,72	3,84		
$F_{Ru}^t$ [kN]	52,57	54,95	55,53	55,53	52,89	45,30	47,64	55,27	52,20	47,55		
kind of failure	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/Sp	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF		
annotation T6-10: LC20-110818-1 $f_{lc,150}=30,5$ N/mm <sup>2</sup> 1,22 kg/dm <sup>3</sup> kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 1.8

project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d22x100</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1</b>
test rig connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 10 mm length of shaft $l_s$ : 100 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450mm test speed : 500 N/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-111115-1 strength / density : 29,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250 x 190 x 25 cm <sup>3</sup>  tester : RB $T_{inst}$ : -- edge distance : 468 mm $h_{ef}$ : 100 mm temperature : -- $t_{fix}$ : 22,0 mm		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 72,69$ kN $v = 5,68$ % $F_{Rk,NV}^t = 62,08$ kN $F_{Rk,log}^t = 62,87$ kN
				



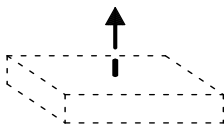
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
embed. depth [mm]	99,8	99,0	98,4	98,8	98,9	99,5	97,7	100,1	99,8	99,7		
cone depth [mm]	13-20	~20	9-19	20-34	10,21	20	35-40	20	~40-50	~40-50		
edge distance [mm]	347,0	348,0	347,0	950,0	348,0	344,0	347,0	348,0	953,0	346,0		
date of test [dd.mm]	30.12	30.12	30.12	30.12	30.12	04.01	04.01	04.01	04.01	04.01		
test time [hh:mm]	14:09	14:15	14:29	14:35	14:42	11:18	11:26	11:35	11:43	11:50		
$N_1$ [kN]	71,64	37,86	36,54	35,80	36,54	38,38	40,09	40,34	40,03	40,04		
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	3,48	3,82	3,16	3,92	2,84	3,86	3,00	3,15	4,33	3,83		
$F_{Ru}^t$ [kN]	71,21	79,37	69,52	79,51	74,94	72,20	70,40	68,93	73,16	67,65		
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF		
annotation												
T6-10: LC20-111124 $f_{lc,c150} = 27,0$ N/mm <sup>2</sup> / 1,26 kg/dm <sup>3</sup> T1 + T7: Failure of test equipment, restart!												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

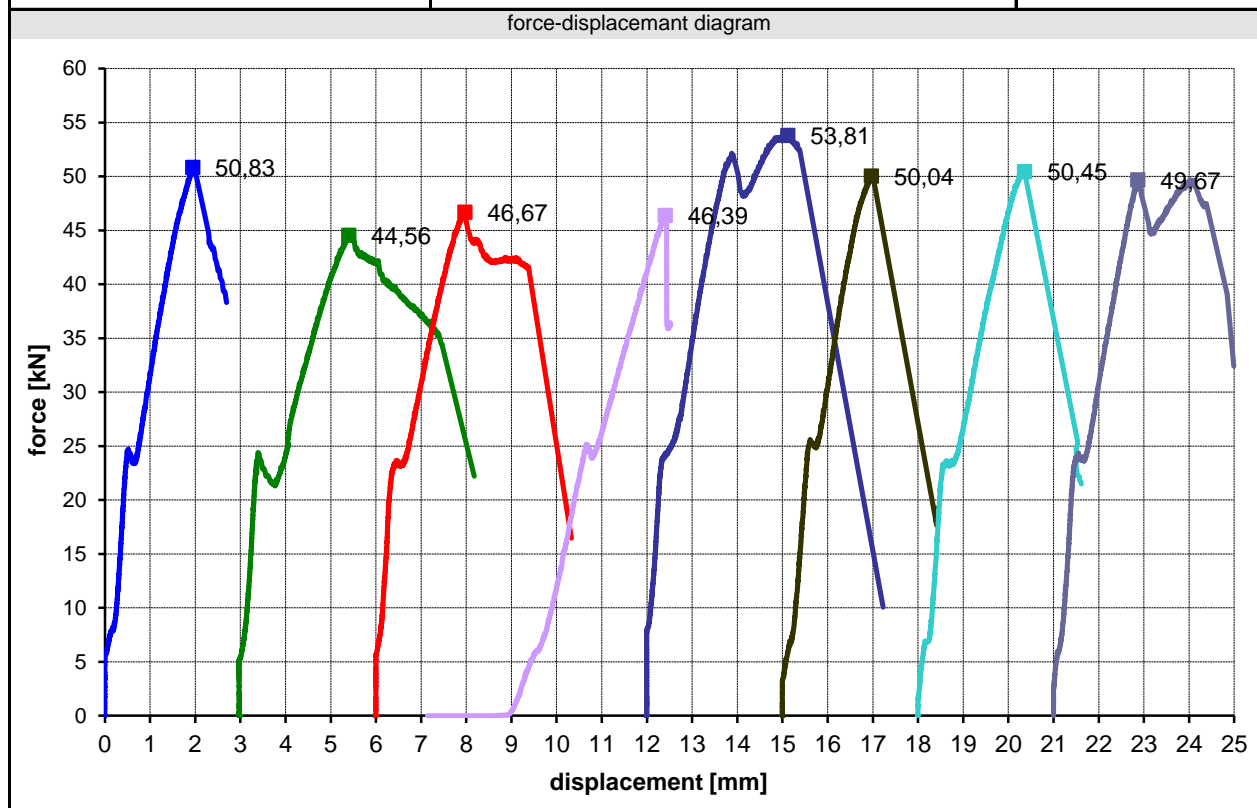


Anhang 1.9

project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>d22x150</b>	<b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		<b>A1</b>								
test rig		base material & installation		forces / statistics								
connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 10 mm length of shaft $l_s$ : 150 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\emptyset$ : Dyn250 / 600mm test speed : 1-2:500;3-10:500N/		base material : LC 20/22 ; LC20-110914-1 strength / density : 28,3 N/mm <sup>2</sup> / 1,25 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250 x 160 x 35 cm <sup>3</sup>  tester : RB $T_{inst}$ : -- edge distance : 451 mm $h_{ef}$ : 150 mm temperature : 20,0 °C $t_{fix}$ : 22,0 mm		$F_{Ru,m}^t = 87,83$ kN $v = 10,79$ % $F_{Rk,NV}^t = 63,50$ kN $F_{Rk,log}^t = 66,18$ kN								
force-displacement diagram												
summary												
<b>test number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
embed. depth [mm]	147,6	149,8	149,7	151,5	150,2	148,4	149,7	152,4	151,2	151,1		
cone depth [mm]	~4 - 28	~4	ne	~5 - 30	~4	ne	ne	~5-10	~24	~0-50		
edge distance [mm]	450,0	446,0	452,0	452,0	449,0	450,0	455,0	453,0	447,0	453,0		
date of test [dd.mm]	19.10	19.10	19.10	19.10	19.10	02.11	02.11	02.11	02.11	02.11		
test time [hh:mm]	10:33	15:53	16:04	17:49	18:01	11:45	11:55	12:06	12:48	12:59		
$N_1$ [kN]	70,66	59,24	69,86	70,94	73,81	76,03	75,69	72,91	69,71	71,25		
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	5,84	5,46	4,15	5,05	5,26	5,26	6,29	3,31	7,86	5,40		
$F_{Ru}^t$ [kN]	83,88	81,53	102,5	95,92	78,14	82,81	91,56	89,69	98,97	73,29		
kind of failure	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/CF	Po/Sp	Po/Sp	Po/Sp	Po/Sp	Po/Sp	Po/Sp		
annotation												
T6-10: LC20-111005-1 $f_{lc,c150} = 30,8$ N/mm <sup>2</sup> ; 1,28 kg/dm <sup>3</sup>												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 2.1

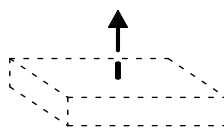
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d16x50</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.1</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 50 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 295 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120531-1 strength / density : 40,9 N/mm <sup>2</sup> / 2,004 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 205x190x20 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 49,05$ kN $v = 6,07$ % $F_{Rk,NV}^t = 40,85$ kN $F_{Rk,log}^t = 41,41$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 50,0$ mm $t_{fix} : 16,0$ mm		

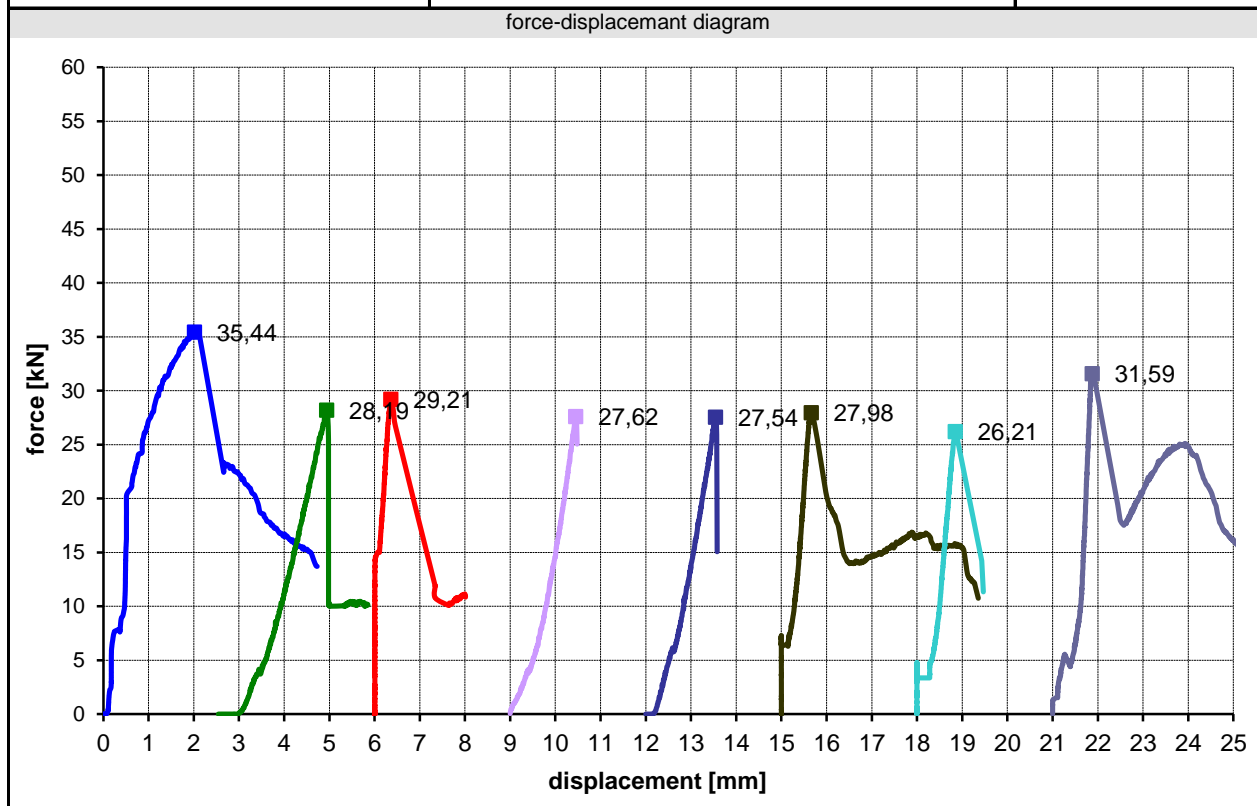


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--	--	--				
overstand [mm]	27,30	28,10	26,10	28,70	27,60	28,80	27,00	27,20				
cone depth [mm]	49,40	48,80	49,60	49,50	50,20	50,60	50,70	48,90				
date of test [dd.mm]	05.07	05.07	05.07	05.07	05.07	05.07	05.07	05.07				
test time [hh:mm]	--	--	--	--	--	--	--	--				
$N_1$ [kN]	24,53	24,39	23,66	25,18	23,84	25,61	23,32	24,37				
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	1,94	2,40	1,97	5,41	3,12	1,97	2,36	1,87				
$F_{Ru}^t$ [kN]	50,83	44,56	46,67	46,39	53,81	50,04	50,45	49,67				
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF				

annotation  
T4: Failure of the displacement measurement. Internal measured displacement shown.  
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting

Anhang 2.2

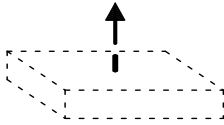
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x50</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.2</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 50 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 295 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120625-1 strength / density : 37,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,77 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 205x190x20 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 29,22$ kN $v = 10,13$ % $F_{Rk,NV}^t = 21,07$ kN $F_{Rk,log}^t = 22,33$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 50,0$ mm $t_{fix} : 16,0$ mm		

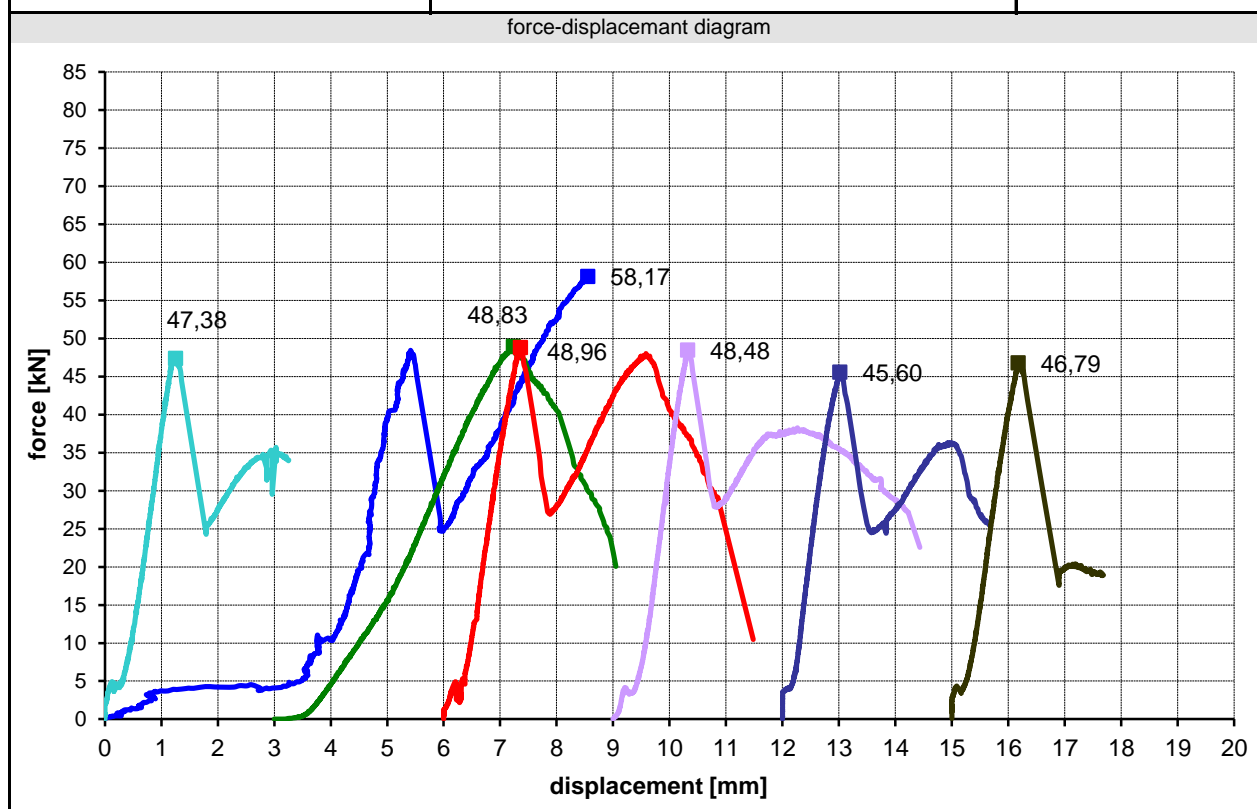


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--	--	--				
overstand [mm]	25,45	29,36	28,95	26,20	26,50	25,10	28,48	27,05				
cone depth [mm]	51,07	49,87	49,61	50,73	49,42	50,28	50,52	50,10				
date of test [dd.mm]	30.07	30.07	30.07	30.07	30.07	30.07	30.07	30.07				
test time [hh:mm]												
$N_1$ [kN]	35,44	28,19	29,21	27,62	27,54	27,98	26,21	31,59				
$\delta_{FtRu}$ [mm]	2,19	-8,85	0,36	-5,73	-4,36	0,66	0,85	0,87				
$F_{Ru}^t$ [kN]	35,44	28,19	29,21	27,62	27,54	27,98	26,21	31,59				
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF				

annotation  
T2+4+5: Failure of the displacement measurement, internal displacement instead.  
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting

Anhang 2.3

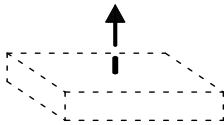
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d10x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.1</b>
anchor dimensions & test rigg connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 2 mm/Min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120731-1 strength / density : 47,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,74 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250x190x25 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 49,17$ kN $v = 8,44$ % $F_{Rk,NV}^t = 37,17$ kN $F_{Rk,log}^t = 38,95$ kN
		$T_{inst} : --$	$h_{ef} : 75,0$ mm	
		$t_{fix} : 10,0$ mm		

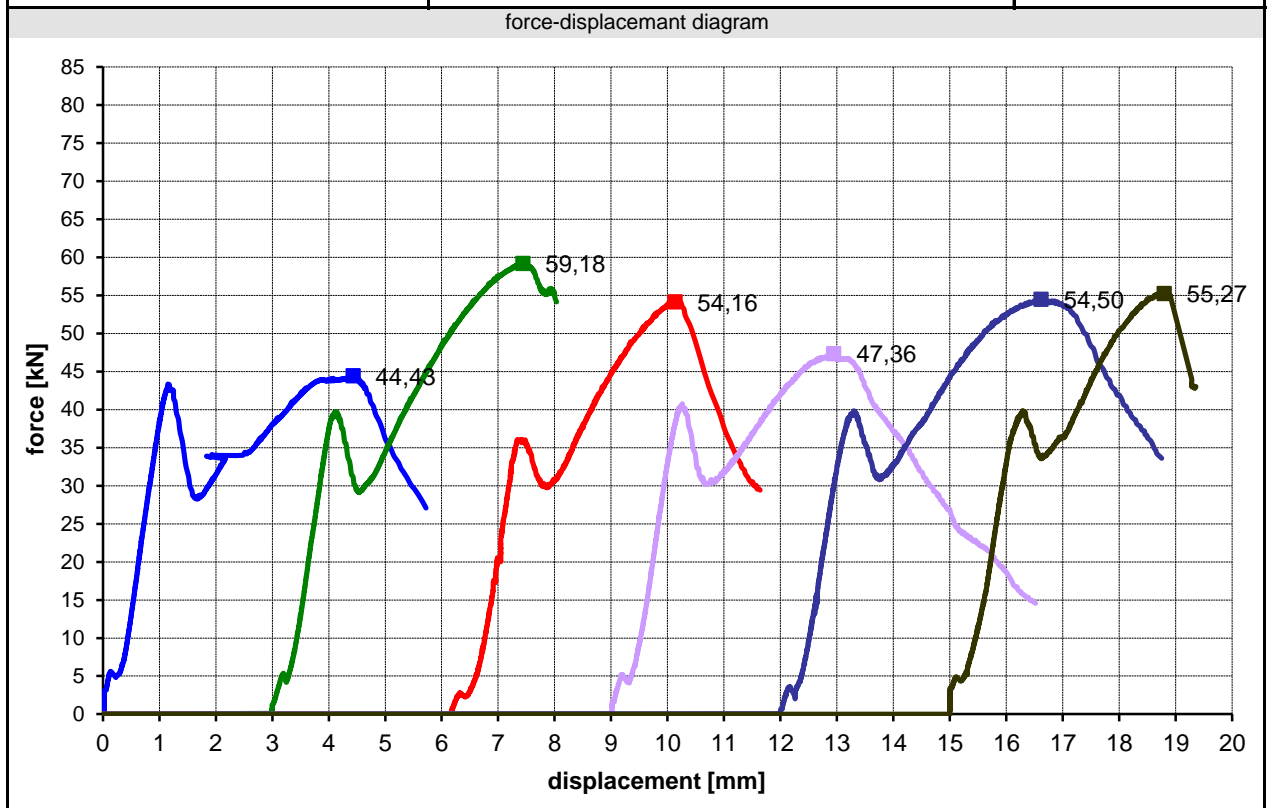


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--	--					
overstand [mm]	28,27	28,27	28,86	29,04	28,88	28,46	28,67					
cone depth [mm]	68,58	68,58	70,93	70,32	70,81	70,21	71,78					
date of test [dd.mm]	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10					
test time [hh:mm]	11:53	14:10	14:19	14:40	14:52	14:59	15:06					
$N_1$ [kN]	48,44	48,96	48,83	48,48	45,60	46,79	47,38					
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	8,55	4,24	1,36	1,32	1,01	1,17	1,25					
$F_{Ru}^t$ [kN]	58,17	48,96	48,83	48,48	45,60	46,79	47,38					
kind of failure	nV	CF	CF	CF	CF	CF	CF					

annotation  
T1: Verformungsmess. durch Lasteinleitung beeinflusst, Versuch gestoppt und erneut belastet -> T2  
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting

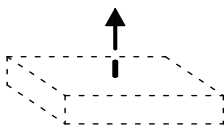
Anhang 2.4

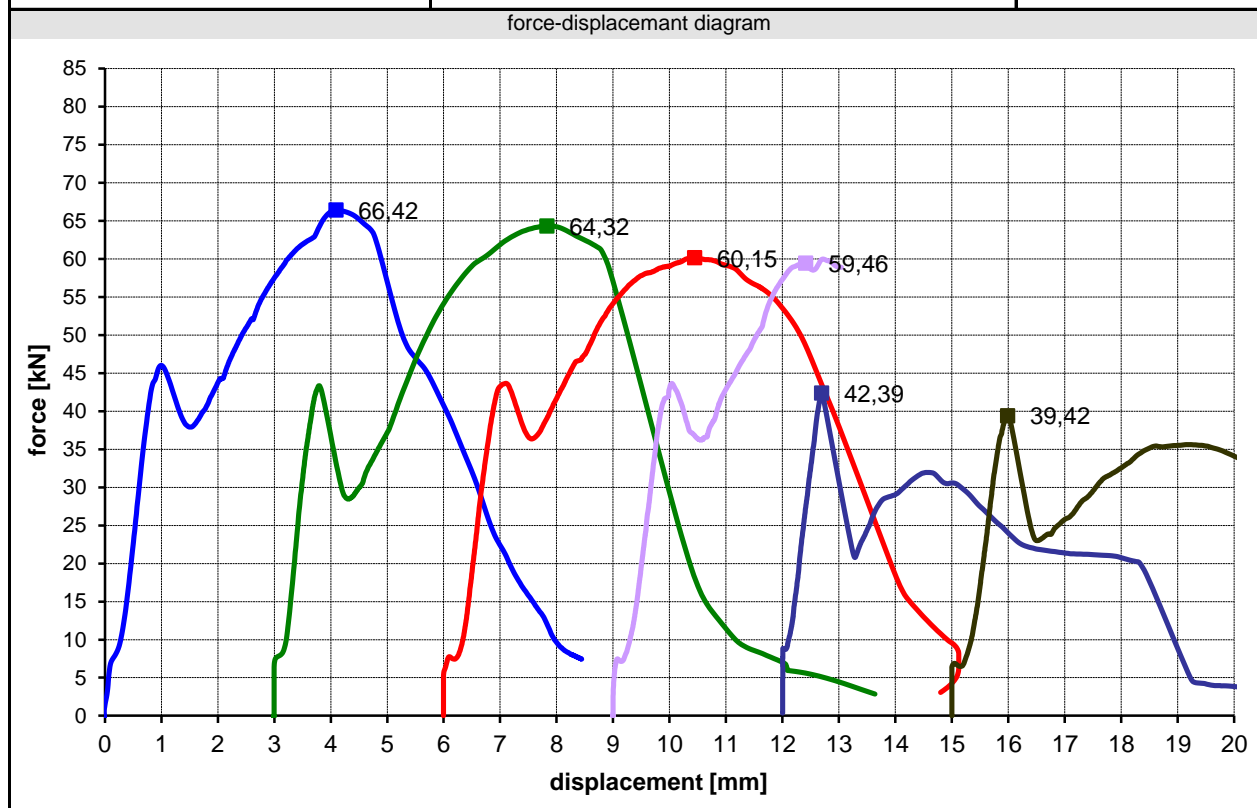
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d10x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.2</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120823-1 strength / density : 43,1 N/mm <sup>2</sup> / 1,757 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250x190x25 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 52,48$ kN $v = 10,46$ % $F_{Rk,NV}^t = 35,51$ kN $F_{Rk,log}^t = 37,47$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : 10,0$ mm		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--						
overstand [mm]	28,53	28,62	30,05	29,82	29,02	27,53						
cone depth [mm]	71,34	--	69,41	70,71	70,54	70,98						
date of test [dd.mm]	01.10	01.10	02.10	02.10	02.10	02.10						
test time [hh:mm]	17:35	17:44	9:23	9:31	9:40	9:47						
$N_1$ [kN]	43,36	39,72	35,99	40,77	39,85	39,69						
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	4,43	4,44	4,13	3,94	4,62	3,80						
$F_{Ru}^t$ [kN]	44,43	59,18	54,16	47,36	54,50	55,27						
kind of failure	CF	S	CF	CF	CF	CF						
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 2.5

project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.1</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : --		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120531-1 strength / density : 40,9 N/mm <sup>2</sup> / 2,004 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 205x190x20 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 55,36$ kN $v = 20,83$ % $F_{Rk,NV}^t = 19,71$ kN $F_{Rk,log}^t = 27,11$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : 16,0$ mm		

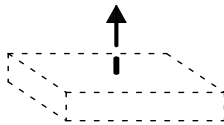


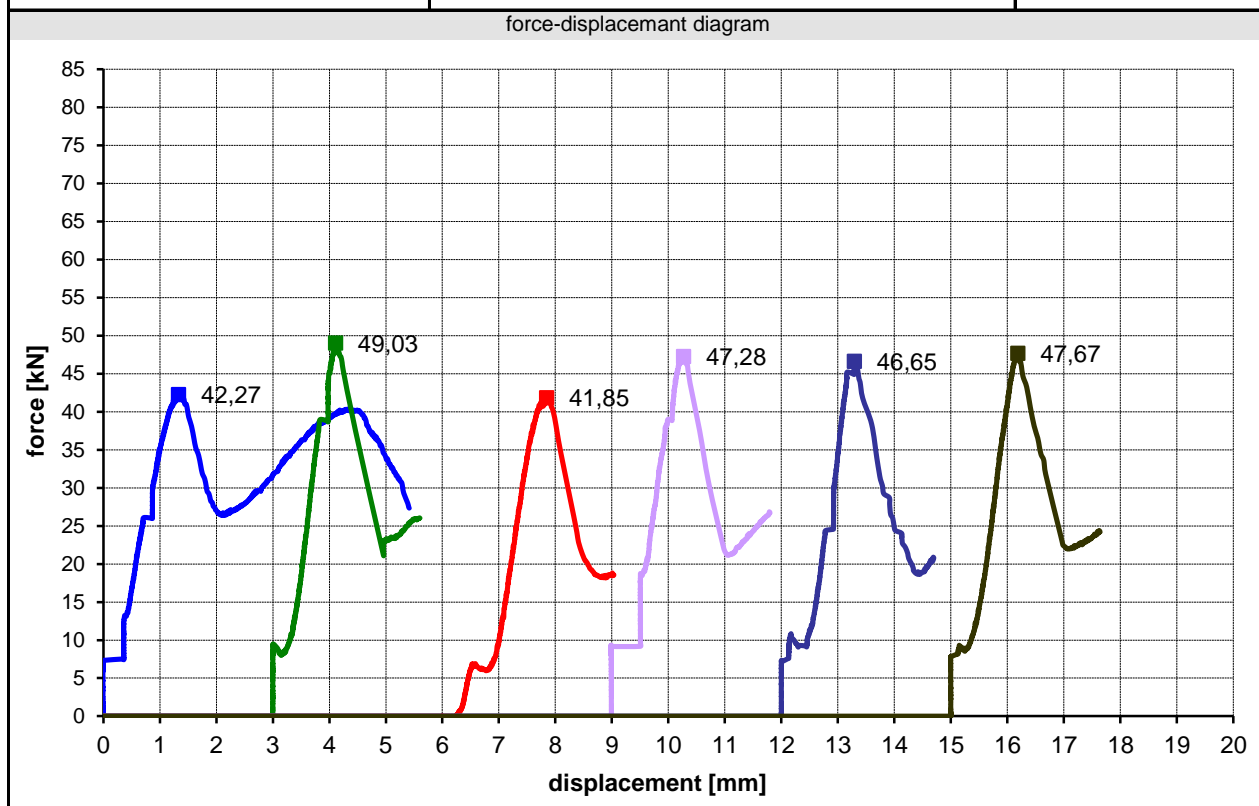
summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--						
overstand [mm]	28,50	30,00	28,00	27,30	27,50	27,50						
cone depth [mm]	75,00	74,00	74,80	74,30	74,70	75,10						
date of test [dd.mm]	05.07	05.07	05.07	05.07	05.07	05.07						
test time [hh:mm]												
$N_1$ [kN]	46,02	43,35	43,65	43,65	42,39	39,42						
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	4,09	4,83	4,44	3,41	3,75	0,98						
$F_{Ru}^t$ [kN]	66,42	64,32	60,15	59,46	42,39	39,42						
kind of failure	CF	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

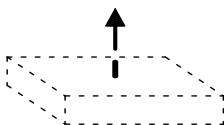
Anhang 2.6

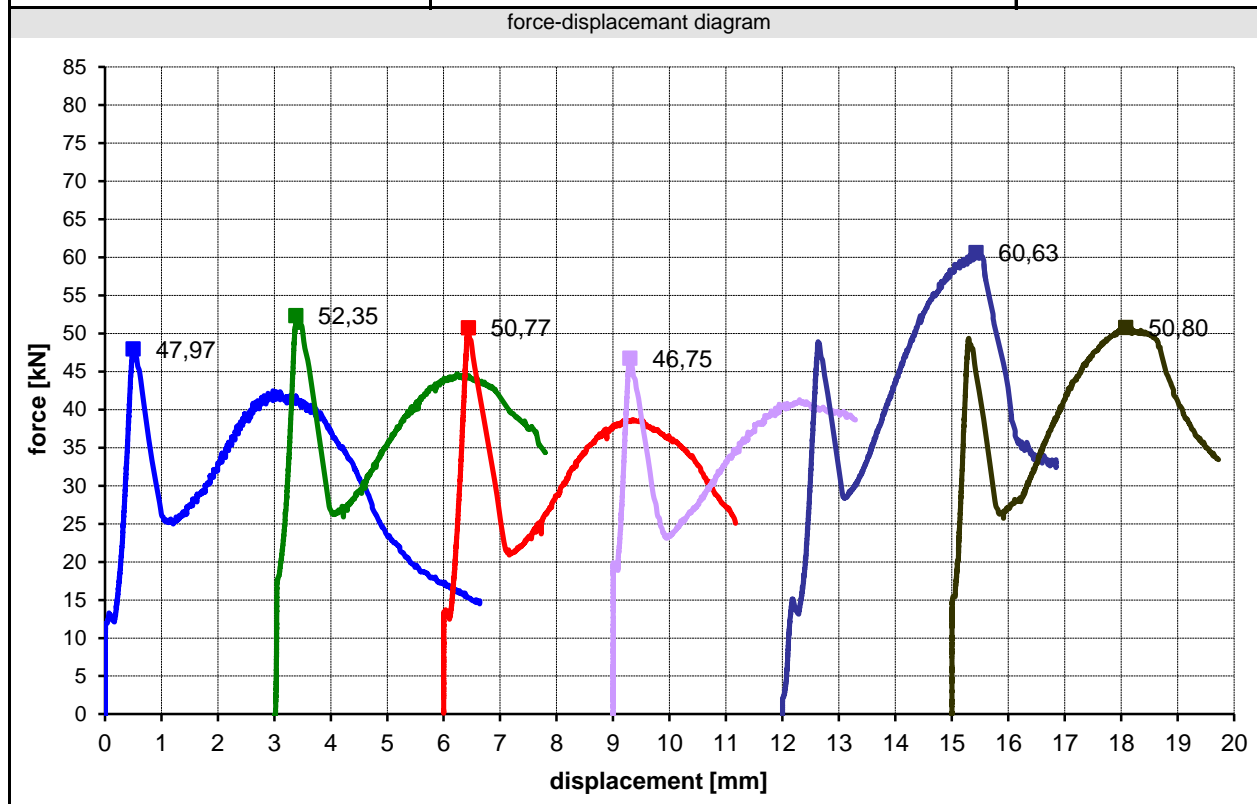
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.2</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : --		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120625-1 strength / density : 37,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,77 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 205x190x20 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 45,79$ kN $v = 6,54$ % $F_{Rk,NV}^t = 36,53$ kN $F_{Rk,log}^t = 37,21$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : 16,0$ mm		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--						
overstand [mm]	29,45	28,09	28,48	27,76	29,12	27,31						
cone depth [mm]	75,07	74,84	74,02	75,15	75,13	74,34						
date of test [dd.mm]	30.07	30.07	30.07	30.07	30.07	30.07						
test time [hh:mm]	14:37	14:47	14:57	15:24	15:32	15:40						
$N_1$ [kN]	42,27	49,03	41,85	47,28	46,65	47,67						
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	1,33	1,11	1,85	1,27	1,29	1,18						
$F_{Ru}^t$ [kN]	42,27	49,03	41,85	47,28	46,65	47,67						
kind of failure	CF	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												

Anhang 2.7

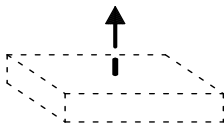
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d22x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.1</b>
anchor dimensions & test rigg connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 10 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\emptyset$ : Doli / 450 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC40/44 ; LC40-120731-1 strength / density : 47,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,74 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250x190x25 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 51,54$ kN $v = 9,51$ % $F_{Rk,NV}^t = 36,39$ kN $F_{Rk,log}^t = 38,73$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : 22,0$ mm		

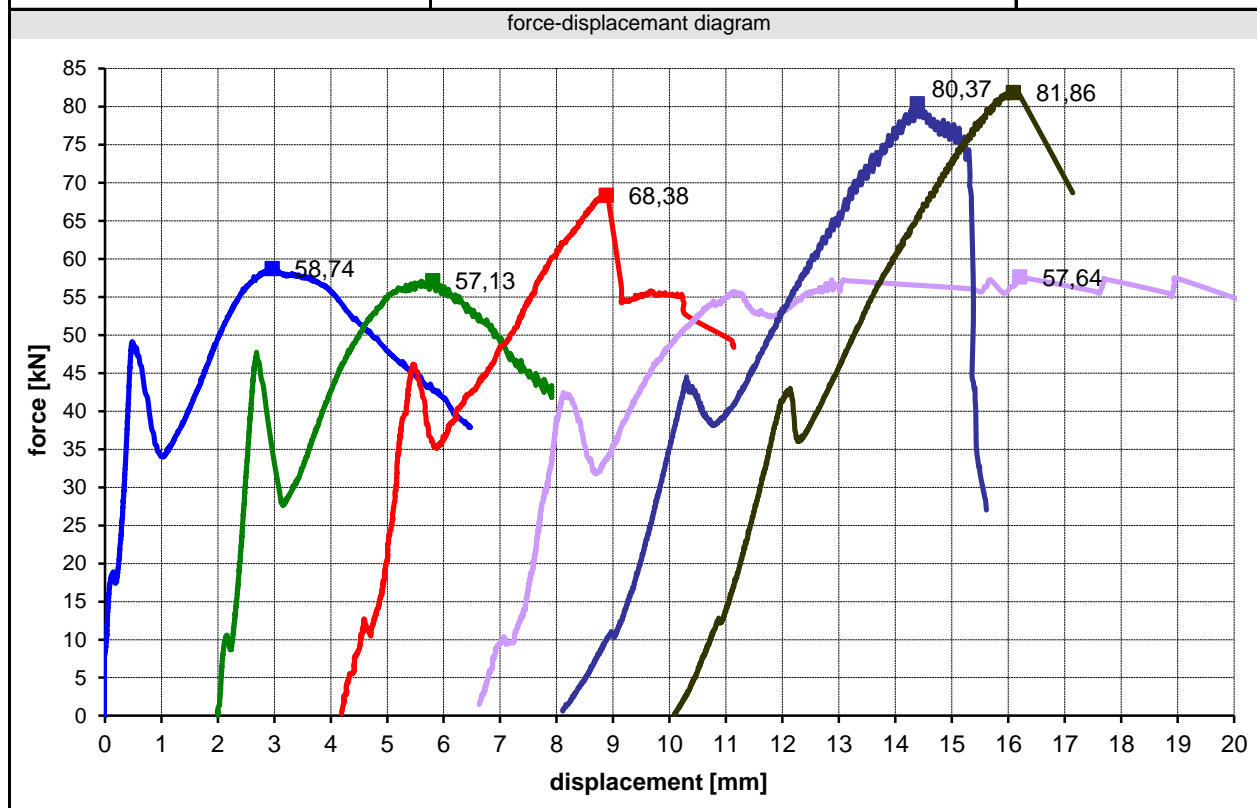


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--						
overstand [mm]	29,06	28,15	29,50	30,11	29,80	30,20						
cone depth [mm]	60,36	66,25	65,18	64,32	64,73	64,27						
date of test [dd.mm]	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10						
test time [hh:mm]	15:17	15:28	15:42	15:49	15:55	16:05						
$N_1$ [kN]	47,97	52,35	50,77	46,75	48,91	49,36						
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	0,50	0,38	0,44	0,30	3,43	3,08						
$F_{Ru}^t$ [kN]	47,97	52,35	50,77	46,75	60,63	50,80						
kind of failure	CF	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												



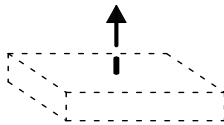
Anhang 2.8

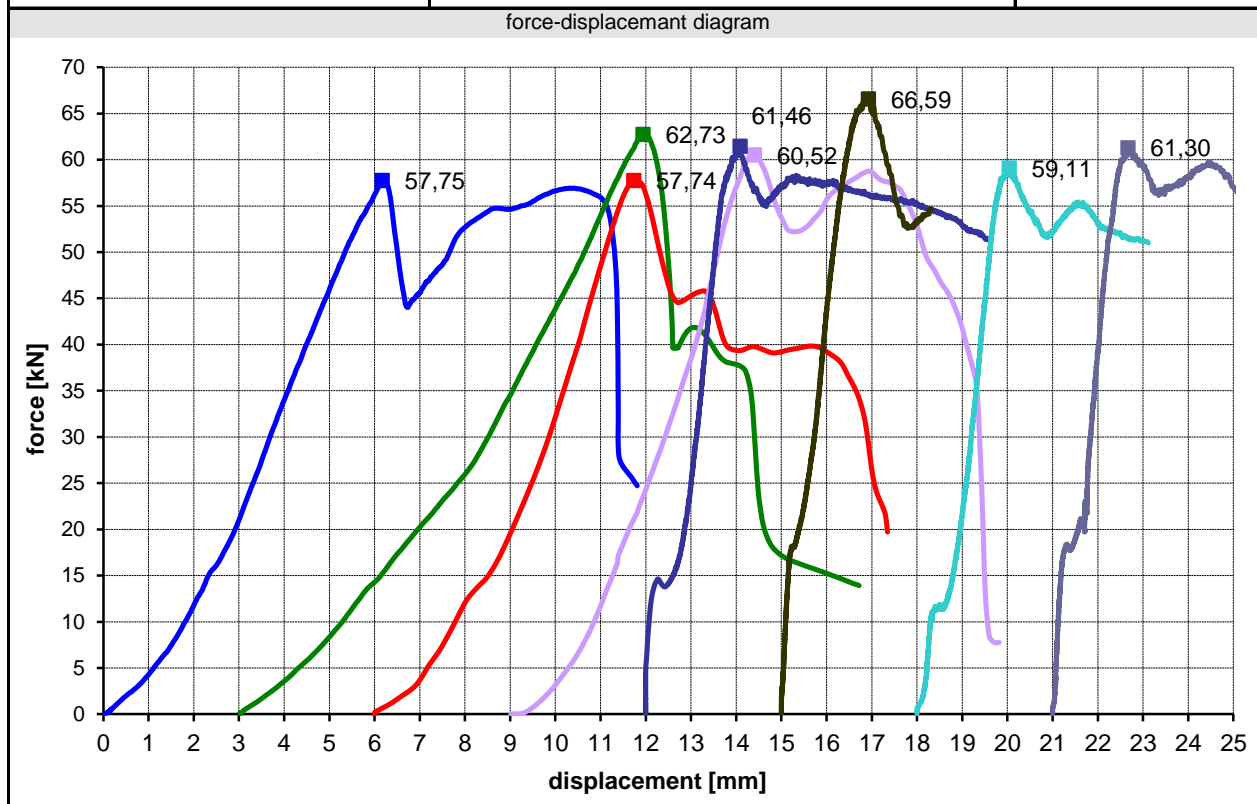
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d22x75</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.2</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 10 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120823-1 strength / density : 43,1 N/mm <sup>2</sup> / 1,757 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 250x190x25 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 67,35$ kN $v = 16,98$ % $F_{Rk,NV}^t = 31,99$ kN $F_{Rk,log}^t = 39,77$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : 22,0$ mm		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--						
overstand [mm]	29,29	29,66	28,00	29,62	28,43	29,46						
cone depth [mm]	66,59	66,36	65,35	63,58	65,64	65,13						
date of test [dd.mm]	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10	01.10						
test time [hh:mm]	16:33	16:43	16:52	17:00	17:11	17:23						
$N_1$ [kN]	49,10	47,75	46,18	42,19	44,52	43,01						
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	2,96	3,80	4,88	10,20	6,39	6,09						
$F_{Ru}^t$ [kN]	58,74	57,13	68,38	57,64	80,37	81,86						
kind of failure	CF	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												

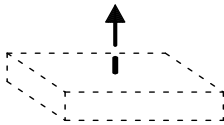
Anhang 2.9

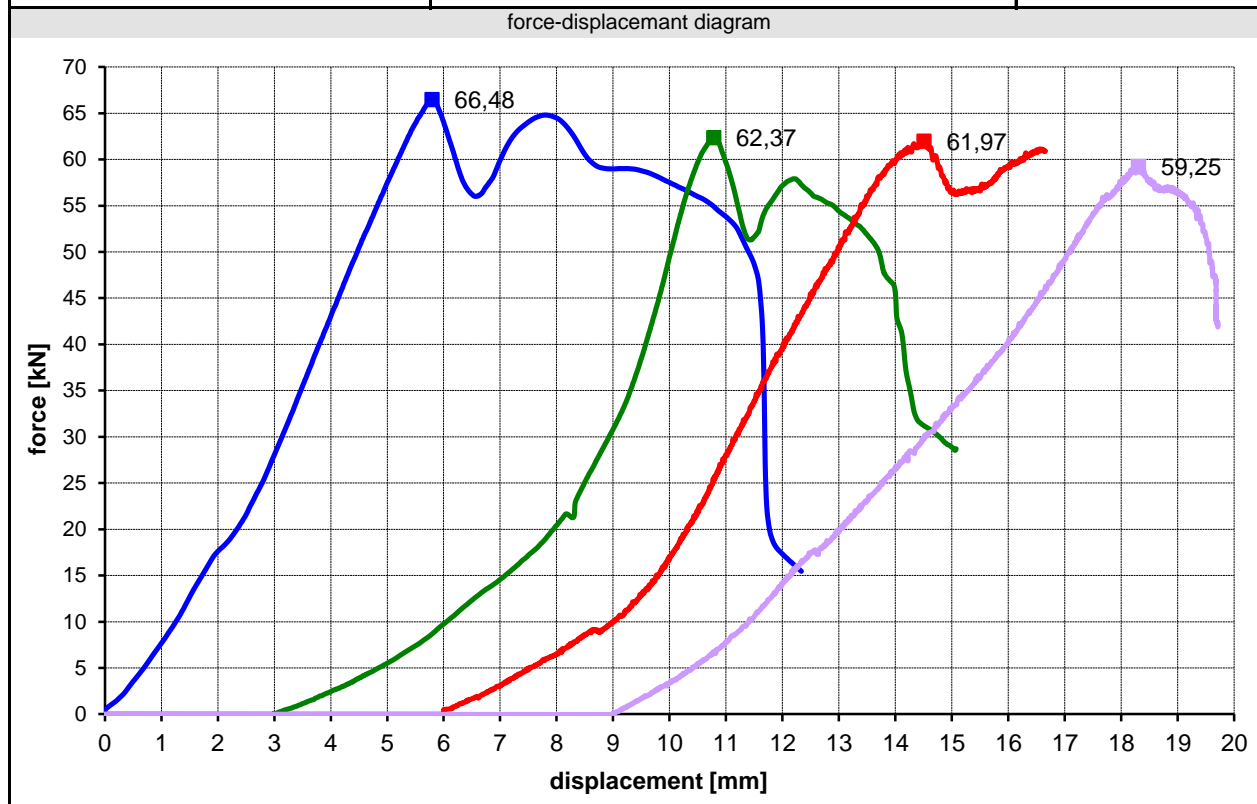
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x100</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.1</b>
anchor dimensions & test rigg connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 100 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\emptyset$ : Doli / 700 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120903-1 strength / density : 44,9 N/mm <sup>2</sup> / 1,869 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 160x160x20 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 60,90$ kN $v = 4,78$ % $F_{Rk,NV}^t = 52,88$ kN $F_{Rk,log}^t = 53,43$ kN
		$T_{inst} : --$ $h_{ef} : 100$ mm $t_{fix} : 16,0$ mm		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--	--	--	--	--				
overstand [mm]	29,06	27,64	26,54	26,69	25,07	26,46	29,38	26,22				
cone depth [mm]	--	--	--	--	--	--	--	--				
date of test [dd.mm]	10.10	10.10	02.11	02.11	05.11	05.11	05.11	05.11				
test time [hh:mm]	13:53	14:05	11:45	12:00	10:35	10:55	11:09	11:33				
$N_1$ [kN]	57,75	62,73	57,74	60,52	61,46	66,59	59,11	61,30				
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	7,18	8,94	5,73	5,41	2,09	1,93	2,04	1,67				
$F_{Ru}^t$ [kN]	57,75	62,73	57,74	60,52	61,46	66,59	59,11	61,30				
kind of failure	CF	CF	CF	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												

Anhang 2.10

project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d16x100</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A2.2</b>
anchor dimensions & test rigg connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 100 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 700 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation base material : LC 40/44 ; LC40-120906-1 strength / density : 46,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,869 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 160 x 160 x 20 cm <sup>3</sup>  tester : PK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 62,52$ kN $v = 4,77$ % $F_{Rk,NV}^t = 50,71$ kN $F_{Rk,log}^t = 51,78$ kN
		$T_{inst} : --$	$h_{ef} : 100$ mm	
		$t_{fix} : 16,0$ mm		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
anchor length [mm]	--	--	--	--								
overstand [mm]	27,64	26,76	28,91	23,43								
date of test [dd.mm]	10.10	10.10	02.11	02.11								
test time [hh:mm]	14:52	15:00	13:57	14:27								
$N_1$ [kN]	66,48	62,37	61,97	59,25								
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	5,79	7,78	8,51	9,30								
$F_{Ru}^t$ [kN]	66,48	62,37	61,97	59,25								
kind of failure	CF	CF	CF	CF								
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 3.1

project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>d16x50</b>	<b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		<b>A3</b>								
test rig		base material & installation		forces / statistics								
connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 50 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 295 mm test speed : 10 mm/min		base material : LC 20/22 ; LC20-130114-1 strength / density : 22,6 N/mm <sup>2</sup> / 1,274 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 220x177x20 cm <sup>3</sup>  tester : TA $T_{inst}$ : -- edge distance : 277 mm $h_{ef}$ : 50,0 mm temperature : 20,0 °C $t_{fix}$ : 16,0 mm		$F_{Ru,m}^t = 11,10$ kN $v = 8,45$ % $F_{Rk,NV}^t = 8,81$ kN $F_{Rk,log}^t = 8,99$ kN								
force-displacement diagram												
summary												
<b>test number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
anchor length [mm]	78,23	78,21	78,01	78,07	78,02	77,86	78,71	81,50	78,79	78,76	78,11	78,75
overstand [mm]	29,12	27,16	27,11	27,94	26,28	27,59	28,20	31,13	28,38	28,40	28,91	27,93
embed. depth [mm]	49,11	51,05	50,90	50,13	51,74	50,27	50,51	50,37	50,41	50,36	49,20	50,82
cone depth [mm]	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
edge distance [mm]	434/348	346	441/351	451/356	353	434/356	439/278	278	439/277	439/276	275	437/277
date of test [dd.mm]	22.03	22.03	22.03	25.03	25.03	25.03	27.03	27.03	27.03	27.03	27.03	27.03
test time [hh:mm]	12:22	12:17	12:10	17:53	17:58	18:04	14:04	14:15	14:24	16:10	16:30	16:40
$\delta_{FtRu}$ [mm]	1,49	1,67	0,50	1,07	0,01	0,65	0,32	0,45	0,01	0,45	0,00	0,53
$F_{Ru}^t$ [kN]	12,80	10,21	9,32	11,44	10,56	11,46	10,59	11,09	10,97	11,34	10,95	12,50
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF
annotation												
T4-6: LC20-130114-2 T7-12: LC20-130227-1 $f_{lc} = 20,2$ N/mm <sup>2</sup> $\rho_{lc} = 1,253$ kg/dm <sup>3</sup> kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 3.2

project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>d10x75</b>	<b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		<b>A3</b>								
test rig		base material & installation		forces / statistics								
connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 10 mm/min		base material : LC 20/22 ; LC20-130107-1 strength / density : 21,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,282 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 220x177x20 cm <sup>3</sup>  tester : TA $T_{inst}$ : -- edge distance : 353 mm $h_{ef}$ : 50,0 mm temperature : 20,0 °C $t_{fix}$ : 16,0 mm		$F_{Ru,m}^t = 22,80$ kN $v = 19,11$ % $F_{Rk,NV}^t = 12,13$ kN $F_{Rk,log}^t = 14,01$ kN								
force-displacemant diagram												
summary												
<b>test number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
anchor length [mm]	108,3	107,1	106,8	106,7	107,0	106,9	110,2	106,7	109,5	106,9	107,0	109,3
overstand [mm]	22,28	22,45	22,73	20,43	21,69	20,55	24,63	19,77	23,92	21,26	22,71	23,09
embed. depth [mm]	75,98	74,66	74,04	76,30	75,34	76,38	75,59	76,90	75,61	75,66	74,27	76,25
cone depth [mm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
edge distance [mm]	440/355	352	440/355	437/349	352	444/356	438/349	353	442/356	445/359	359	438/355
date of test [dd.mm]	14.03	14.03	14.03	20.03	20.03	20.03	21.03	21.03	21.03	25.03	25.03	25.03
test time [hh:mm]	15:17	16:12	16:26	13:07	13:18	13:36	15:58	16:07	16:15	13:10	13:15	13:28
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	1,47	1,84	7,05	1,69	1,08	1,79	6,70	2,68	5,04	3,40	1,18	5,90
$F_{Ru}^t$ [kN]	23,03	20,11	29,27	18,00	18,48	17,22	28,02	23,42	23,08	26,38	18,50	28,09
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF
annotation												
T7-12: LC20-130114-1 $f_{ic} = 22,6$ N/mm <sup>2</sup> $\rho_{lc} = 1,274$ kg/dm <sup>3</sup>												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

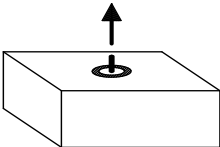
Anhang 3.3

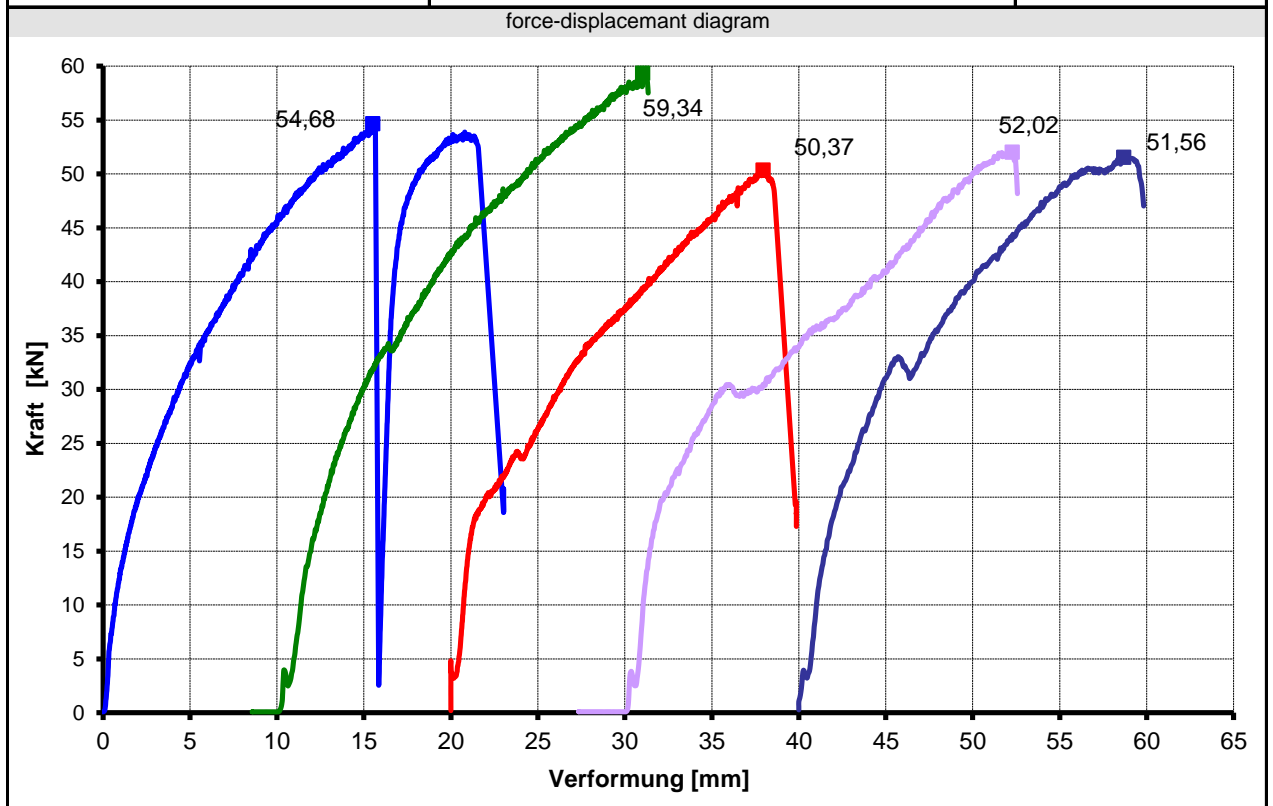
project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>d16x75</b>	<b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		<b>A3</b>								
test rig		base material & installation		forces / statistics								
connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 10 mm/min		base material : LC 20/22 ; LC20-130107-1 strength / density : 21,4 N/mm <sup>2</sup> / 1,282 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 220x177x20 cm <sup>3</sup>  tester : TA $T_{inst}$ : -- edge distance : 442 mm $h_{ef}$ : 75,0 mm temperature : 20,0 °C $t_{fix}$ : 16,0 mm		$F_{R_u,m}^t = 18,24$ kN $v = 5,71$ % $F_{R_k,NV}^t = 15,69$ kN $F_{R_k,log}^t = 15,88$ kN								
force-displacement diagram												
summary												
<b>test number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
anchor length [mm]	119,1	119,9	118,7	118,9	119,6	119,5	119,8	119,4	120,6	117,3	119,2	120,1
overstand [mm]	27,78	28,33	27,33	29,68	27,87	28,29	28,71	27,39	28,94	24,56	24,89	29,24
embed. depth [mm]	75,29	75,54	75,34	73,24	75,74	75,22	75,05	76,01	75,64	76,78	78,27	74,90
cone depth [mm]	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
edge distance [mm]	441	884	439	437/366	351	443	440	440	438	436/366	350	442
date of test [dd.mm]	15.03	15.03	15.03	15.03	15.03	15.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03
test time [hh:mm]	12:40	12:50	13:00	14:37	14:45	14:52	15:25	15:32	15:39	17:26	17:37	17:45
$\delta_{F_{tRu}}$ [mm]	1,08	1,15	1,05	0,81	0,88	1,12	0,31	0,53	0,56	1,14	1,03	1,22
$F_{R_u}^t$ [kN]	18,39	18,35	19,32	18,03	19,64	17,66	16,92	17,33	17,86	17,42	20,36	17,54
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF
annotation												
T7-12: LC20-130107-2 $f_{ic} = 22,9$ N/mm <sup>2</sup> $\rho_{lc} = 1,282$ kd/dm <sup>3</sup>												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 3.4

project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>d22x75</b>	<b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		<b>A3</b>								
test rig		base material & installation		forces / statistics								
connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 10 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 450 mm test speed : 10 mm/min		base material : LC 20/22 ; LC20-130114-1 strength / density : 22,6 N/mm <sup>2</sup> / 1,274 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 220x177x20 cm <sup>3</sup>  tester : TA $T_{inst}$ : -- edge distance : 584 mm $h_{ef}$ : 75,0 mm temperature : 20,0 °C $t_{fix}$ : 22,0 mm		$F_{Ru,m}^t = 22,09$ kN $v = 21,29$ % $F_{Rk,NV}^t = 10,57$ kN $F_{Rk,log}^t = 12,91$ kN								
force-displacement diagram												
summary												
<b>test number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
anchor length [mm]	127,4	127,2	128,5	128,2	127,7	127,0	127,3	127,9	127,1	127,2	129,1	127,1
overstand [mm]	30,04	27,95	29,82	30,23	31,42	27,75	29,24	29,43	29,41	28,95	29,84	29,86
embed. depth [mm]	75,33	77,25	76,70	75,94	74,29	77,27	76,06	76,51	75,66	76,24	77,24	75,21
cone depth [mm]	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
edge distance [mm]	441	883	441	451	887	441	436	733	437	733	435	435
date of test [dd.mm]	22.03	22.03	22.03	25.03	25.03	25.03	27.03	27.03	27.03	27.03	27.03	27.03
test time [hh:mm]	9:45	9:57	10:07	15:52	16:04	16:15	9:30	9:45	10:03	10:49	11:57	12:05
$\delta_{FtRu}$ [mm]	4,67	0,87	4,85	4,62	0,75	0,65	1,38	0,00	0,76	0,67	0,86	0,89
$F_{Ru}^t$ [kN]	27,03	19,33	29,15	27,81	18,89	17,18	26,87	16,21	20,36	19,33	25,00	17,88
kind of failure	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF
annotation												
T4-6: LC20-130114-2 T7-12: LC20-130227-1 $f_{lc} = 20,19$ N/mm <sup>2</sup> $\rho_{lc} = 1,253$ kg/dm <sup>3</sup> kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

Anhang 4.1

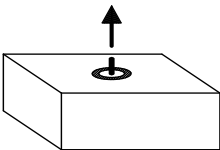
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d10x75x5,0</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.1</b>
anchor dimensions & test rig  connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 5,0 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 1-2:2;3-5:4mm/s		base material & installation  base material : LC 20/22 ; LC20-120614-1 strength / density : 27,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,244 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x15 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics  $F_{Ru,m}^t = 53,59$ kN $v = 6,68$ % $F_{Rk,NV}^t = 41,42$ kN $F_{Rk,log}^t = 42,86$ kN
		$T_{inst} : 5$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		

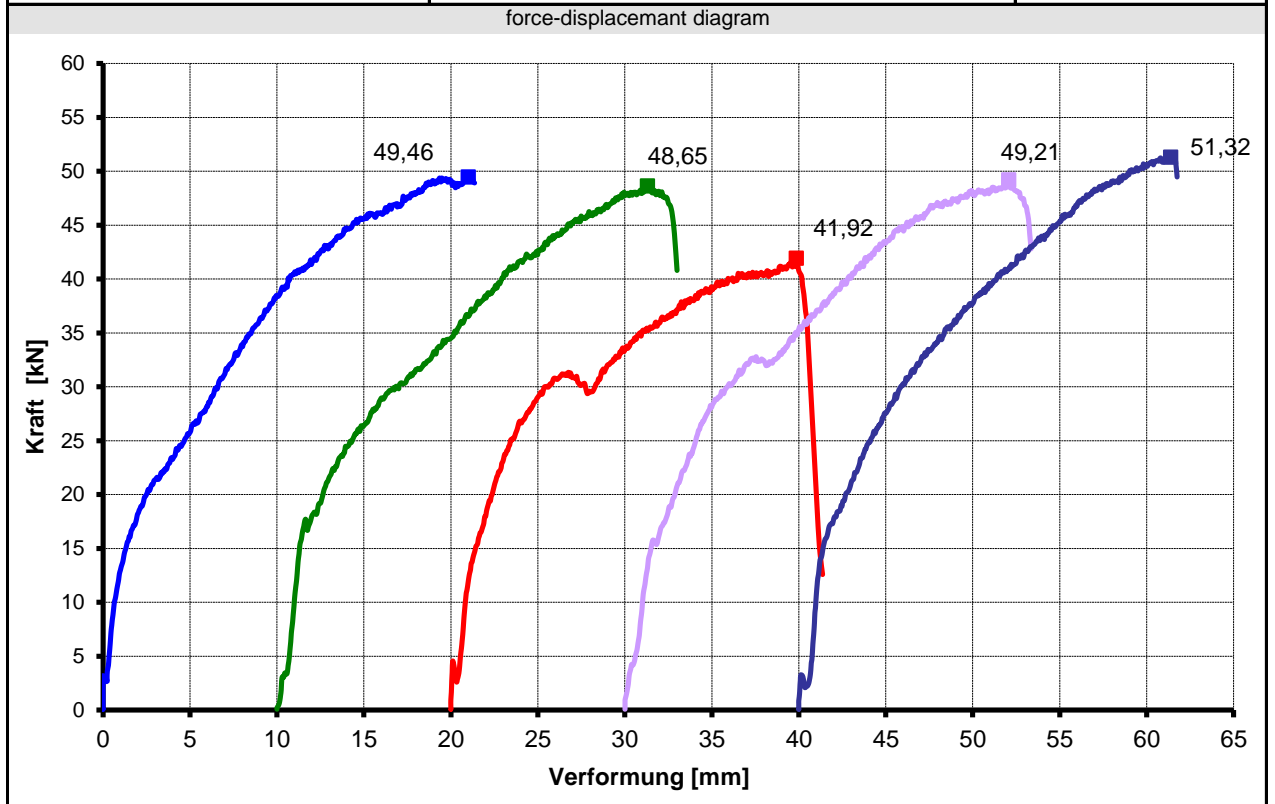


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	24,20	24,05	24,64	24,20	23,79							
date of test [dd.mm]	09.08	09.08	09.08	09.08	09.08							
test time [hh:mm]	11:24	11:48	12:07	12:52	13:02							
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	15,52	22,44	17,95	24,93	18,68							
$F_{Ru}^t$ [kN]	54,68	59,34	50,37	52,02	51,56							
kind of failure	Po	Po	Po	Po	Po							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												



Anhang 4.2

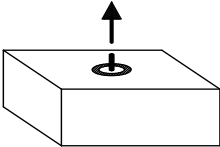
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d10x75x5,0</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.2</b>
anchor dimensions & test rigg connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 5,0 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 4 mm/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-120614-2 strength / density : 27,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,244 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 48,11$ kN $v = 7,49$ % $F_{Rk,NV}^t = 35,87$ kN $F_{Rk,log}^t = 36,79$ kN
		$T_{inst} : 5$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		

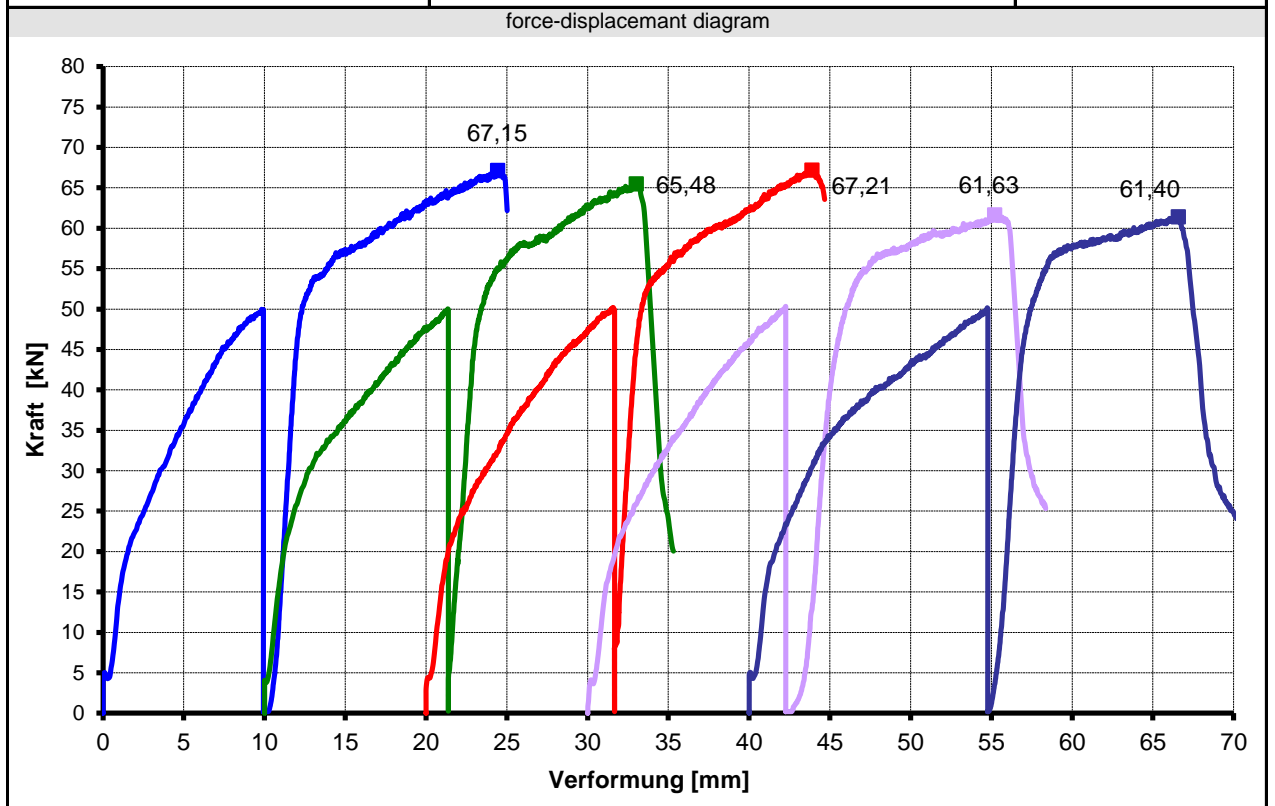


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	25,30	23,46	23,77	21,10	24,59							
date of test [dd.mm]	09.08	09.08	09.08	09.08	09.08							
test time [hh:mm]	15:45	15:56	16:07	16:18	16:29							
$\delta_{FtRu}$ [mm]	20,99	21,30	24,40	22,07	24,50							
$F_{Ru}^t$ [kN]	49,46	48,65	41,92	49,21	51,32							
kind of failure	Po	Po	Po	Po	Po							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												



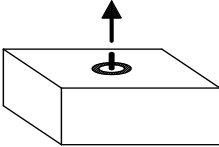
Anhang 4.4

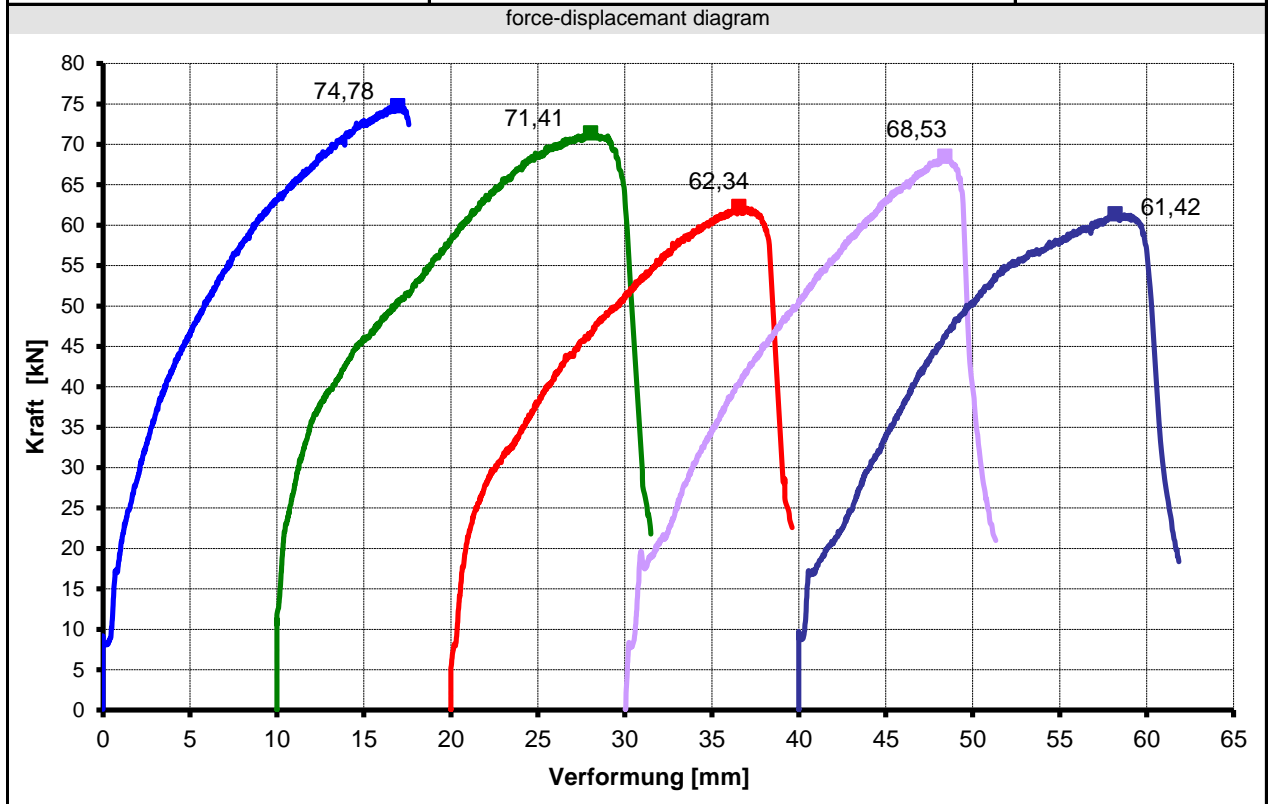
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d10x75x7,5</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.2</b>
anchor dimensions & test rig  connecting thread : M10 diameter of shaft $d_s$ : 10 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 10 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 2 mm/min		base material & installation  base material : LC 20/22 ; LC20-120508-2 strength / density : 24,5 N/mm <sup>2</sup> / 1,257 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics  $F_{Ru,m}^t = 64,57$ kN $v = 4,45$ % $F_{Rk,NV}^t = 54,79$ kN $F_{Rk,log}^t = 55,41$ kN
		$T_{inst} : 8$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	19,75	20,55	22,59	21,06	20,88							
date of test [dd.mm]	27.06	27.06	27.06	27.06	27.06							
test time [hh:mm]	14:37	14:48	14:57	15:06	15:17							
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]	24,43	23,02	23,90	25,21	26,57							
$F_{Ru}^t$ [kN]	67,15	65,48	67,21	61,63	61,40							
kind of failure	Po	Po	Po	Po	Po							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

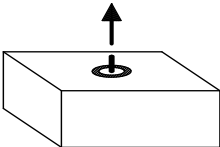
Anhang 4.5

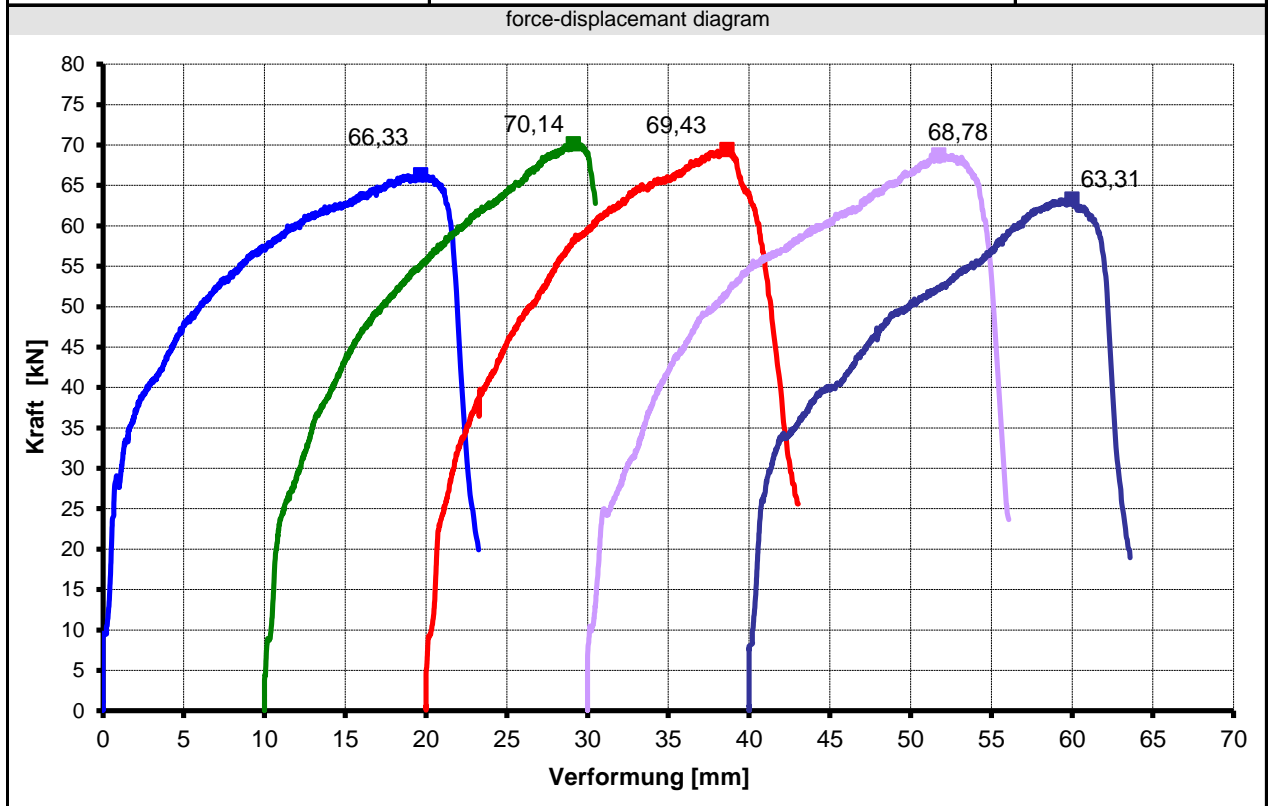
project <b>FV-Leichtbet. 11.02.26</b>	anchor size <b>d16x75x5,0</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.1</b>
anchor dimensions & test rigg connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 5,0 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 4 mm/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-120614-1 strength / density : 27,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,244 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 67,69$ kN $v = 8,51$ % $F_{Rk,NV}^t = 48,10$ kN $F_{Rk,log}^t = 50,50$ kN
		$T_{inst} : 5$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	29,12	28,82	29,09	28,17	27,57							
date of test [dd.mm]	09.08	09.08	09.08	09.08	09.08							
test time [hh:mm]	13:21	13:30	13:43	13:52	14:04							
$\delta_{FtRu}$ [mm]	16,93	18,04	16,55	18,40	18,19							
$F_{Ru}^t$ [kN]	74,78	71,41	62,34	68,53	61,42							
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												

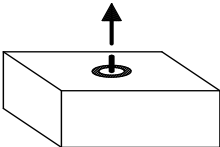
Anhang 4.6

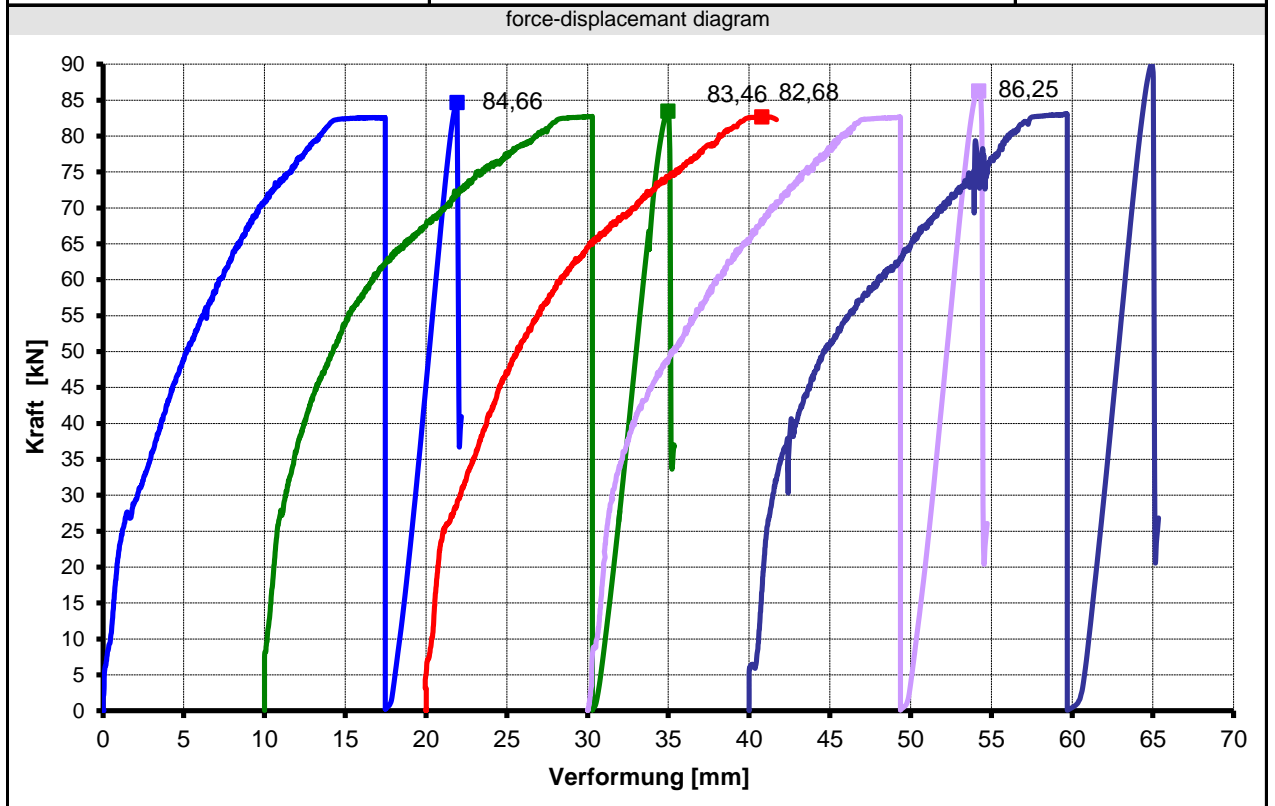
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75x5,0</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.2</b>
anchor dimensions & test rig  connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 5,0 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 4 mm/s		base material & installation  base material : LC 20/22 ; LC20-120614-2 strength / density : 27,8 N/mm <sup>2</sup> / 1,244 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics  $F_{Ru,m}^t = 67,60$ kN $v = 4,13$ % $F_{Rk,NV}^t = 58,10$ kN $F_{Rk,log}^t = 58,58$ kN
		$T_{inst} : 5$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	26,68	27,95	27,51	28,11	27,18							
date of test [dd.mm]	09.08	09.08	09.08	09.08	09.08							
test time [hh:mm]	14:42	14:54	15:06	15:20	15:32							
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	19,66	19,12	18,63	21,75	20,00							
$F_{Ru}^t$ [kN]	66,33	70,14	69,43	68,78	63,31							
kind of failure	Po	Po	Po	Po	Po							
annotation												
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting												

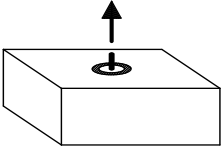
Anhang 4.7

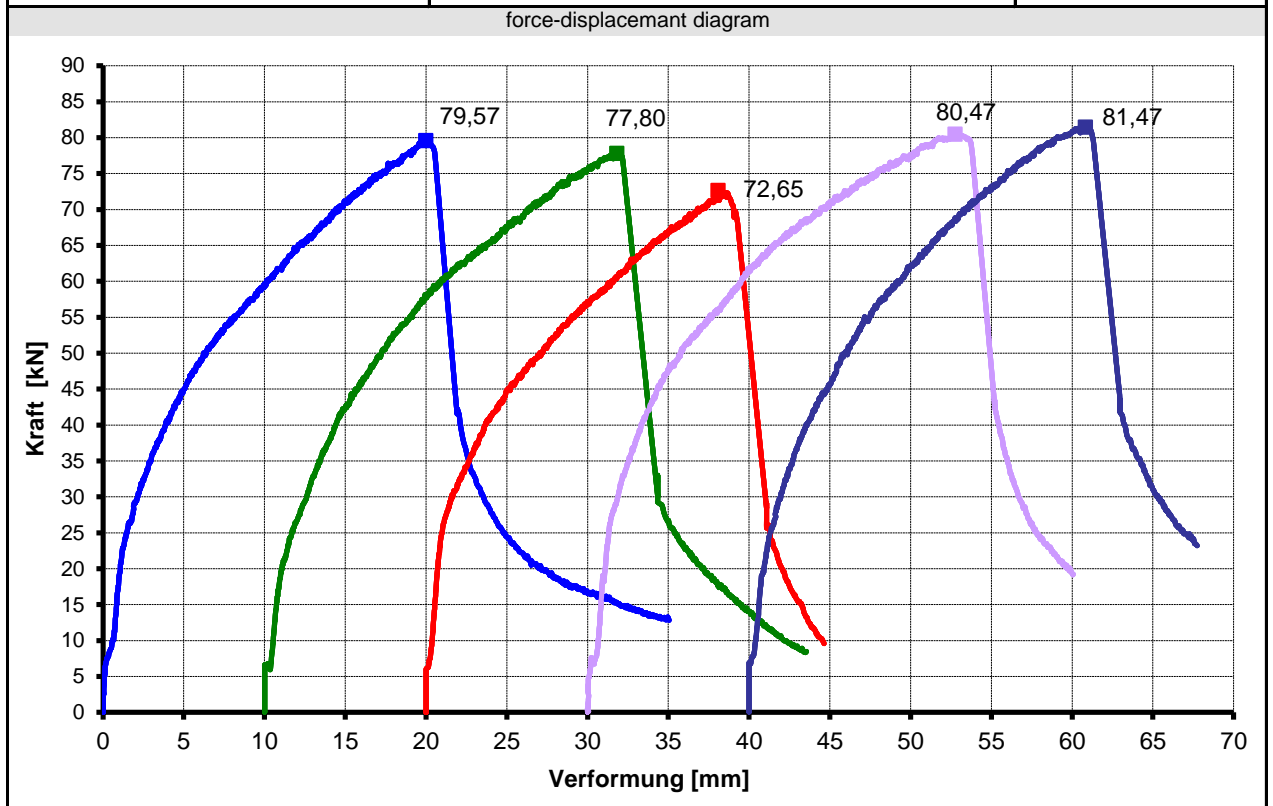
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75x7,5</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.1</b>
anchor dimensions & test rig  connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 4 mm/s		base material & installation  base material : LC 20/22 ; LC20-120508-1 strength / density : 24,5 N/mm <sup>2</sup> / 1,257 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x15 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics  $F_{Ru,m}^t = 85,43$ kN $v = 3,44$ % $F_{Rk,NV}^t = 75,44$ kN $F_{Rk,log}^t = 76,07$ kN
		$T_{inst} = 8$ Nm $h_{ef} = 75,0$ mm $t_{fix} = --$		



summary													
test number		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand	[mm]	27,52	27,11	27,33	29,30	29,48							
date of test	[dd.mm]	27.06	27.06	27.06	27.06	27.06							
test time	[hh:mm]	15:45	15:56	16:07	16:18	16:29							
$\bar{\delta}_{FtRu}$	[mm]	21,92	24,96	20,79	24,21	24,95							
$F_{Ru}^t$	[kN]	84,66	83,46	82,68	86,25	90,10							
kind of failure		CF	CF	CF	CF	CF							
annotation													
T1+2+4+5: Restart due to change of hydraulic equipment.													
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting													

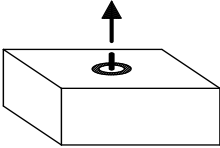
Anhang 4.8

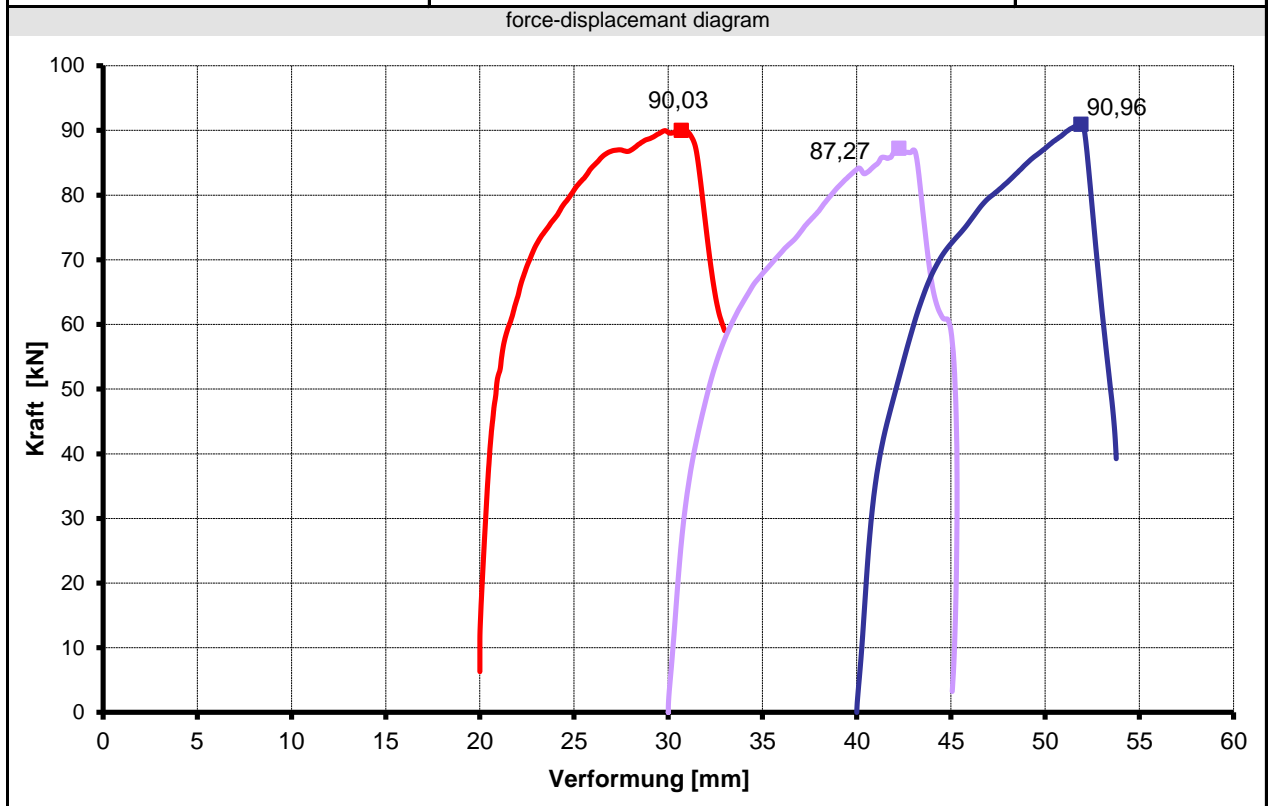
project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75x7,5</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.2</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : 4 mm/s		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-120508-2 strength / density : 24,5 N/mm <sup>2</sup> / 1,257 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK edge distance : temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 78,39$ kN $v = 4,44$ % $F_{Rk,NV}^t = 66,55$ kN $F_{Rk,log}^t = 67,13$ kN
		$T_{inst} = 8$ Nm $h_{ef} = 75,0$ mm $t_{fix} = --$		



test number	summary											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	25,74	26,73	28,30	26,37	24,92							
date of test [dd.mm]	27.06	27.06	27.06	27.06	27.06							
test time [hh:mm]	15:52	16:16	16:25	16:36	16:45							
$\bar{\sigma}_{FtRu}$ [mm]	19,98	21,80	18,08	22,76	20,81							
$F_{Ru}^t$ [kN]	79,57	77,80	72,65	80,47	81,47							
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												

Anhang 4.9

project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d16x75x10</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.1</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 10,0 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Enerpac / 47 mm test speed : --		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-120725-1 strength / density : 22,7 N/mm <sup>2</sup> / 1,243 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 89,42$ kN $v = 2,15$ % $F_{Rk,NV}^t = 79,23$ kN $F_{Rk,log}^t = 79,73$ kN
		$T_{inst} : 10$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		



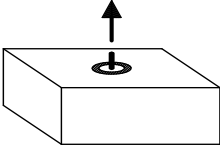
test number	summary											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	29,66	27,08	29,51	28,23	27,84							
date of test [dd.mm]	20.09	20.09	20.09	20.09	20.09							
test time [hh:mm]			14:12	14:25	14:48							
$\bar{\delta}_{FtRu}$ [mm]			10,69	12,23	11,88							
$F_{Ru}^t$ [kN]			90,03	87,27	90,96							
kind of failure			Po	Po	Po							

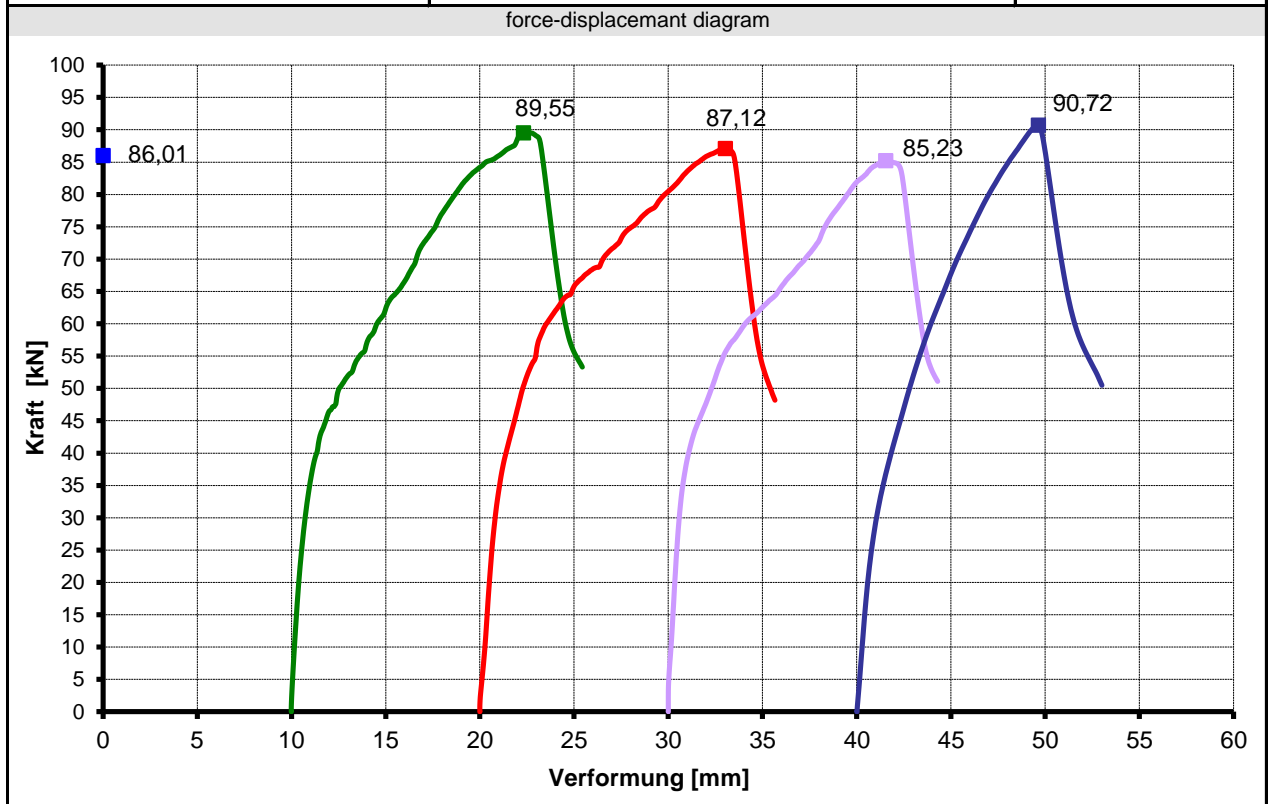
annotation

T1+2: Wrong load-introduction, no valid values  
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting



Anhang 4.10

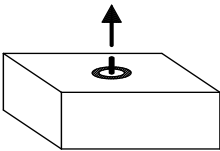
project <b>FV-Leichtbet.</b> <b>11.02.26</b>	anchor size <b>d16x75x10</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.2</b>
anchor dimensions & test rigg  connecting thread : M16 diameter of shaft $d_s$ : 16 mm width of shoulder $a_h$ : 10,0 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 16 mm  test dev. / $\varnothing$ : Enerpac / 47 mm test speed : --		base material & installation  base material : LC 20/22 ; LC20-120725-2 strength / density : 22,7 N/mm <sup>2</sup> / 1,243 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics  $F_{Ru,m}^t = 87,73$ kN $v = 2,66$ % $F_{Rk,NV}^t = 79,78$ kN $F_{Rk,log}^t = 80,13$ kN
		$T_{inst} : 10$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		

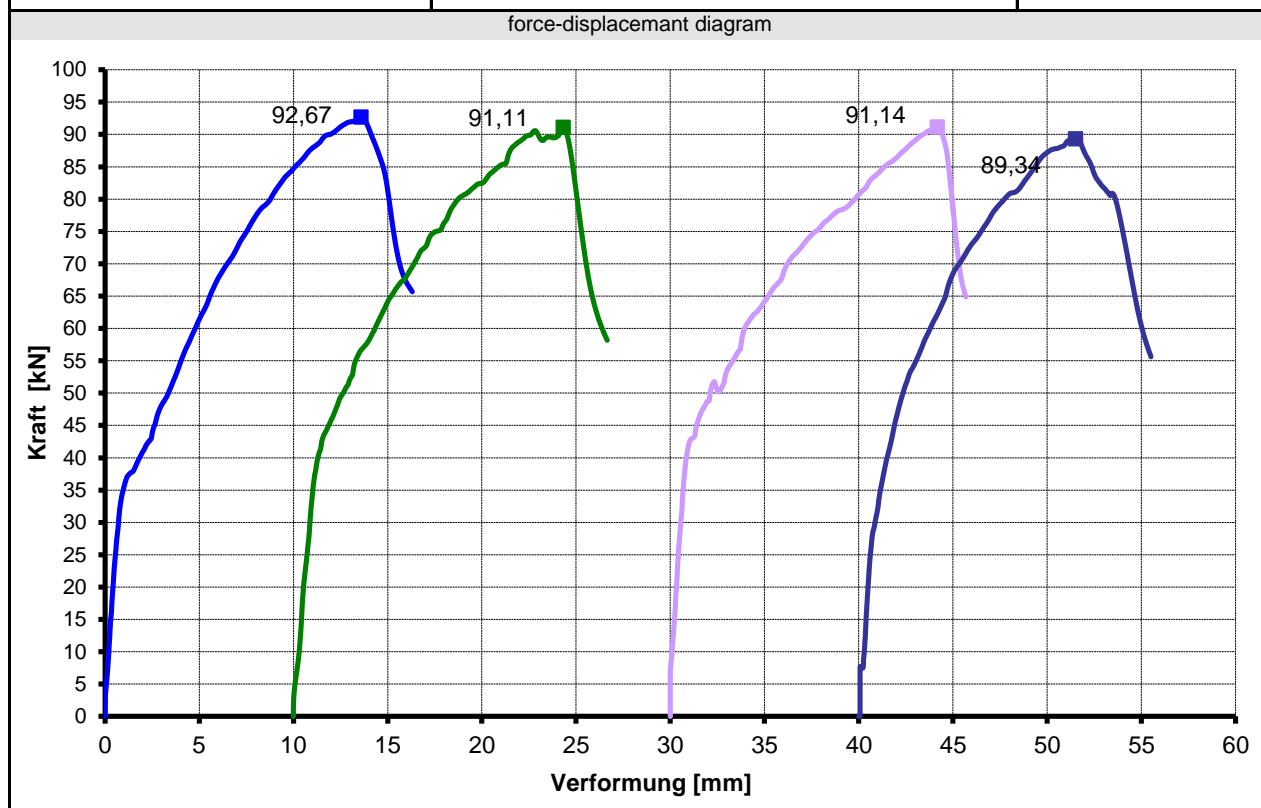


summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	30,18	30,44	29,31	30,51	27,54							
date of test [dd.mm]	20.09	20.09	20.09	20.09	20.09							
test time [hh:mm]	16:00	16:10	16:16	16:29	16:31							
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	0,00	12,31	13,03	11,54	9,63							
$F_{Ru}^t$ [kN]	86,01	89,55	87,12	85,23	90,72							
kind of failure	Po	Po	Po	Po	Po							

annotation  
T1: Failure of the displacement measurement  
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting

Anhang 4.11

project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d22x75x7,5</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.1</b>
anchor dimensions & test rig connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\varnothing$ : Doli / 47 mm test speed : --		base material & installation base material : LC 20/22 ; LC20-120725-1 strength / density : 22,7 N/mm <sup>2</sup> / 1,243 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics $F_{Ru,m}^t = 91,07$ kN $v = 1,49$ % $F_{Rk,NV}^t = 85,68$ kN $F_{Rk,log}^t = 85,82$ kN
		$T_{inst} : 8$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		

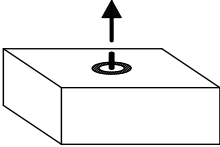


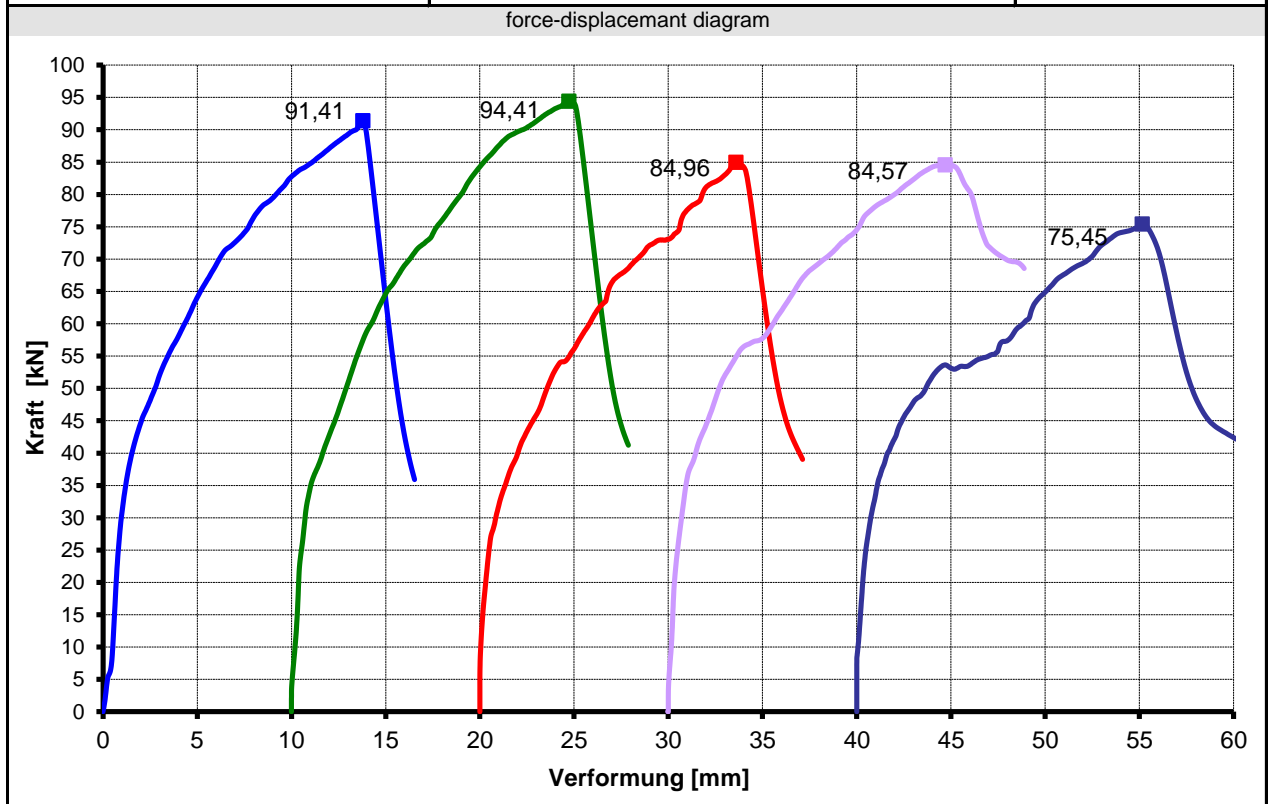
test number	summary											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	29,09	30,27	30,09	31,50	30,52							
date of test [dd.mm]	20.09	20.09		20.09	20.09							
test time [hh:mm]	13:20	13:31		13:44	13:51							
$\bar{\sigma}_{FtRu}$ [mm]	13,58	14,32		14,17	11,50							
$F_{Ru}^t$ [kN]	92,67	91,11		91,14	89,34							
kind of failure	Po	Po		Po	Po							

T3: Thread damaged, Testing impossible

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

Anhang 4.12

project <b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	anchor size <b>d22x75x7,5</b>	description of test <b>Charateristic resistance for tension loading not influenced by edge and spacing effects</b>		kind of test <b>A1conf.2</b>
anchor dimensions & test rigg  connecting thread : M22 diameter of shaft $d_s$ : 22 mm width of shoulder $a_h$ : 7,5 mm length of shaft $l_s$ : 75 mm height of head $h_k$ : 22 mm  test dev. / $\varnothing$ : Enerpac / 47 mm test speed : --		base material & installation  base material : LC 20/22 ; LC20-120725-2 strength / density : 22,7 N/mm <sup>2</sup> / 1,243 kg/dm <sup>3</sup> dimensions : 150x120x20 cm <sup>3</sup>  tester : MK temperature : 20,0 °C		forces / statistics  $F_{Ru,m}^t = 86,16$ kN $v = 8,50$ % $F_{Rk,NV}^t = 61,27$ kN $F_{Rk,log}^t = 64,00$ kN
		$T_{inst} : 8$ Nm $h_{ef} : 75,0$ mm $t_{fix} : --$		



summary												
test number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
overstand [mm]	30,54	29,29	30,90	29,98	30,40							
date of test [dd.mm]	24.09	24.09	24.09	24.09	24.09							
test time [hh:mm]	14:09	14:17	14:28	14:37	14:42							
$\bar{\delta}_{FRu}$ [mm]	13,79	14,72	13,59	14,70	15,15							
$F_{Ru}^t$ [kN]	91,41	94,41	84,96	84,57	75,45							
kind of failure	Po	Po	Po/CF	Po/CF	Po/CF							

annotation  
T3-5: Combined failure due to rough surface  
kind of failure : S = steel failure, Po = pull out, Pt = pull through, CF = failure of base material, Sp = splitting

Anhang 5.1.1

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-111124\_c150                      Prüfling : 150er Würfel                      Nennmaß d = 150 mm  
 Abmessungen [mm³] : 2500 x 1600 x 350                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstellungsdatum : 24.11.11                      Prüfdatum : 05.01.12                      Prüfer :

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (maximale Abweichung vom Nennmaß 0,5 % = 0,75 mm)</b>								
Länge1 oben	[mm]	149,88	150,18	150,06				+;+;+
Länge2 oben	[mm]	149,88	150,27	149,95				+;+;+
Länge3 oben	[mm]	149,61	150,14	149,98				+;+;+
Länge1 unten	[mm]	149,89	150,03	150,21				+;+;+
Länge2 unten	[mm]	149,99	150,07	150,23				+;+;+
Länge3 unten	[mm]	149,95	150,09	150,32				+;+;+
Breite1 oben	[mm]	148,56	149,80	150,21				-;+;+
Breite2 oben	[mm]	148,16	149,52	148,81				-;+;-
Breite3 oben	[mm]	147,84	147,00	149,85				-;-;+
Breite1 unten	[mm]	149,68	148,74	149,01				+;-;-
Breite2 unten	[mm]	149,68	149,43	149,00				+;+;-
Breite3 unten	[mm]	149,08	150,32	149,88				-;+;+
Höhe1	[mm]	150,19	150,00	149,81				+;+;+
Höhe2	[mm]	150,33	150,34	149,80				+;+;+
Höhe3	[mm]	149,90	150,04	149,99				+;+;+
Höhe4	[mm]	149,98	149,90	149,92				+;+;+
<b>Abweichung zwischen oberer Fläche und Grundfläche (maximal 1,0 %)</b>								
Abweichung	[%]	0,98	0,40	0,05				+;+;+
<b>Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,09 mm)</b>								
Ebenheit	[mm]							
<b>Rechtwinkligkeit der Würfelseiten (zulässige Abweichung ±0,5 mm)</b>								
Rechtwinkligkeit	[mm]							
<b>Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]</b>								
17.01.2012	16:00	5,290	5,337	5,477				
<b>Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]</b>								
17.01.2012	16:00							
Volumen	[m³]	0,003348	0,003360	0,003363				0,0034 m³
<b>Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)</b>								
05.01.2012	14:20	5,224	5,301	5,290				
25.01.2012	15:00	4,312	4,408	4,459				-;-;-
01.02.2012	14:20	4,217	4,282	4,380				-;-;-
18.02.2012	11:00	4,206	4,272	4,370				-;-;-
Rohdichte	[kg/m³]	1256						1256 kg/m³
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b> <span style="float: right;">Formfaktor : 1,00</span>								
max F	[kN]	605,0	586,5	624,3				(v = 3,02 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	27,12	26,19	27,82				27,0 N/mm²



Anhang 5.1.3

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-111005\_d100      Herstellungsdatum : 05.10.11  
Prüfdatum / Prüfer : 10.11.11      M.H.

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]							
Mittelwert								
Breite / Durchmesser	[mm]	94,7	94,6	94,3				
Mittelwert		94,5	94,3	94,6				
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	101,5	100,1	101,5				
Mittelwert		101,5	100,1	101,5				
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
Gewicht	[kg]							
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]							
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	222,6	229,5	223,0				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	33,3	34,5	33,5				

Formfaktor : 0,95

norm. Festigkeit  $f_{c,150} = 32,08 \text{ N/mm}^2$

$v = 1,89 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} =$

Anhang 5.1.4

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-111005\_c150

Herstelldatum : 05.10.11

Prüfdatum / Prüfer : 10.11.11 M.H.

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]	150,0	150,1	150,1				
		150,1	150,1	150,1				
Mittelwert		150,0	150,1	150,1				
Breite / Durchmesser	[mm]	149,8	146,0	149,2				
		147,7	146,2	148,1				
Mittelwert		148,8	146,1	148,7				
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	150,1	150,3	150,1				
		150,0	150,1	150,1				
Mittelwert		150,1	150,2	150,1				
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
08.12.2011	16:00				4,959	5,015	5,0	
15.12.2011	14:15				4,371	4,402	4,4	
21.12.2011	10:50				4,215	4,245	4,3	
10.01.2012	13:00				4,152	4,170	4,2	
12.01.2012	11:00				4,151	4,169	4,2	
Gewicht	[kg]				4,151	4,169	4,188	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,277	1,281	1,295	
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	723,0	671,0	655,0				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	32,4	30,6	29,4				

Formfaktor : 1,00

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 30,78 \text{ N/mm}^2$

$v = 4,97 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,284 \text{ kg/dm}^3$

$v = 1,44 \%$

Anhang 5.1.5

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-111005\_c150  
Herstelldatum : 14.09.11  
Prüfdatum / Prüfer : 19.10.11

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]	150,0	149,8	149,7	149,9	149,8	149,7	
		149,7	150,1	150,6	150,1	149,6	149,7	
Mittelwert		149,8	150,0	150,2	150,0	149,7	149,7	
Breite / Durchmesser	[mm]	148,6	147,1	147,3	147,1	147,9	149,2	
		149,8	147,3	145,7	147,8	148,1	147,9	
Mittelwert		149,2	147,2	146,5	147,4	148,0	148,5	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	149,8	149,7	149,6	149,9	149,6	149,8	
		149,9	150,4	149,7	149,7	149,7	149,9	
Mittelwert		149,9	150,0	149,6	149,8	149,7	149,9	
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
					5,143	5,111	5,187	
					4,198	4,170	4,194	
					4,159	4,132	4,175	
					4,147	4,122	4,171	
					4,140	4,116	4,167	
					4,138	4,114	4,165	
Gewicht	[kg]				4,138	4,114	4,165	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,249	1,241	1,250	
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	681,0	595,0	605,0				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	30,5	27,0	27,5				

Formfaktor : 1,00

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 28,3 \text{ N/mm}^2$

$v = 6,67 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,25 \text{ kg/dm}^3$

$v = 2,05 \%$



Anhang 5.1.6

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-110818\_c150      Herstellungsdatum : 18.08.11  
Prüfdatum / Prüfer : 14.09.11      MK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]	150,0	150,0	149,9	150,0	150,0	149,8	
		149,8	148,1	149,9	149,9	150,0	149,9	
Mittelwert		149,9	149,0	149,9	150,0	150,0	149,8	
Breite / Durchmesser	[mm]	149,2	148,8	150,1	145,1	146,7	144,8	
		149,7	149,9	148,9	150,4	151,2	149,1	
Mittelwert		149,4	149,3	149,5	147,7	148,9	146,9	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	150,1	149,9	150,1	150,1	150,0	150,2	
		150,3	150,0	150,1	150,2	150,4	150,3	
Mittelwert		150,2	150,0	150,1	150,1	150,2	150,3	
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
					4,904	4,905	5,0	
					4,040	4,062	4,2	
					4,049	4,012	4,2	
					4,041	4,072	4,2	
					4,050	4,074	4,2	
Gewicht	[kg]				4,040	4,012	4,161	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,215	1,195	1,258	
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	697,0	651,0	699,0				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	31,1	29,3	31,2				

Formfaktor : 1,00

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 30,5 \text{ N/mm}^2$

$v = 3,61 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,22 \text{ kg/dm}^3$

$v = 6,48 \%$

Anhang 5.1.7

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-110811\_c150      Herstelldatum : 11.08.11  
Prüfdatum / Prüfer : 10.10.11      MK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]	150,01	150,02	150,05	149,97	150,04	150,07	
		149,90	150,11	150,02	149,96	150,03	150,27	
Mittelwert		149,96	150,07	150,04	149,97	150,04	150,17	
Breite / Durchmesser	[mm]	148,91	149,28	149,03	139,72	136,86	136,69	
		149,26	149,37	148,07	138,70	136,73	136,79	
Mittelwert		149,09	149,33	148,55	139,21	136,80	136,74	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	150,07	149,91	149,91	150,00	150,27	150,11	
		150,06	149,95	149,95	150,04	150,15	150,25	
Mittelwert		150,07	149,93	149,93	150,02	150,21	150,18	
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
					4,804	4,716	4,866	
					4,002	3,867	4,040	
					3,954	3,843	3,991	
					3,940	3,835	3,978	
					3,936	3,833	3,974	
					3,935	3,832	3,973	
Gewicht	[kg]				3,935	3,832	3,973	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,256	1,243	1,288	
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	744,0	717,0	714,0				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	33,3	32,0	32,0				

Formfaktor : 1,00

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 32,4 \text{ N/mm}^2$

$v = 2,25 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,26 \text{ kg/dm}^3$

$v = 5,78 \%$

Anhang 5.1.8

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-110720\_c150      Herstelldatum : 20.07.11  
Prüfdatum / Prüfer : 19.08.11      RB

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
--	--	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------

**Probekörpergeometrie**

Länge	[mm]	150,0	149,9	149,9	149,8	150,1	149,7	
		150,0	150,0	149,9	150,0	149,7	149,7	
Mittelwert		150,0	150,0	149,9	149,9	149,9	149,7	
Breite / Durchmesser	[mm]	151,0	150,5	149,5	151,2	150,0	150,9	
		150,9	150,7	149,3	150,5	150,0	149,6	
Mittelwert		150,9	150,6	149,4	150,9	150,0	150,2	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	149,9	150,0	149,9	149,7	149,8	149,7	
		150,0	149,8	149,9	149,8	149,8	149,8	
Mittelwert		149,9	149,9	149,9	149,8	149,8	149,7	

**Gewicht bei luftfeuchter Lagerung**

					5,184	5,108	5,1	
					4,318	4,228	4,3	
					4,308	4,221	4,3	
					4,303	4,218	4,3	
Gewicht	[kg]				4,303	4,218	4,250	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,271	1,253	1,262	

**Maximale Kraft im Druckversuch**

max F	[kN]	657,0	636,0	648,0				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	29,0	28,2	28,9				

Formfaktor : 1,00

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 28,71 \text{ N/mm}^2$

$v = 1,65 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,26 \text{ kg/dm}^3$

$v = 3,40 \%$

Anhang 5.1.9

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-110621\_c150

Herstelldatum : 21.06.11

Prüfdatum / Prüfer : 22.07.11

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]	150,0	149,7	150,1	150,0	149,9	150,0	
		150,0	149,8	150,0	150,0	150,0	150,2	
Mittelwert		150,0	149,7	150,0	150,0	149,9	150,1	
Breite / Durchmesser	[mm]	150,4	148,8	150,0	150,4	150,2	148,2	
		149,5	148,8	150,9	151,4	149,8	149,7	
Mittelwert		149,9	148,8	150,4	150,9	150,0	149,0	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	150,0	149,8	150,0	150,0	149,9	150,1	
		150,1	149,7	150,0	150,2	149,9	150,0	
Mittelwert		150,1	149,8	150,0	150,1	149,9	150,1	
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
			4,426	4,496	4,577			
			4,348	4,414	4,495			
			4,303	4,374	4,459			
			4,117	4,189	4,283			
			4,114	4,186	4,280			
			4,114	4,185	4,280			
Gewicht	[kg]		4,114	4,185	4,280			
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]		1,233	1,236	1,260			
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	551,0				662,0	639,0	
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	24,5				29,4	28,6	

Formfaktor : 1,00

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 27,51 \text{ N/mm}^2$

$v = 9,59 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,24 \text{ kg/dm}^3$

$v = 6,70 \%$

Anhang 5.1.10

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-110621-d10-50      Herstelldatum : 21.06.11  
Prüfdatum / Prüfer : 01.08.11      MiH

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]							
Mittelwert								
Breite / Durchmesser	[mm]	99,2	99,2	99,4	99,6	99,5	99,4	
Mittelwert		99,4	99,3	99,3	99,4	99,3	99,5	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	101,8	100,0	102,1	101,9	99,4	101,9	
Mittelwert		101,8	100,2	102,1	102,0	99,7	101,9	
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
					1,162	1,132	1,164	
					1,016	0,982	1,012	
					0,987	0,957	0,987	
					0,986	0,956	0,986	
					0,986	0,956	0,986	
Gewicht	[kg]				0,986	0,956	0,986	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,246	1,237	1,245	
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	210,8	184,5	196,5				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	28,6	25,1	26,7				

Formfaktor : 0,95

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 26,80 \text{ N/mm}^2$

$v = 6,56 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,24 \text{ kg/dm}^3$

$v = 1,39 \%$

Anhang 5.1.11

Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Betonkörper : LC20-110621-d16-50      Herstelldatum : 21.06.11  
Prüfdatum / Prüfer : 01.08.11      MiH

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]							
Mittelwert								
Breite / Durchmesser	[mm]	99,9	99,2	97,3	99,2	99,1	99,4	
Mittelwert		99,5	99,2	98,7	99,5	99,3	99,3	
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	102,2	100,9	99,1	101,8	101,1	99,2	
Mittelwert		102,0	101,0	98,9	101,3	101,0	99,0	
		102,1	101,0	99,0	101,5	101,0	99,1	
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
					1,156	1,159	1,149	
					1,002	0,996	0,991	
					0,987	0,982	0,974	
					0,987	0,982	0,974	
					0,987	0,982	0,974	
Gewicht	[kg]				0,987	0,982	0,974	
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]				1,249	1,256	1,269	
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	189,6	185,9	204,2				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	25,6	25,3	28,1				

Formfaktor : 0,95

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 26,36 \text{ N/mm}^2$

$v = 5,80 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} = 1,26 \text{ kg/dm}^3$

$v = 0,52 \%$



## Anhang 5.2.2

### Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120531-d100-1                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 2050 x 1900 x 200                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstellungsdatum : 31.05.12                      Prüfdatum : 16.08.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,23	94,14	94,10				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,18	94,13	94,16				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,14	94,16	94,23				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,16	94,18	94,17				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,23	94,16	94,16				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,19	94,17	94,19				
Höhe1	[mm]	101,84	100,84	101,48				
Höhe2	[mm]	101,95	100,74	101,42				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

#### Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung $\pm 0,0006xd = 0,06$ mm)

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

#### Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung $\pm 0,5$ mm)

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

#### Masse des wassergesättigten Probekörpers $m_a$ [kg]

--	--	--	--	--	--	--	--	--

#### Masse des Probekörpers unter Wasser $m_w$ (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]

					0,730	0,697	0,7	
Volumen	[m³]				0,000731	0,000698	0,000708	0,0007 m³

#### Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 $\pm$ 5) °C (Konstanz bei Abweichung $\leq 0,2$ % innerhalb 24 h)

		1,369	1,337	1,365	1,395	1,381	1,387	16.08.2012
					1,241	1,224	1,234	;--;-
					1,239	1,223	1,232	;+;+;
Rohdichte	[kg/m³]				1694	1751	1739	1728 kg/m³

#### Maximale Kraft im Druckversuch

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	320,0	346,0	342,0				(v = 4,20 %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	45,93	49,69	49,11				48,2 N/mm²
ggfls. Bruchbild								



Anhang 5.2.3

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120531-d100-2

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2050 x 1900 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Ja

Herstelldatum : 31.05.12

Prüfdatum : 05.10.12

Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,23	94,20	94,23				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,23	94,20	94,23				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,23	94,20	94,23				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,23	94,20	94,23				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,23	94,20	94,23				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,23	94,20	94,23				
Höhe1	[mm]	104,53	104,40	103,81				
Höhe2	[mm]	104,53	104,40	103,81				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006 \times d = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000729	0,000728	0,000724				0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	--	--	--	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2\%$  innerhalb 24 h)**

		1,369	1,337	1,365				
Rohdichte	[kg/m³]	1878	1838	1885				1867 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	337,0	372,0	370,8				(v = 5,54 %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	48,32	53,38	53,17				51,6 N/mm²
ggfls. Bruchbild								



Anhang 5.2.5

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120625-d100-1                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 2050 x 1900 x 200                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstellungsdatum : 25.06.12                      Prüfdatum : 16.08.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,09	94,09	94,10	94,11	94,10	94,18	
Durchmesser2 oben	[mm]	94,15	94,14	94,14	94,15	94,17	94,19	
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,13	94,11	94,15	94,11	94,19	94,17	
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,15	94,14	94,13	94,14	94,18	94,19	
Durchmesser1 unten	[mm]	94,18	94,15	94,15	94,14	94,19	94,15	
Durchmesser1 unten	[mm]	94,15	94,15	94,13	94,15	94,19	94,19	
Höhe1	[mm]	102,11	102,20	102,07	100,78	101,31	104,24	
Höhe2	[mm]	102,09	102,16	102,08	100,70	101,30	104,30	
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,06 mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung ±0,5 mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000711	0,000711	0,000710	0,000701	0,000706	0,000726	0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)**

		1,385	1,379	1,372	1,358	1,360	1,419	
Rohdichte	[kg/m³]	1949	1939	1931	1937	1927	1954	1940 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	306,5	294,0	289,4	298,2	306,8	297,9	(v = 2,28 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	44,03	42,25	41,58	42,85	44,05	42,76	42,9 N/mm²
ggfls. Bruchbild								

Anhang 5.2.6

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120625-d100-2                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 2050 x 1900 x 200                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstellungsdatum : 25.06.12                      Prüfdatum : 05.10.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,21	94,25	94,18				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,13	94,25	94,18				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,13	94,25	94,18				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,13	94,25	94,18				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,13	94,25	94,18				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,13	94,25	94,18				
Höhe1	[mm]	102,95	102,36	105,43				
Höhe2	[mm]	102,95	102,36	105,43				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,06 mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung ±0,5 mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000717	0,000714	0,000734				0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	--	--	--	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)**

		1,359	1,359	1,404				
Rohdichte	[kg/m³]	1896	1903	1912				1904 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	349,8	358,6	360,9				(v = 1,58 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	50,25	51,40	51,81				51,2 N/mm²
ggfls. Bruchbild								

## Anhang 5.2.7

### Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120731-c150

Prüfling : 150er Würfel

Nennmaß d = 150 mm

Abmessungen [mm³] : 2500 x 1900 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Ja

Herstelldatum : 31.07.12

Prüfdatum : 03.10.12

Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (maximale Abweichung vom Nennmaß 0,5 % = 0,75 mm)</b>								
Länge1 oben	[mm]	149,99	150,03	149,69				++;+
Länge2 oben	[mm]	150,11	150,08	149,93				++;+
Länge3 oben	[mm]	150,29	150,17	150,27				++;+
Länge1 unten	[mm]	150,06	150,24	149,85				++;+
Länge2 unten	[mm]	150,09	150,10	149,69				++;+
Länge3 unten	[mm]	149,76	150,24	151,54				++;-
Breite1 oben	[mm]	150,28	148,52	150,76				+-;-
Breite2 oben	[mm]	150,11	148,83	150,75				+-;-
Breite3 oben	[mm]	150,26	148,87	151,30				+-;-
Breite1 unten	[mm]	149,67	151,44	150,22				+-;-
Breite2 unten	[mm]	150,45	150,81	149,99				+-;-
Breite3 unten	[mm]	150,81	149,69	149,89				-;+;+
Höhe1	[mm]	150,05	150,34	149,99				++;+
Höhe2	[mm]	150,02	150,28	150,03				++;+
Höhe3	[mm]	150,10	150,63	150,01				++;+
Höhe4	[mm]	150,02	150,21	149,97				++;+
<b>Abweichung zwischen oberer Fläche und Grundfläche (maximal 1,0 %)</b>								
Abweichung	[%]	0,04	1,35	0,34				+-;-
<b>Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,09 mm)</b>								
Ebenheit	[mm]							
<b>Rechtwinkligkeit der Würfelseiten (zulässige Abweichung ±0,5 mm)</b>								
Rechtwinkligkeit	[mm]							
<b>Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]</b>								
<b>Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]</b>								
					3,345	3,370	3,392	
Volumen	[m³]				0,003352	0,003377	0,003399	0,0034 m³
<b>Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)</b>								
		6,397	6,483	6,589	6,390	6,709	6,604	05.10.2012
					5,785	6,129	6,010	;-;-
					5,713	6,045	5,926	;-;-
					5,701	6,025	5,912	;-;-
					5,698	6,021	5,909	++;+
					5,698	6,021	5,908	++;+
					5,697	6,020	5,9	++;+
Rohdichte	[kg/m³]				1700	1783	1738	1740 kg/m³
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	998,0	1089,0	1148,0				(v = 6,92 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	44,26	48,45	50,80				47,8 N/mm²
ggfls. Bruchbild								

Formfaktor : 1,00

Anhang 5.2.8

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120731-d100                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 2500 x 1900 x 200                      Verwendung kalibrierter Formen? Nein  
 Herstellungsdatum : 31.07.12                      Prüfdatum : 05.10.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,15	94,18	94,16				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,15	94,18	94,16				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,15	94,18	94,16				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,15	94,18	94,16				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,15	94,18	94,16				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,15	94,18	94,16				
Höhe1	[mm]	96,93	106,40	103,44				
Höhe2	[mm]	96,93	106,40	103,44				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,06 mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung ±0,5 mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000675	0,000741	0,000720				0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	--	--	--	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)**

		1,284	1,364	1,322				
Rohdichte	[kg/m³]	1903	1840	1835				1859 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	337,1	276,4	289,0				(v = 10,68 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	48,42	39,68	41,50				43,2 N/mm²
ggfls. Bruchbild								



Anhang 5.2.10

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120823-d100

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2500 x 1900 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Ja

Herstelldatum : 23.08.12

Prüfdatum : 05.10.12

Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,26	94,25	94,26				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,26	94,25	94,26				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,26	94,25	94,26				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,26	94,25	94,26				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,26	94,25	94,26				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,26	94,25	94,26				
Höhe1	[mm]	103,94	106,60	101,93				
Höhe2	[mm]	103,94	106,60	101,93				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006 \times d = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000725	0,000744	0,000711				0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	--	--	--	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105  $\pm$ 5) °C (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

		1,395	1,427	1,345				
Rohdichte	[kg/m³]	1923	1919	1891				1911 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	311,6	281,0	276,9				(v = 6,54 %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	44,65	40,28	39,68				41,5 N/mm²
ggfls. Bruchbild								







Anhang 5.2.13

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120903-d100-1                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 1600 x 1600 x 250                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstelldatum : 03.09.12                      Prüfdatum 06.11.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,45	94,66	94,44	94,53	94,51		
Durchmesser2 oben	[mm]	94,47	94,60	94,53	94,59	94,49		
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,56	94,47	94,54	94,50	94,47		
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,57	94,47	94,55	94,45	94,49		
Durchmesser1 unten	[mm]	94,50	94,52	94,48	94,45	94,47		
Durchmesser1 unten	[mm]	94,48	94,47	94,45	94,50	94,50		
Höhe1	[mm]	103,20	104,84	103,99	105,08	104,61		
Höhe2	[mm]	103,28	104,83	103,98	105,14	104,55		
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,06 mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung ±0,5 mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000724	0,000736	0,000729	0,000737	0,000733		0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	----------	----------	--	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)**

		1,349	1,367	1,381	1,397	1,389		
Rohdichte	[kg/m³]	1863	1858	1894	1895	1894		1881 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	287,3	299,8	317,8	324,3	311,0		(v = 4,79 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	40,96	42,72	45,31	46,23	44,35		43,9 N/mm²
ggfls. Bruchbild								







Anhang 5.2.17

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120906-d100-1                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 1600 x 1600 x 250                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstelldatum : 06.09.12                      Prüfdatum : 06.11.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,59	94,57	94,57	94,42	94,54	94,41	
Durchmesser2 oben	[mm]	94,56	94,51	94,59	94,44	94,53	94,43	
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,56	94,51	94,64	94,44	94,46	94,45	
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,53	94,49	94,54	94,46	94,48	94,41	
Durchmesser1 unten	[mm]	94,58	94,56	94,51	94,47	94,43	94,42	
Durchmesser1 unten	[mm]	94,55	94,59	94,63	94,49	94,48	94,48	
Höhe1	[mm]	103,30	103,73	101,91	104,25	104,62	104,18	
Höhe2	[mm]	103,15	103,77	101,91	104,19	104,58	104,23	
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006 \times d = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000725	0,000728	0,000716	0,000730	0,000733	0,000730	0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$  (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

		1,308	1,334	1,361	1,351	1,383	1,342	
Rohdichte	[kg/m³]	1804	1832	1901	1850	1886	1839	1852 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	306,9	302,7	333,0	299,0	342,0	297,0	( $v = 6,07$ %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	43,70	43,12	47,40	42,67	48,77	42,40	44,7 N/mm²
ggfls. Bruchbild								

Anhang 5.2.18

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC40-120906-d100-2                      Prüfling : Bohrkern                      Nennmaß d = 100 mm  
 Abmessungen [mm³] : 1600 x 1600 x 250                      Verwendung kalibrierter Formen? Ja  
 Herstellungsdatum : 06.09.12                      Prüfdatum : 14.11.12                      Prüfer : PK

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]							
Durchmesser2 oben	[mm]							
Durchmesser1 mitte	[mm]							
Durchmesser2 mitte	[mm]							
Durchmesser1 unten	[mm]							
Durchmesser1 unten	[mm]							
Höhe1	[mm]							
Höhe2	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006 \times d = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

					0,761	0,724	0,730	
Volumen	[m³]				0,000763	0,000725	0,000731	0,0007 m³

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105  $\pm$  5) °C (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

					1,449	1,323	1,401	14.11.2012
					1,320	1,199	1,271	;--;-
					1,318	1,198	1,270	;+;+;+
Rohdichte	[kg/m³]				1728	1651	1736	1705 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]							
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]							
ggfls. Bruchbild								



### Anhang 5.3.1

#### Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130107\_c150

Prüfling : 150er Würfel

Nennmaß d = 150 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 1700 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Ja

Herstelldatum : 07.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (maximale Abweichung vom Nennmaß 0,5 % = 0,75 mm)</b>								
Länge1 oben	[mm]	150,07	150,28	149,93				+,+,+
Länge2 oben	[mm]	150,27	150,36	150,18				+,+,+
Länge3 oben	[mm]	150,19	150,34	149,99				+,+,+
Länge1 unten	[mm]	150,22	150,06	149,92				+,+,+
Länge2 unten	[mm]	150,51	150,26	149,92				+,+,+
Länge3 unten	[mm]	150,50	150,25	149,99				+,+,+
Breite1 oben	[mm]	151,95	157,87	156,18				-;-;
Breite2 oben	[mm]	151,06	158,50	158,41				-;-;
Breite3 oben	[mm]	151,64	156,08	158,36				-;-;
Breite1 unten	[mm]	150,94	155,87	156,89				-;-;
Breite2 unten	[mm]	150,64	158,45	158,67				+,;-;
Breite3 unten	[mm]	149,98	157,61	156,94				+,;-;
Höhe1	[mm]	150,66	150,27	150,11				+,+,+
Höhe2	[mm]	150,31	150,70	150,14				+,+,+
Höhe3	[mm]	150,49	150,47	150,16				+,+,+
Höhe4	[mm]	150,35	150,51	150,04				+,+,+
<b>Abweichung zwischen oberer Fläche und Grundfläche (maximal 1,0 %)</b>								
Abweichung	[%]	0,53	0,20	0,16				+,+,+
<b>Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,09 mm)</b>								
Ebenheit	[mm]							
<b>Rechtwinkligkeit der Würfelseiten (zulässige Abweichung ±0,5 mm)</b>								
Rechtwinkligkeit	[mm]							
<b>Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]</b>								
<b>Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]</b>								
Volumen	[m³]	0,003415	0,003559	0,003548				0,0035 m³
<b>Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)</b>								
28.05.2013		4,580	4,437	4,518				
04.06.2013		4,567	4,425	4,506				-;-;
11.06.2013		4,561	4,421	4,502				+,+,+
13.06.2013		4,561	4,421	4,502				+,+,+
Rohdichte	[kg/m³]	1335	1242	1269				1282 kg/m³
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b> <span style="float: right;">Formfaktor : 1,00</span>								
max F	[kN]	655,0	670,0	680,0				(v = 0,99 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	28,86	28,33	28,77				28,7 N/mm²

Anhang 5.3.2

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130107-1\_d100

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 1700 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Nein

Herstelldatum : 07.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,70	94,50	94,51				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,67	94,47	94,47				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,69	94,49	94,45				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,48	94,50	94,64				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,63	94,48	94,85				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,69	94,49	94,70				
Höhe1	[mm]	99,83	101,66	101,34				
Höhe2	[mm]	100,41	101,70	101,88				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006 \times d = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

11.04.2013	10:05	3,541	3,440	3,410				
Volumen	[m³]	0,000704	0,000713	0,000714				0,0007 m³

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105  $\pm$ 5) °C (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

22.03.2015		1,026	1,043	1,038				
Rohdichte	[kg/m³]	1457	1463	1453				1458 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	151,0	149,0	150,0				( $v = 0,50$ %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	21,46	21,25	21,34				21,4 N/mm²

Anhang 5.3.3

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130107-2\_d100

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 1700 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Nein

Herstelldatum : 07.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,51	94,48	94,50				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,53	94,49	94,48				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,50	94,50	94,48				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,52	94,52	94,50				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,51	94,50	94,53				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,53	94,47	94,50				
Höhe1	[mm]	98,14	98,04	100,75				
Höhe2	[mm]	98,22	98,26	100,33				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006xd = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

Volumen	[m³]	0,000689	0,000688	0,000705				0,0007 m³

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105  $\pm$ 5) °C (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

22.03.2015		1,019	1,001	1,044				
Rohdichte	[kg/m³]	1479	1454	1481				1471 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	163,0	155,0	164,0				( $v = 3,06$ %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	23,23	22,10	23,38				22,9 N/mm²

Anhang 5.3.4

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130114\_c150

Prüfling : 150er Würfel

Nennmaß d = 150 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 1700 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Ja

Herstelldatum : 14.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (maximale Abweichung vom Nennmaß 0,5 % = 0,75 mm)</b>								
Länge1 oben	[mm]	149,66	150,01	149,89				+,+,+
Länge2 oben	[mm]	149,93	150,26	150,11				+,+,+
Länge3 oben	[mm]	150,25	150,13	150,30				+,+,+
Länge1 unten	[mm]	149,68	150,03	149,93				+,+,+
Länge2 unten	[mm]	150,11	150,21	150,20				+,+,+
Länge3 unten	[mm]	150,45	150,08	150,27				+,+,+
Breite1 oben	[mm]	153,41	149,43	151,55				-;+;-
Breite2 oben	[mm]	154,06	151,67	151,90				-;-;-
Breite3 oben	[mm]	154,96	151,17	151,70				-;-;-
Breite1 unten	[mm]	153,00	150,05	152,95				-;+;-
Breite2 unten	[mm]	153,84	153,15	152,60				-;-;-
Breite3 unten	[mm]	153,06	149,06	152,08				-;-;-
Höhe1	[mm]	150,03	150,30	150,18				+,+,+
Höhe2	[mm]	150,14	150,03	150,19				+,+,+
Höhe3	[mm]	150,06	150,20	150,13				+,+,+
Höhe4	[mm]	150,02	150,16	150,16				+,+,+
<b>Abweichung zwischen oberer Fläche und Grundfläche (maximal 1,0 %)</b>								
Abweichung	[%]	0,46	0,02	0,57				+,+,+
<b>Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung <math>\pm 0,0006xd = 0,09</math> mm)</b>								
Ebenheit	[mm]							
<b>Rechtwinkligkeit der Würfelseiten (zulässige Abweichung <math>\pm 0,5</math> mm)</b>								
Rechtwinkligkeit	[mm]							
<b>Masse des wassergesättigten Probekörpers <math>m_a</math> [kg]</b>								
<b>Masse des Probekörpers unter Wasser <math>m_w</math> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]</b>								
Volumen	[m³]	0,003460	0,003399	0,003429				0,0034 m³
<b>Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 <math>\pm</math>5) °C (Konstanz bei Abweichung <math>\leq 0,2</math> % innerhalb 24 h)</b>								
28.05.2013		4,456	4,377	4,324				
04.06.2013		4,443	4,366	4,316				-;-;+
11.06.2013		4,438	4,362	4,311				+,+,+
Rohdichte	[kg/m³]	1282	1283	1257				1274 kg/m³
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b> <span style="float: right;">Formfaktor : 1,00</span>								
max F	[kN]	677,0	671,0	631,0				( $v = 3,78$ %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	29,36	29,65	27,63				28,9 N/mm²

Anhang 5.3.5

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130114-1\_d100

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 1700 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Nein

Herstelldatum : 14.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,63	94,53	94,60				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,55	94,44	94,61				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,51	94,50	94,49				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,50	94,53	94,52				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,54	94,52	94,47				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,50	94,55	94,48				
Höhe1	[mm]	97,23	95,07	93,82				
Höhe2	[mm]	98,10	95,13	93,31				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung ±0,0006xd = 0,06 mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung ±0,5 mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers m<sub>a</sub> [kg]**

11.04.2013	10:31	3,430	3,380	3,353				
------------	-------	-------	-------	-------	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser m<sub>w</sub> (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

Volumen	[m³]	0,000686	0,000667	0,000657				0,0007 m³

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105 ±5) °C (Konstanz bei Abweichung ≤ 0,2 % innerhalb 24 h)**

26.03.2015		0,985	0,970	0,948				
Rohdichte	[kg/m³]	1437	1454	1444				1445 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	161,0	163,0	152,0				(v = 3,70 %)
f <sub>ck,cube150</sub>	[N/mm²]	22,94	23,23	21,66				22,6 N/mm²

Anhang 5.3.6

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130114-2\_d100

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 1700 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Nein

Herstelldatum : 14.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,52	94,52	94,55				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,57	94,53	94,60				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,50	94,50	94,61				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,52	94,49	94,52				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,50	94,50	94,55				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,48	94,54	94,57				
Höhe1	[mm]	94,80	96,07	97,06				
Höhe2	[mm]	94,37	96,31	96,75				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006xd = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Volumen	[m³]	0,000664	0,000675	0,000681				0,0007 m³
---------	------	----------	----------	----------	--	--	--	-----------

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105  $\pm$ 5) °C (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

27.03.2015		0,951	0,974	0,987				
Rohdichte	[kg/m³]	1433	1443	1450				1442 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	159,0	160,0	167,0				( $v = 2,63$ %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	22,66	22,81	23,78				23,1 N/mm²



Anhang 5.3.8

Ermittlung der Kennwerte von Beton gemäß DIN EN 12390 und DIN EN 13791

Betonkörper : LC20-130127\_d100

Prüfling : Bohrkern

Nennmaß d = 100 mm

Abmessungen [mm³] : 2200 x 2000 x 200

Verwendung kalibrierter Formen? Nein

Herstelldatum : 27.01.2013

Prüfer : TA

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Bewertung
<b>Probekörpergeometrie (max. Abweichung: Höhe 10 % = 10,00 mm)</b>								
Durchmesser1 oben	[mm]	94,50	94,52	94,53				
Durchmesser2 oben	[mm]	94,48	94,56	94,55				
Durchmesser1 mitte	[mm]	94,49	94,54	94,51				
Durchmesser2 mitte	[mm]	94,51	94,50	94,49				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,54	94,52	94,54				
Durchmesser1 unten	[mm]	94,52	94,51	94,53				
Höhe1	[mm]	99,29	99,92	99,15				
Höhe2	[mm]	99,94	99,85	99,95				
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							
	[mm]							

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Ebenheit der Lasteinleitungsflächen (zulässige Abweichung  $\pm 0,0006xd = 0,06$  mm)**

Ebenheit	[mm]							
----------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Rechtwinkligkeit der Mantelfläche (zulässige Abweichung  $\pm 0,5$  mm)**

Rechtwinkligkeit	[mm]							
------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

**Masse des wassergesättigten Probekörpers  $m_a$  [kg]**

11.04.2013	10:31	3,356	3,301	3,347				
------------	-------	-------	-------	-------	--	--	--	--

**Masse des Probekörpers unter Wasser  $m_w$  (Das Gewicht des Tragebügel ist wegzutariieren!) [kg]**

Volumen	[m³]	0,000699	0,000701	0,000699				0,0007 m³

**Gewicht nach Trocknung im Ofen bei (105  $\pm$ 5) °C (Konstanz bei Abweichung  $\leq 0,2$  % innerhalb 24 h)**

28.03.2015		1,049	0,986	0,975				
Rohdichte	[kg/m³]	1501	1407	1396				1435 kg/m³

**Maximale Kraft im Druckversuch**

Formfaktor : 1,00

max F	[kN]	136,0	145,0	144,0				( $v = 3,46$ %)
$f_{ck,cube150}$	[N/mm²]	19,39	20,66	20,52				20,2 N/mm²







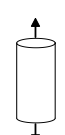
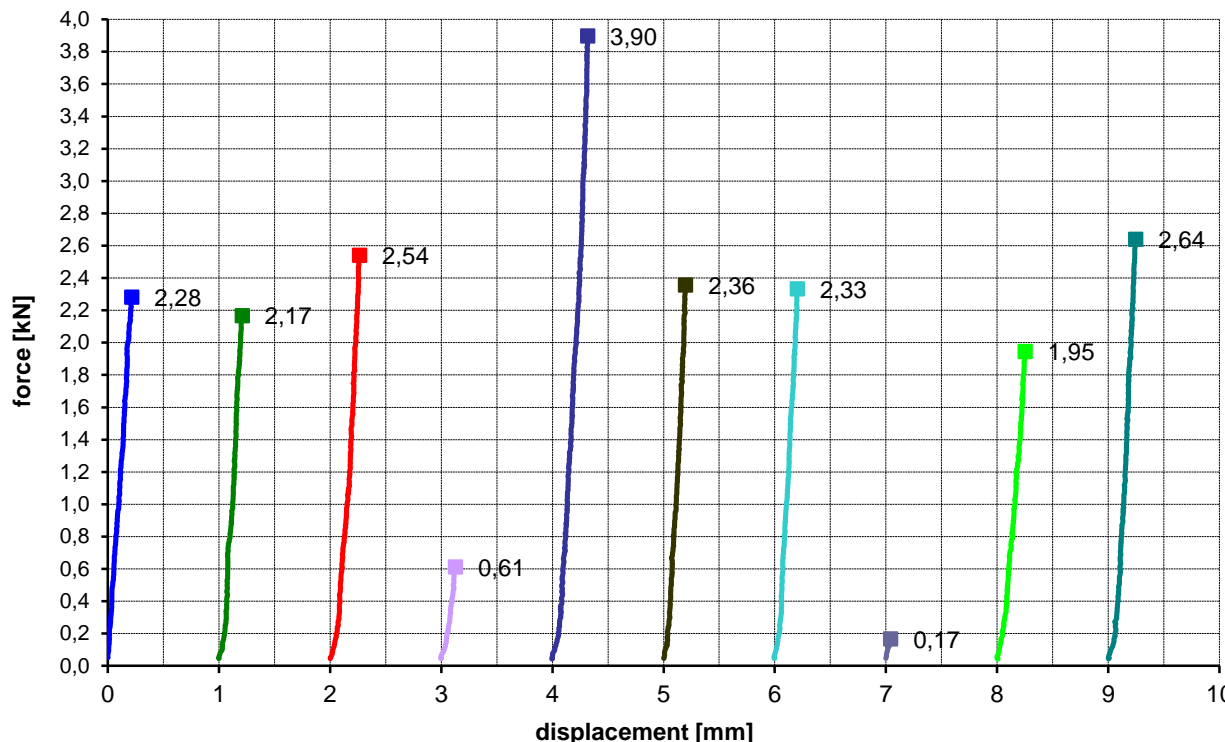








Anhang 6.1

project	anchor size	description of test		kind of test								
<b>FV-Leichtbet.</b> 11.02.26	<b>Tension</b>	<b>Tension tests for centric tensile strength</b>		<b>Tension</b>								
test rig		base material & theoretical values		forces / statistics								
test dev. / Ø : Freundl / 150 mm test speed : 50 N/s		base material : LC 20/22 ; LC20-111005-1 strength / density : 30,8 N/mm <sup>2</sup> dimensions : 250 x 160 x 35 cm <sup>3</sup> tester : MiH  $f_{lctm}^{cal} : 2,22 \text{ N/mm}^2$		$\sigma_{Ru,m}^t = 1,20 \text{ kN}$ $v = 23,70 \%$ $\sigma_{Rk,NV}^t = 0,42 \text{ kN}$ $\sigma_{Rk,log}^t = 0,67 \text{ kN}$								
												
force-displacement diagram												
												
summary												
<b>test number</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>12</b>
diameter [mm]		51,7	51,6	51,6	51,7	51,6	51,6	51,7	51,7	51,7	51,6	
height [mm]		100,3	98,9	101,3	101,2	100,8	100,7	100,1	102,6	101,6	101,4	
$\delta_{FtRu}$ [mm]		0,22	0,21	0,27	0,13	0,32	0,20	0,20	0,04	0,25	0,25	
$F_{Ru}^t$ [kN]		2,28	2,17	2,54	0,61	3,90	2,36	2,33	0,17	1,95	2,64	
$\sigma_{Ru}^t$ [kN]		1,09	1,03	1,21		1,86	1,13	1,11		0,93	1,26	
kind of failure		CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	
annotation												
T4 and T8: predamage of the concrete specimen												
kind of failure : CF = failure of the concrete core												

## Anhang 6.2.1

### Ermittlung der Kennwerte von Leichtbeton gemäß DIN EN 206

Herstelldatum : 05.10.11  
Prüfdatum / Prüfer : 10.11.11 R.B.

Betonkörper : LC20-111005\_E-Mod

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Prüfer
<b>Probekörpergeometrie</b>								
Länge	[mm]							
Mittelwert								
Breite / Durchmesser	[mm]	94,94	94,47	94,61				
Mittelwert		94,28	94,53	94,75				
Höhe / Gewicht	[mm] / [kg]	200,5	201,9	199,7				
Mittelwert		200,5	201,9	199,7				
<b>Gewicht bei luftfeuchter Lagerung</b>								
Gewicht	[kg]							
Rohdichte	[kg/dm <sup>3</sup> ]							
<b>Maximale Kraft im Druckversuch</b>								
max F	[kN]	209,4	214,0	217,4				
max f	[N/mm <sup>2</sup> ]	31,35	32,12	32,50				

Formfaktor : 0,95

norm. Festigkeit  $f_{c,c150} = 32,0 \text{ N/mm}^2$

$v = 1,83 \%$

Rohdichte  $\rho_{g,u} =$

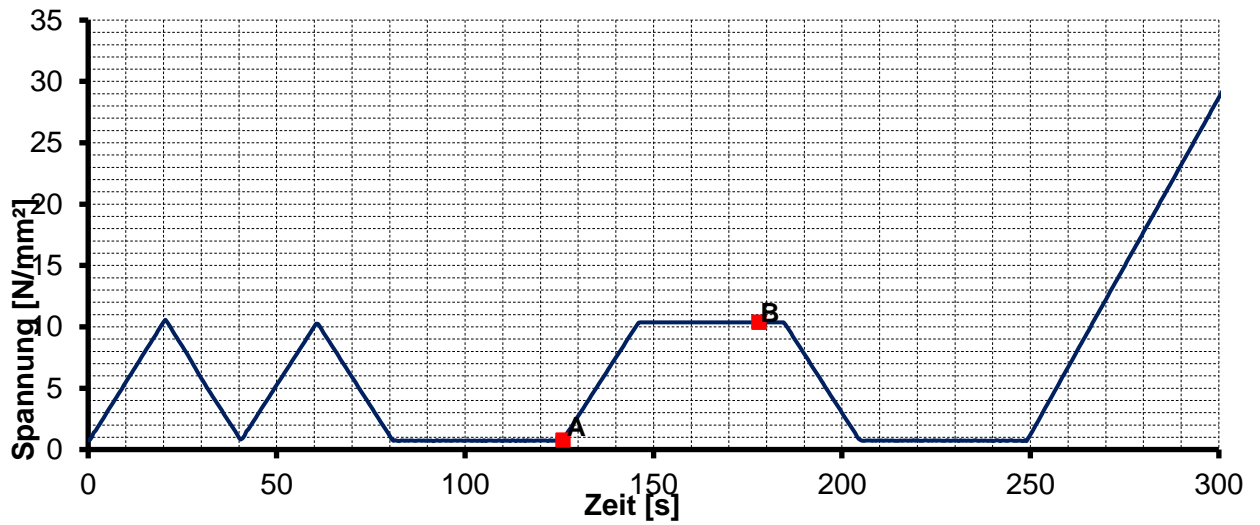
	Dehnung A [‰]	Dehnung B [‰]	Spannung A [N/mm <sup>2</sup> ]	Spannung B [N/mm <sup>2</sup> ]
Probe 1	0,065	0,980	0,76	10,36
Probe 2	0,008	0,848	0,73	10,23
Probe 3	0,088	0,967	0,73	10,12



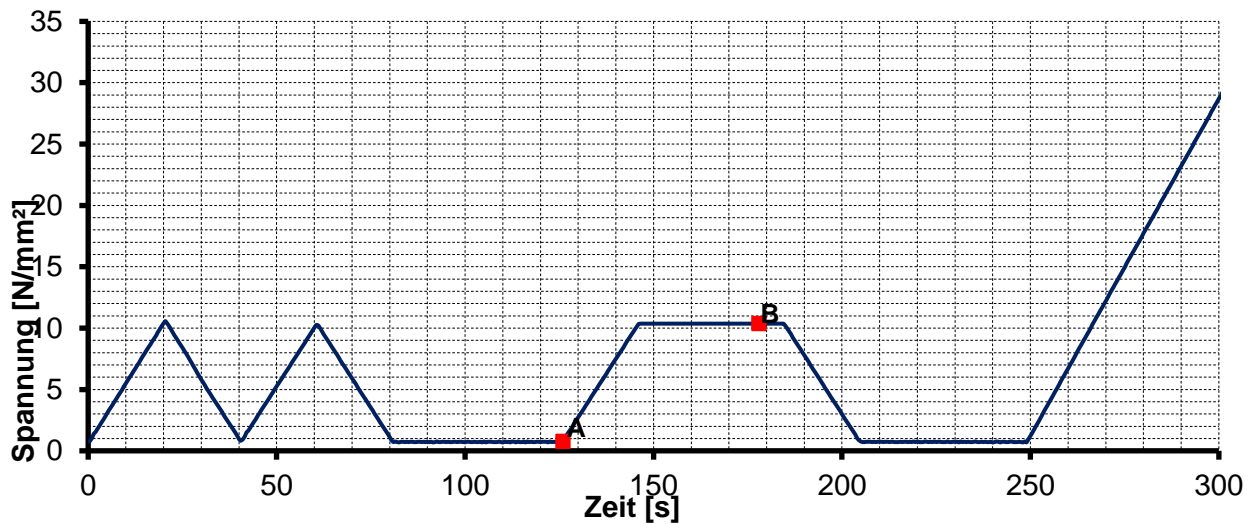


Anhang 6.2.2

Versuch 1 – Belastungshistorie und Auswertepunkte



Versuch 2 – Belastungshistorie und Auswertepunkte



Versuch 3 – Belastungshistorie und Auswertepunkte

