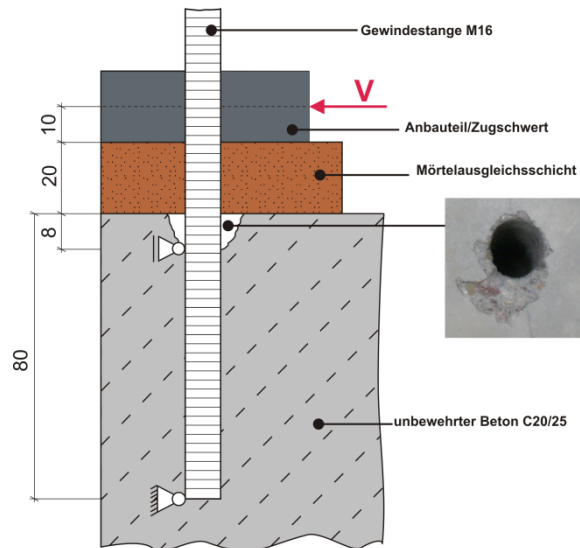


Untersuchung zur Quertragfähigkeit randnaher Befestigungen mit einer Mörtelausgleichsschicht

Seminararbeit zum Kurs Befestigungstechnik I+II
Sommersemester 2012
Betreuer: Dr.-Ing. Werner Fuchs



von

Gruppe Befestigungstechnik 2012:

Sebastian Schwarz • Roman Sedlmair • Susanne Maurer • Philipp Kunkel
Julian Finkbeiner • Mirka Maurer • Marc Fina • Andreas Schäfer

Vorwort

Das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Abt. Massivbau, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) bot in den Semestern 2011/12 und 2012 die Vorlesungsreihe „Befestigungstechnik I und II“ an. Im Rahmen dieser Veranstaltungen entstand die vorliegende Seminararbeit.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Untersuchungen zum unterschiedlichen Verhalten der Tragfähigkeit randnaher Einzel- und Zweifachbefestigungen mit und ohne Mörtelbett unter Querbeanspruchung senkrecht zum Bauteilrand.

Unserem Dozenten und Betreuer Herrn Dr.-Ing. Werner Fuchs vom Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB), Abteilung Befestigungstechnik, an der Universität Stuttgart möchten wir an dieser Stelle ganz besonders für seine Betreuung und Unterstützung danken.

Wir bedanken uns auch bei Herrn Dipl.-Ing. Stephan Müller und den Mitarbeitern der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt MPA Karlsruhe Herr Lehmann, Herr Knötig und Herr Seifert bei der Unterstützung unserer Planung, Vorbereitung und Durchführung der Versuche. Des Weiteren sei Herrn Langer für die Materialbeschaffung und Herrn Kvitsel und Herrn Schleich für die Planung, den Aufbau und die Durchführung der Messungen gedankt.

Abschließend möchten wir uns bei der Firma Würth und der MPA für die Bereitstellung der Materialien bedanken.

Karlsruhe, im Juli 2012

*Marc Fina
Julian Finkbeiner
Philipp Kunkel
Mirka Maurer
Susanne Maurer
Sebastian Schwarz
Roman Sedlmair
Andreas Schäfer*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
1.1	Aufgabenstellung	5
1.2	Projektplan / Organisation	7
2	Bemessung der Befestigungen.....	9
2.1	Theoretische Grundlagen der Versagensarten.....	9
2.2	Bemessung nach DIN CEN/TS 1992 – 4.....	10
2.2.1	Versagensfall Betonkantenbruch.....	10
2.2.2	Einführung eines Korrekturfaktors zur Berücksichtigung des Hebelarms.....	12
2.2.3	Stahlversagen	14
2.3	Bemessung nach Elgehausen/Mallée.....	15
2.3.1	Betonkantenbruch	15
2.3.2	Stahlversagen	17
2.3.3	Zusammenfassung.....	18
2.4	Bemessung nach Bemessungssoftware.....	19
2.5	Vergleich der Bemessungsergebnisse	23
3	Versuchsplanung	26
3.1	Materialien	26
3.2	Versuchsanordnung	28
3.3	Nachweis gegen Spalten der Betonplatte.....	30
4	Versuchsdurchführung.....	34
4.1	Versuchsvorbereitungen	34
4.2	Versuchsaufbau	39
4.3	Messung, Durchführung (Versuchsmatrix)	42
5	Auswertung der Versuchsergebnisse	45
5.1	Einfluss der Eigenschaften des Mörtelbetts.....	48
5.2	Einfluss der Mörtelschicht.....	52
5.2.1	Einzelbefestigung, 70 mm Randabstand	52
5.2.2	Einzelbefestigung, 140 mm Randabstand	53
5.2.3	Doppelbefestigung Hintereinander	54
5.2.4	Doppelbefestigung Nebeneinander, Randabstand 70 mm	55
5.2.5	Doppelbefestigung Nebeneinander, Randabstand 70 mm	56
5.3	Zweifachbefestigungen, Variante a)	57
5.3.1	Variante a), 70x70, mit Mörtel	57
5.3.2	Variante a), 70x70, ohne Mörtel	60

5.4	Zweifachbefestigungen, Varianten b) und c).....	62
5.4.1	Variante b), 70x250, mit Mörtel	62
5.4.2	Variante b), 70x250, ohne Mörtel	64
5.4.3	Variante c), 140x250, mit Mörtel.....	67
5.4.4	Variante c), 140x250, ohne Mörtel.....	69
5.5	Vergleich von Bemessungs- und Versuchsergebnissen	71
5.6	Einfluss des Randabstandes	74
6	Zusammenfassung Bemessung und Versuche	76
7	Literaturverzeichnis	77
A.	Anhang.....	78
A.1	Rechnungen	78
A. 1.1	Bemessung nach DIN CEN/TS 1992 – 4.....	78
A. 1.2	Bemessung nach Eligehausen/Mallée.....	80
A.2	Versuchsprotokolle	86
A.3	Spaltnachweis der Betonplatte	119
A.4	Agendas	121
A.5	Werkstoffe	124

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

In der Baupraxis verwendet man wegen rauer und unebener Betonoberflächen häufig eine Mörtelausgleichsschicht. Dabei wird ein sehr fließfähiger Vergussmörtel eingesetzt. Dieser funktioniert nach dem Prinzip: „Kraftübertragung durch Kraftschlüssigkeit“ und es können große Kräfte auch bei dynamischen Belastungen übertragen werden.

Durch die Mörtelausgleichsschicht wird bei einer Querbelastung ein zusätzlicher Hebelarm „e“ erzeugt. In der Ingenieurpraxis wird dieser Hebelarm für die Versagensart Betonkantenbruch meist vernachlässigt, da in der Normung keine Lösung für diesen Fall angeboten wird. Deshalb geht man häufig von einer reinen Querbelastung aus. Durch die Exzentrizität liegt aber auch eine Biegebeanspruchung vor.

Kann diese zusätzliche Beanspruchung vernachlässigt werden?

Im Rahmen der Seminararbeit sollen daher die Auswirkungen einer solchen Ausgleichsschicht auf die Quertragfähigkeit randnaher Befestigungen näher untersucht werden.

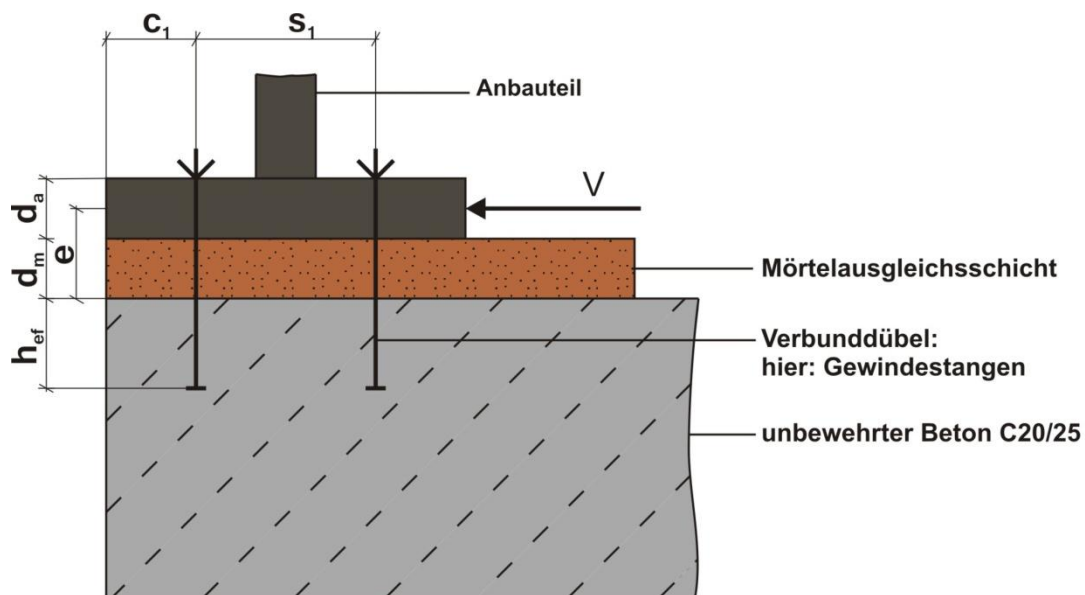


Abb. 1: Skizze der Problemstellung

Hierzu soll auf einen unbewehrten und ungerissenen Betonprüfkörper mit der Festigkeitsklasse C20/25 eine Mörtelschicht von $d_m = 20$ mm aufgetragen und Gewindestangen (M16) mit einem chemischen Injektionssystem der Firma Würth gesetzt werden. Die Verankerungstiefe beträgt $h_{ef} = 80$ mm und die Kraft wird durch ein Zugschwert $d_a = 20$ mm aufgebracht.

Somit beträgt der Hebelarm $e = d_m + \frac{1}{2} \cdot d_a = 20 + \frac{1}{2} \cdot 20 = \underline{30}$ mm.

Vor den Versuchen werden verschiedene Berechnungen durchgeführt:

1. nach DIN CEN/TS 1992-4-5:2009
2. nach Software der Dübelhersteller: Würth, Fischer und Hilti
3. nach Eligehausen/Mallée

Da es sich um eine randnahe Befestigung handelt wird zunächst von der Versagensart Betonkantenbruch ausgegangen.

Dazu sollen verschiedene Varianten jeweils mit und ohne Mörtelschicht berechnet und in der Materialprüfanstalt getestet werden:

1. Zweifachbefestigungen

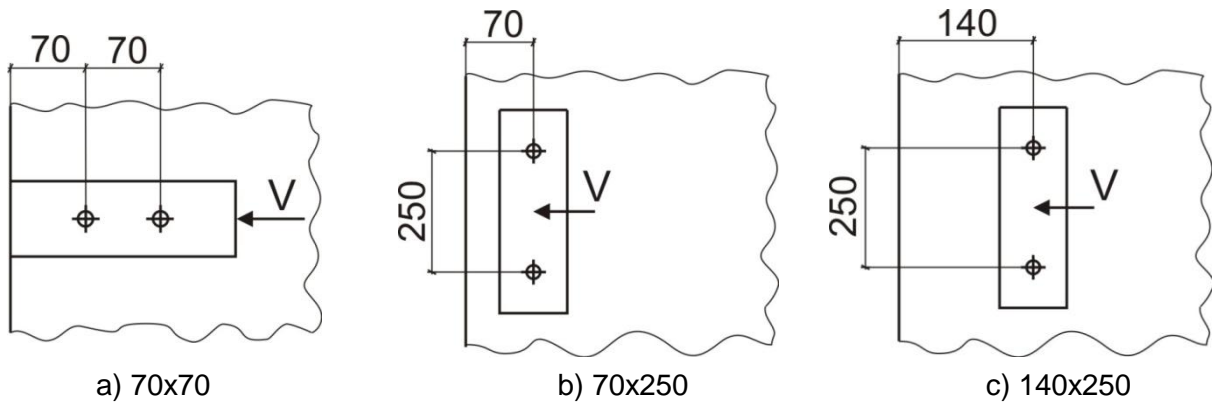


Abb. 2: Zweifachbefestigungen

Zusätzlich zu den Zweifachbefestigungen werden mit den gleichen Randabständen Einfachbefestigungen untersucht. Somit können Vergleiche zwischen Einfach- und Zweifachbefestigungen geführt werden.

2. Einfachbefestigungen

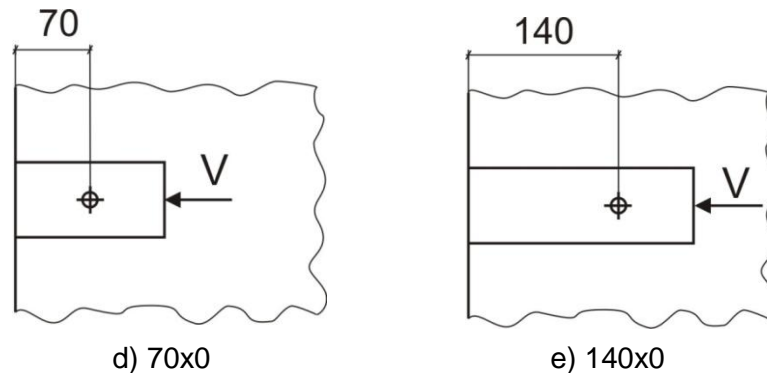


Abb. 3: Einfachbefestigungen

Für die Befestigungen mit zusätzlichem Hebelarm soll ein Lösungsansatz entwickelt werden, welcher durch die Versuche überprüft werden soll.

Die Ergebnisse sollen in einer Ausarbeitung dokumentiert und bei einer abschließenden Präsentation vorgestellt werden.

1.2 Projektplan / Organisation

Um die Aufgabenstellung gründlich und vollständig bearbeiten zu können, ist die Erstellung eines Projektplanes notwendig. In diesem Plan (erstellt mit pro-Plan 5; siehe folgende Seite) wird festgehalten, welche einzelnen Schritte der Bearbeitung zu erledigen sind und in welchem Zeitraum dies zu geschehen hat. Während des Projektes wird dieser Plan ständig aktualisiert, um auf eventuelle Verzögerungen reagieren zu können. Im Vorfeld wird auch bei einigen Arbeitsschritten, zum Beispiel bei der Auswertung der Versuche, eine Pufferzeit eingeplant, da dies kaum ohne zeitliche Verzögerungen zu bewerkstelligen ist.

Die Besprechungen erfolgten, wie auch in dem Projektplan zu sehen ist, unter Beteiligung der ganzen Gruppe. Weiterhin anwesend waren Dr. Dipl.-Ing. Fuchs der Uni Stuttgart und Dipl.-Ing. Müller vom Institut für Massivbau (KIT). Zur besseren Strukturierung wurde für jede Projektbesprechung eine Agenda erstellt. (Diese können dem Anhang entnommen werden). Gravierende Verschiebungen gab es während des Projektes nicht, die Versuche fanden allerdings eine Woche später, am Montag den 18.06.2012 statt, nachdem am 15.06.2012 die Dübel gesetzt und die Versuche vorbereitet wurden.

Weiterhin ist zu bemerken, dass sich während des Projektes zwei Mitglieder verabschiedeten, sodass das Projekt mit nur noch sieben Beteiligten zu Ende geführt wurde.

Seite 1 von 1

		2012																
		April				Mai				Juni				Juli				
Pos	Vorgang	Dauer	Start	Ende	Unternehmer	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	Vorstellung Aufgabenstellung	1at	18.04.2012	18.04.2012	komplette Gruppe													
2	Berechnung 1	1at	25.04.2012	25.04.2012	komplette Gruppe													
3	Berechnung mit Programmen	10at	19.04.2012	03.05.2012	Roman / Sebastian													
4	Berechnung nach Eli / Mattée	10at	19.04.2012	03.05.2012	Patrick, Susanne / Julian, Guillermo													
5	Berechnung nach CEN / TS 1992-4	10at	19.04.2012	03.05.2012	Philipp, Mirka / Marc, Andreas													
6	Besprechung Rechenergebnisse Versuchsprogramm aufstellen	1at	04.05.2012	04.05.2012	komplette Gruppe													
7	Materialauswahl und -bestellung	1at	04.05.2012	04.05.2012	komplette Gruppe													
8	Versuchsprogramm überarbeiten	1at	09.05.2012	09.05.2012	komplette Gruppe													
9	Betonieren der Platte	2at	14.05.2012	15.05.2012	Teil der Gruppe													
10	Vorbesprechung Versuche	1at	30.05.2012	30.05.2012	komplette Gruppe													
11	Versuche durchführen	3at	11.06.2012	13.06.2012	komplette Gruppe													
12	Auswertung Versuche Erstellung Präsentation	26at	11.06.2012	16.07.2012	komplette Gruppe													
13	Kolloquium		18.07.2012	18.07.2012	komplette Gruppe													

Projektzeiträumen von 18.04.2012 bis 18.07.2012
Kalender: Baden-Württemberg (eingebettet)
Druckdatum: 06.07.2012 13:36
Filter:
Bearbeiter:

Abb. 4: Projektplan

2 Bemessung der Befestigungen

2.1 Theoretische Grundlagen der Versagensarten

Die Befestigung von Bauteilen in Betonkörpern ist gegen mehrere Versagensarten zu bemessen. Je nach Stahlgüte, Betongüte und den geometrischen Parametern tritt rechnerisch eine maßgebende Versagensart ein. Folgende Versagensarten sind bei einer Beanspruchung der Befestigung rechtwinklig zu ihrer Achse (Querlast) möglich:

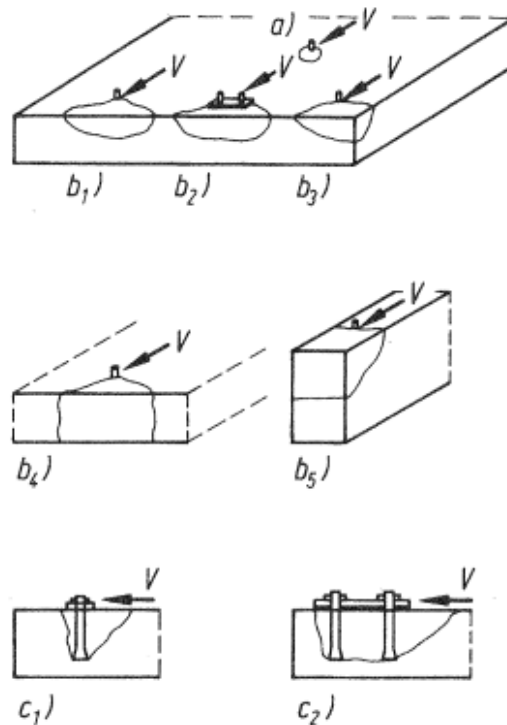


Abb. 5: Versagensformen von Befestigungen unter Querlast. A: Stahlversagen, B: Betonkantenbruch, C: Rückwertiger Betonausbruch. [1]

Im Rahmen dieser Arbeit soll das Versagen der Einzel- und Zweifachbefestigung auf Betonkantenbruch untersucht werden (Fall B1/B2). Es wird versucht, alle weiteren Versagensformen durch Wahl der Parameter unwahrscheinlicher zu machen.

Ein Stahlversagen tritt bei Erreichen der Streckgrenze des Stahls ein. In der Regel hat eine Befestigung, die so versagt, einen großen Randabstand und ist tief verankert. Aufgrund der hohen Festigkeit des Stahls weist dieses Versagen die höchste Bruchlast auf.

Betonkantenbruch tritt vorwiegend bei Randnahmen Befestigungen auf. Maßgebend ist hierbei die Betonfestigkeit. Beim Versagen entsteht ein Ausbruchkörper, dessen Form und auch Bruchlast von der Geometrie der Befestigung abhängen.

Rückwertiger Betonausbruch tritt mit größerer Wahrscheinlichkeit bei Befestigungen mit geringer Verankerungstiefe in Verbindung mit großen Randabständen auf.

Des Weiteren kann der Betonkörper durch die eingeleitete Querkraft auch gespalten werden.

Durch die Wahl der Randabstände und der Betondicke werden die Versagensarten rückwertiger Betonausbruch und Spalten nahezu ausgeschlossen. Die Wahl der Stahlgüte wird durch eine Bemessung abgesichert. Der Widerstand gegen Betonausbruch wird errechnet um eine Prognose und Referenz für die Versuche zu haben.

Der Widerstand der Befestigungen wird auf drei Arten ermittelt: Der Bemessungsnorm CEN-TS-1992-4, dem Bemessungsansatz nach Eligenhausen und Mellée und den Bemessungsprogrammen der Befestigungshersteller Fischer, Hilti und Würth.

2.2 Bemessung nach DIN CEN/TS 1992 – 4

Die Bemessungsnorm befasst sich in ihrem fünften Teil mit der Bemessung von chemischen Systemen. Danach wird der Widerstand gegen die Querbeanspruchung sowohl für den Versagensfall Betonkantenbruch als auch für den Versagensfall Stahlversagen errechnet. Dieser Versagenstyp ist allerdings nicht erwünscht und soll vermieden werden. Die Norm beachtet beim Betonkantenbruch keine nicht-tragende Schicht zwischen der Lasteinleitung und Betonoberfläche. Beim Stahlversagen hingegen kennt die Norm den Unterschied und berücksichtigt einen Hebelarm.

2.2.1 Versagensfall Betonkantenbruch

Der Widerstand eines Verbunddübels gegen den Versagensfall Betonkantenbruch wird über den charakteristischen Widerstand eines Dübels, der Bezugsfläche des Dübels oder der Dübelgruppe und verschiedenen Abminderungen an Hand folgender Formel berechnet:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0} \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{ec,v} \cdot \psi_{\alpha,v} \cdot \psi_{re,v}$$

Die einzelnen Faktoren der Formel sind wie folgt zu berechnen:

- Der charakteristische Widerstand $V_{Rk,c}^0$ eines Befestigungsmittels ergibt sich aus folgender Formel:

$$V_{Rk,c}^0 = 1,6 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck, cube}} \cdot c_1^{1,5}$$

In dieser Formel ist c_1 der Randabstand in Richtung der Querlast, $f_{ck, cube}$ die charakteristische Würfeldruckfestigkeit des Betons, l_f entspricht h_{ef} und ist wie d_{nom} aus der Zulassung des Dübels zu entnehmen. Weiterhin sind die Korrekturwerte α und β folgendermaßen zu berechnen:

$$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5} \quad \beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$$

- Das Verhältnis $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$ berücksichtigt sowohl die Anzahl der Dübel als auch deren Lage zueinander, ihren Randabstand und die Bauteildicke.

$A_{c,v}^0$ ist dabei der Bezugswert und ergibt sich zu $4,5 c_1^2$

$A_{c,v}$ ist die Fläche eines zu erwarteten Ausbruchkörpers auf der Seite des Betonkörpers. Dabei ist die Höhe des Ausbruchkörpers und die seitliche Ausdehnung zu jeder Seite auf den 1,5 fachen Wert des Randabstandes zu beschränken. Bei zwei Befestigungen nebeneinander ist der Abstand zwischen ihnen zuzüglich des jeweils 1,5 fachen Wertes des Randabstandes als Breite anzunehmen, bei einem Maximum von $6 c_1$. An den Bauteilrändern parallel zur Krafrichtung wird die vorhandene Betonfläche angesetzt.

- Durch den Faktor $\psi_{s,v}$ werden Bauteilränder parallel zur Krafrichtung beachtet.

$$\psi_{s,v} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5c_1} \leq 1$$

- Der Faktor $\psi_{h,v}$ berücksichtigt die Betondicke, weil sich die Spannungen nicht linear über die Bauteildicke abbauen, wie im Verhältniswert $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$ angenommen.

$$\psi_{h, V} = \left(\frac{1,5c_1}{h}\right)^{0,5} \geq 1$$

- Über den Faktor $\psi_{ec,V}$ wird eine Lastexzentrizität beachtet.

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \frac{2e_V}{3c_1}} \leq 1$$

- Ist die Lastrichtung nicht rechtwinklig zur beachteten Bauteilkante, wird dieses mit dem Faktor $\psi_{\alpha,V}$ in die Rechnung eingebracht.

$$\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0,4 \sin \alpha_V)^2}} \geq 1$$

- Der Faktor $\psi_{re, V}$ berücksichtigt eine eventuelle Bewehrung, beziehungsweise den ungerissenen Beton.

Bei gewähltem Versuchsaufbau ergeben sich die charakteristischen Widerstände eines Dübels $V_{Rk,c}^0$ für einen Randabstand von 70 mm zu 9,65 kN und bei einem Randabstand von 140 mm zu 23,98 kN.

Die Versuche finden auf ausreichend breiten und dicken Betonkörpern statt, sodass $\psi_{s, V}$ und $\psi_{h, V}$ zu 1,0 gesetzt werden. Die Befestigungsmittel werden über eine Zuglasche, die an einem Pendelstab befestigt ist, belastet, es entsteht deshalb keine Lastexzentrizität und der Faktor $\psi_{ec,V}$ ist 1,0. Des Weiteren wird nur rechtwinklig zur Bauteilkante geprüft, deshalb ist $\psi_{\alpha,V}$ ebenfalls 1,0. Die Betonkörper sind ungerissen, deswegen der Widerstand um den Faktor $\psi_{re, V} = 1,4$ erhöht.

Die aus der Berechnung resultierenden charakteristischen Widerstände für die Versuche werden durch 0,75 dividiert um die Bruchlast zu erhalten. Um die Mörtelschicht zu berücksichtigen, werden die Ergebnisse durch einem Faktor nach Kapitel 2.2.2 dividiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 dargestellt. Der gesamte Rechengang befindet sich im Anhang.

2.2.2 Einführung eines Korrekturfaktors zur Berücksichtigung des Hebelarms

Laut Norm DIN CEN/TS 1992-4-1:2009 Kapitel 5.2.3.3 dürfen Querlasten als ohne Hebelarm einwirkend angenommen werden, wenn die Druckfestigkeit des Mörtelbetts $\geq 30 \text{ N/mm}^2$ und die Dicke $\leq \frac{d}{2}$ (d = Durchmesser der Gewindestange) ist.

Der für die Versuche gewählte Vergussmörtel „SikaGrout-553“ hat eine Druckfestigkeit von 50 N/mm^2 und erfüllt somit alle Anforderungen.

Dennoch beträgt die Mörtelschicht 20 mm und der Durchmesser der Gewindestange 16 mm, somit ist die Bedingung $20 \text{ mm} \leq \frac{d}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ mm}$ nicht erfüllt.

Für solche Fälle bietet die Norm keine Lösungen an.

Um die Auswirkungen eines solchen Hebelarms auf die Tragfähigkeit randnaher Befestigungen zu beschreiben, wird an dieser Stelle ein statisches Ersatzmodell eingeführt.

Durch dieses Modell wird ein Faktor ermittelt, der die rechnerische Bemessungslast nach Norm abmindern soll.

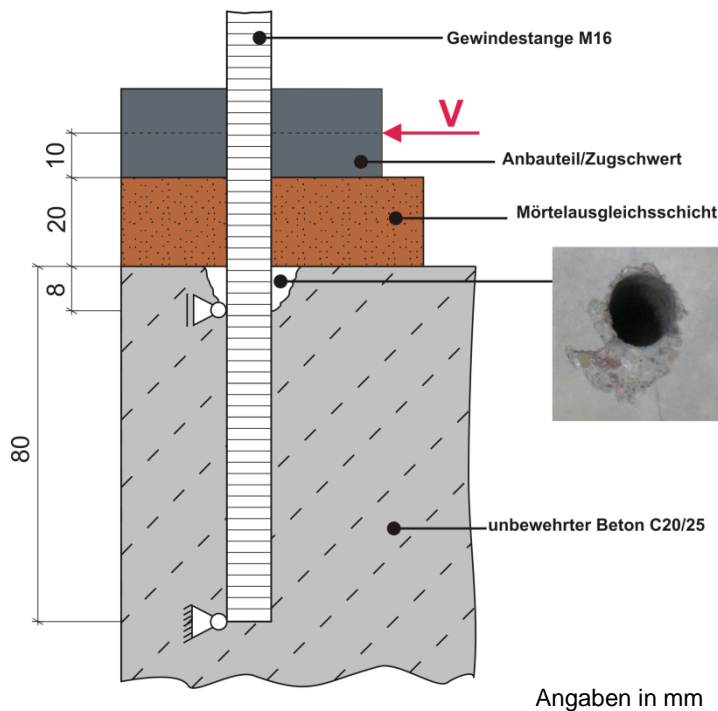


Abb. 6: System der Befestigung

Gegeben:

- Dicke Mörtelbett: $d_m = 20 \text{ mm}$
- Dicke Anbauteil: $d_a = 20 \text{ mm}$
- \varnothing Gewindestange: $d = 8 \text{ mm}$
- Verankerungstiefe: $h_{ef} = 80 \text{ mm}$

Es wird ein Stabmodell mit zwei Auflagern gewählt.

Das erste Auflager sitzt 8 mm unter Betonoberkante. Aufgrund von Betonabplatzungen am Bohrerlochrand durch das Bohren geht man von einer ersten Abstützung ab $\frac{d}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ mm}$ aus.

Das zweite Auflager liegt in der Verankerungstiefe $h_{ef} = 80 \text{ mm}$.

Die Querbelastung V greift in der Mitte des Anbauteils bzw. des Zugschwertes an.

Somit ergibt sich ein Hebelarm bis zum ersten Auflager mit Mörtelschicht $e = 38 \text{ mm}$ und ohne Mörtelschicht $e = 18 \text{ mm}$.

Die statischen Ersatzsysteme sehen wie folgt aus:

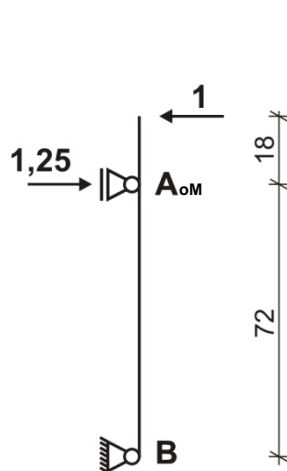


Abb. 7: System ohne Mörtelbett

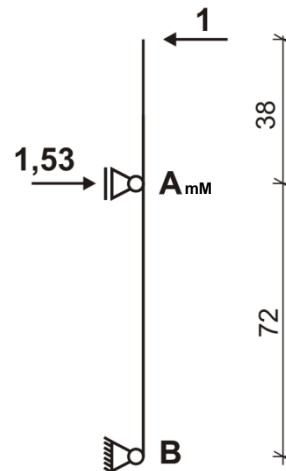


Abb. 8: System mit Mörtelbett

Um den Korrekturfaktor vereinfacht zu berechnen, setzt man für die Querbelastung eine „1-Kraft“ an und berechnet die Auflagerkraft A für beide Fälle:

1. Ohne Mörtelbett

$$\sum M^B = 0: -A_{oM} \cdot 72 + 90 \cdot 1 = 0$$

$$\rightarrow A_{oM} = \frac{90}{72} = 1,25$$

2. Mit Mörtelbett

$$\sum M^B = 0: -A_{mM} \cdot 72 + 110 \cdot 1 = 0$$

$$\rightarrow A_{mM} = \frac{110}{72} = 1,53$$

Das Verhältnis der beiden Auflagerkräfte ergibt den Korrekturfaktor γ :

$$\gamma = \frac{A_{mM}}{A_{oM}} = \frac{1,53}{1,25} = 1,22$$

Das Ersatzmodell ist eine konservative Annahme und liegt auf der sicheren Seite. Die Stützung ist in Wirklichkeit nicht punktuell wie im Modell sondern verteilt sich über die Länge. Dabei kann die Mörtelschicht eine Tragwirkung haben und der Hebelarm somit kleiner werden.

In der Zusammenfassung der Bemessungsergebnisse und den Versuchsprotokollen werden die Ergebnisse für die Befestigungen mit Mörtelschicht mit dem Korrekturfaktor abgemindert.

2.2.3 Stahlversagen

Bei dem Nachweis des Stahlversagens ohne Hebelarm gibt die Zulassung des Befestigungsmittels den Wert $V_{Rk,s}$ an.

Der Nachweis gegen das Stahlversagen mit Hebelarm erfolgt über folgende Formel:

$$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l}$$

Dabei ist, ohne eine Zugkraft im Dübel, $M_{Rk,s}$ gleich $M_{Rk,s}^0$ und aus der Zulassung zu entnehmen. l ist die Summe aus der Hälfte des Dübeldurchmessers und dem Abstand der Betonoberfläche und der Krafteinleitung. Der Beiwert α_M charakterisiert den Einspannungsgrad des Stahlbauteils und liegt zwischen 0 (drehbar) und 2 (starre Einspannung).

Im Versuch werden Gewindestange mit der Festigkeit 10.9 verwendet. Diese Festigkeit ist jedoch nicht in der Zulassung aufgeführt, das heißt die Zulassung ist für die Versuche nicht gültig. Die Werte für den Widerstand ohne Hebelarm $V_{Rk,s}$ und $M_{Rk,s}^0$ werden daher allgemein berechnet. Dieses erfolgt nach folgenden Formeln:

$$V_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} \quad M_{Rk,s}^0 = 1,2 \cdot W_{el} \cdot f_{uk} = 1,2 \cdot \frac{\pi \cdot r^3}{4} \cdot f_{uk}$$

Wird der resultierende Wert $V_{Rk,s}$ durch 0,95 dividiert, erhält man die Bruchlast durch Stahlversagen $V_{U,s}$. Es ergibt sich ein Widerstand gegen Querlast ohne Hebelarm von 82,63 kN pro Dübel.

Bei den Versuchen wird von einem Hebelarm l von 38 mm und einer vollen Einspannung ($\alpha_M = 2$) ausgegangen. Die Zuglasche liegt auf dem Mörtelbett auf, deshalb kann sie sich nicht verdrehen. Insgesamt wird ein Widerstand von 18,45 kN pro Dübel erreicht.

Eine Zusammenstellung der für die Versuche wichtigen Kombinationen ist in Tabelle 1: dargestellt.

Die Widerstände des Stahlversagens, vor allem bei Versuchen mit Mörtelschicht, liegen teilweise unter den Werten des Betonkantenbruchs. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Mörtelschicht als völlig nicht-tragend angenommen wird. Dieses ist jedoch nicht der Fall, weshalb davon auszugehen ist, dass die Versagensart Betonkantenbruch eintritt. Die Möglichkeit einer höheren Stahlfestigkeit wird nicht gewählt, weil höherfeste Stähle weniger duktil und nur schwer lieferbar sind.

	Versuch a/d)	Versuch b)	Versuch c)	Versuch e)
	Einzelbefestigung, Randabstand 70 mm	Zweifachbefestigung, Randabstand 70 mm, Abstand 250 mm	Zweifachbefestigung, Randabstand 140 mm, Abstand 250 mm	Einzelbefestigung, Randabstand 140 mm
Betonkantenbruch				
Vu, ohne Hebelarm	18,00	36,01	71,40	44,76
Vu, mit Hebelarm (Faktor 4.2.2)	14,76	29,52	58,53	36,69
Stahlversagen, 10.9.				
Vu, mit Hebelarm	18,45	36,90	36,90	18,45
Vu, ohne Hebelarm	82,63	165,26	165,26	82,63

Tabelle 1: ZUSAMMENFASSUNG: Berechnungsergebnisse nach CEN/TS 1992 – 4

2.3 Bemessung nach Eligehausen/Mallée

In der Fachliteratur „Befestigungstechnik im Beton- und Mauerwerksbau“ von Rolf Eligehausen und Rainer Mallée sind zahlreiche Bemessungsformeln für die verschiedenen Versagensarten enthalten.

Die nachfolgend genannten Gleichungsnummern sind dem oben genannten Buch der Auflage 2000, erschienen beim „Ernst & Sohn“ Verlag, entnommen.

Da bei dieser Seminararbeit randnahe Befestigungen unter Querbeanspruchung untersucht werden, soll der Betonkantenbruch die maßgebende Versagensart darstellen. Deshalb wird diese hier näher erläutert. Stahlversagen soll durch eine ausreichend hohe Stahl- bzw. ausreichend geringe Betonfestigkeit ausgeschlossen werden. Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite kann bei randnahen Befestigungen grundsätzlich ausgeschlossen werden.

2.3.1 Betonkantenbruch

Die Bruchlast für Betonausbruch unter zentrischer Querlast bei Verbunddübeln in ungerissenem Beton berechnet sich laut Kapitel 6.1.2.4 [1] mit derselben Formel wie für Kopfbolzendübel. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass hier der Lochdurchmesser und nicht der Durchmesser der Gewindestange in die Bemessung eingeht, da der Verbundmörtel als lastverteilende Schicht wirkt.

Die Gleichung

$$(4.26) V_{u,c} = \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot V_{u,c}^0 \quad [\text{N}]$$

darf für Befestigungen in dicken Bauteilen ($h \geq 1,5 \cdot c_1$) angewendet werden. Die Dicke des Versuchskörpers wird so gewählt, dass diese Bedingung immer eingehalten ist.

Dabei stellt $A_{c,V}^0$ die projizierte Fläche des Betonausbruchkörpers einer Einzelbefestigung auf der Bauteilseite dar und $A_{c,V}$ die vorhandene projizierte Fläche unter Berücksichtigung der Überschneidung der einzelnen Ausbruchkörper (siehe Bild 4.77, [1]).

Die mittlere Betonbruchlast einer Einzelbefestigung $V_{u,c}^0$ wird nach Gleichung

$$(4.25) V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5} \quad [\text{N}]$$

berechnet.

Die notwendige Bedingung für die Anwendung dieser Formel ist mit $\frac{l_f}{d_{nom}} = \frac{h_{ef}}{d_0} = \frac{80\text{mm}}{18\text{mm}} = 4,44$ erfüllt. Die Würfeldruckfestigkeit wird durch β_w beschrieben und wurde in Versuchen zu $30,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ermittelt.

Damit ergeben sich für die drei verschiedenen Varianten sowie Einzelbefestigungen folgende Bruchlasten für Betonkantenbruch:

Variante a): $V_{u,c} = 46,7 \text{ kN}$

Variante b): $V_{u,c} = 33,0 \text{ kN}$

Variante c): $V_{u,c} = 74,5 \text{ kN}$

Variante d): $V_{u,c} = 16,5 \text{ kN}$

Variante e): $V_{u,c} = 46,7 \text{ kN}$

Die ausführlichen Berechnungen hierzu und zu den weiteren Ausführungen befinden sich im Anhang, Kapitel 9.1.2, dieser Seminararbeit.

Für die Berechnung der Bruchlast mit einem zusätzlichem Hebelarm von $e = 20 \text{ mm}$ wurde die Gleichung

$$(4.33) V_{u,c} = \Psi_M \cdot \Psi_{h,V} \cdot V_{u,c}^0$$

herangezogen. Der Faktor $\Psi_{h,V}$ berücksichtigt das Verhältnis Randabstand zu Bauteildicke und Ψ_M die Exzentrizität. Für den Abstand zwischen der Querlast und der Betonoberfläche e_1 in Ψ_M wurde 30 mm (Summe aus Dicke der Unterfütterung und der halben Ankerplattendicke) gewählt.

Allerdings ist Gleichung (4.33) nur für Einzelbefestigungen gültig, für Mehrfachbefestigungen unter Querlast mit Hebelarm werden in der Literatur keine Angaben gemacht. Es ist lediglich ein Hinweis enthalten, dass dieser Fall weiter untersucht werden soll.

Aus diesem Grund wird bei Variante a) mit dem randnahen Dübel gerechnet, da die volle Tragwirkung des randfernen Dübels nicht gewährleistet werden kann.

Um der höheren Bruchlast von Zweifachbefestigungen gegenüber der Einfachbefestigung gerecht zu werden, wird die Gleichung entsprechend angepasst. Deswegen wird das Ergebnis nach Gleichung (4.33) bei Variante b) verdoppelt, da rechnerisch zwei unabhängige Betonausbruchkörper entstehen, wohingegen sich die Kegel bei Variante c) überschneiden und damit nicht die Traglast von zwei Einzelbefestigungen erreicht wird. Daher wird das Ergebnis, wie schon bei der Berechnung ohne Hebelarm, mit dem Quotienten $\frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0}$ multipliziert.

Diese Annahmen führen zu folgenden Endergebnissen:

Variante a): $V_{u,c} = 14,7 \text{ kN}$

Variante b): $V_{u,c} = 29,5 \text{ kN}$

Variante c): $V_{u,c} = 66,3 \text{ kN}$

Variante d): $V_{u,c} = 14,7 \text{ kN}$

Variante e): $V_{u,c} = 41,6 \text{ kN}$

2.3.2 Stahlversagen

Bei querbelasteten Befestigungen wird der Dübel auch auf Biegung beansprucht. Diese Biegebeanspruchung darf nach Kapitel 4.1.2.2 [1] allerdings vernachlässigt werden, wenn, wie hier vorhanden, die Ankerplatte aus Stahl ist und gegen die Betonoberfläche verspannt ist. Somit darf die Gleichung

$$(4.17) V_{u,s} = \alpha \cdot A_s \cdot f_u$$

verwendet werden, wobei α für Dübelbefestigungen 0,6 beträgt. Bei Verwendung von Dübeln mit nicht ausreichendem Plastifizierungsvermögen, großem Lochspiel oder bei mehr als zwei in Lastrichtung hintereinanderliegenden Dübeln wird dieser Wert auf 0,5 reduziert. Auf der sicheren Seite liegend wird dieser reduzierte Wert für die Berechnung von Variante a) verwendet.

Variante a): $V_{u,s} = 157 \text{ kN}$

Variante b): $V_{u,s} = 188 \text{ kN}$

Variante c): $V_{u,s} = 188 \text{ kN}$

Variante d): $V_{u,s} = 94 \text{ kN}$

Variante e): $V_{u,s} = 94 \text{ kN}$

Bei einer 20 mm dicken Mörtelschicht müssen die Biegespannungen berücksichtigt werden, da „bei einer dickeren Ausgleichschicht ($\geq 3\text{mm}$) die Gefahr besteht, dass der Mörtel vor den Dübeln abplatzt und dann die Querlast nicht über Scherspannungen im Mörtel, sondern über Biegung der Dübel in den Ankergrund eingeleitet werden muss“ [1].

Die Bruchlast von Stahlversagen sinkt dabei durch das zusätzliche Moment nach Gleichung

$$(4.21) V_{u,s} = \alpha_M \cdot \frac{M_{u,s}}{l}$$

rapide ab. Der Einfluss der Lagerung des Anbauteils wird hierbei durch α_M berücksichtigt. Konservativ wird dieses als frei verdrehbar angenommen und führt zu einem Beiwert von $\alpha_M = 1,0$.

Da diese Gleichung unabhängig von Rand- und Achsabständen der Dübel ist, ergibt sich für jede Variante der gleiche Wert.

Variante a), b), c): $V_{u,s}(e = 20) = 32,4 \text{ kN}$

Rechnerisch wird bei Variante c) also das Stahlversagen maßgebend, bei Variante b) sind die Werte des Betonkantenbruchs und Stahlversagen fast identisch.

2.3.3 Zusammenfassung

	Variante a)	Variante b)	Variante c)	Variante d)	Variante e)
Betonkantenbruch					
$V_{u,c}(e = 0)$	46,7 kN	33,0 kN	74,5 kN	16,5 kN	46,7 kN
$V_{u,c}(e = 20)$	14,7 kN	29,5 kN	66,3 kN	14,7 kN	41,6 kN
Stahlversagen					
$V_{u,s}(e = 0)$	157,0 kN	188,0 kN	188,0 kN	94,0 kN	94,0 kN
$V_{u,s}(e = 20)$	32,4 kN	32,4 kN	32,4 kN	16,2 kN	16,2 kN

Tabelle 2: Endergebnisse der Berechnung nach Elgehausen, Mallée

2.4 Bemessung nach Bemessungssoftware

Neben einigen kommerziellen Softwareangeboten eignen sich zur Bemessung und Berechnung von Dübelbefestigungen besonders die Programme der jeweiligen Dübelhersteller. Diese sind kostenfrei und stehen jedem Nutzer nach einer entsprechenden Registrierung zum freien Download bereit. Im Folgenden wurde mit aktuellen Versionen von Bemessungsprogrammen der drei größten Hersteller fischer, HILTI und Würth gearbeitet und ein entsprechender Vergleich angestellt.

Die Funktionsweise der unterschiedlichen Programme war hierbei im Allgemeinen gleich, auf spezielle Unterschiede und daraus resultierende Schwierigkeiten wird jedoch zu gegebenen Zeitpunkten genauer eingegangen. Zunächst soll die Handhabung der Software beschrieben werden.

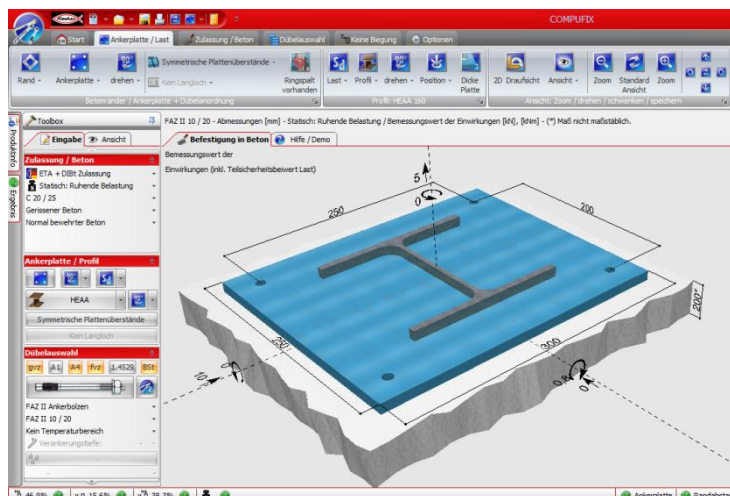


Abb. 9: fischer Compufix Eingabefenster

Sowohl die „Compufix“ Software von fischer, als auch die „Würth Technical Software“ und „HILTI PROFIS Anchor“ verfügen über Eingabemasken mit entsprechenden Einstellungsmöglichkeiten für das zu untersuchende System. Hierzu zählen beispielsweise Betonsorte, Dübelart, Einbindetiefe, Belastung und selbstverständlich wichtige grundlegende Angaben zur Befestigungsanordnung wie Dübelanzahl, Randabstände und gegebenenfalls der Hebelarm. Eine dreidimensionale Visualisierung hilft dem Anwender, die Eingabe mit seinem gewünschten System abzugleichen. Es werden daraufhin alle wichtigen Nachweise durchgeführt und mit den entsprechenden Ausnutzungsgraden und maximal aufnehmbaren Lasten ausgegeben.

Unterschiede existieren zu diesem Zeitpunkt nur auf einer gestalterischen Ebene, wobei fischer wahrscheinlich das optisch ansprechendste und HILTI das übersichtlichste Programm stellt. Erst während der Arbeit mit den Bemessungsprogrammen drängen sich weitere Unterschiede auf, welche für den allgemeinen Umgang mit der Software nicht erheblich sind, aber bei speziell dieser Seminararbeit zu einigen kleineren Komplikationen geführt haben. So waren die zu untersuchenden Befestigungsanordnungen bei HILTI PROFIS Anchor und der Würth Technical Software nicht eingebbar, da die gewählten Rand- und Achsabstände zu klein und somit nicht zulassungsgerecht waren. Lediglich fischer Compufix erlaubt eine uneingeschränkte Eingabe der Systeme. Für einen Vergleich der einzelnen Programme ist es jedoch unerlässlich, jeweils identische Systeme zu betrachten. Da die angestrebte Versagensart allerdings auf jeden Fall der Betonkantenbruch sein sollte, war es nicht möglich, die Randabstände ohne weiteres zu erhöhen. Um diese Situation zu umgehen, wurden zunächst einige Ersatzsysteme mit zulässigen Dübelanordnungen untersucht und verglichen. Bei einer Erhöhung der Rand- und Achsabstände auf 80, beziehungsweise 160 mm, zeigte sich, dass alle drei Programme hier nahezu identische Ergebnisse liefern. Somit ist davon auszugehen, dass die Eingabe in eines der drei Programme auch für die anderen beiden repräsentativ und somit vollkommen ausreichend ist. Eine Eingabe der eigentlich unzulässigen Systeme in der Compufix Software von fischer erlaubt also Rückschlüsse auf die anderen Programme und liefert so die relevanten

Bemessungsergebnisse für die Seminararbeit. Ausgerechnet dieses Programm offenbarte jedoch weitere Probleme.

Die Compufix Software von fischer besitzt zwar Optionen zur Berücksichtigung der Mörtel-Ausgleichsschicht, jedoch keine explizite Eingabefunktion für die Dicke der Ankerplatte, welche einen zusätzlichen Einfluss auf den Hebelarm und damit auch auf den Versagensmechanismus hat. Die Ankerplatte wird von dem Programm automatisch anhand der Belastung dimensioniert und selbst ein Anruf bei der Softwareabteilung der Firma fischer offenbarte keine Methode einer manuellen Eingabe. Letztlich konnte das Problem gelöst werden, indem eine zusätzliche Belastung eingegeben wurde, die keinen Einfluss auf die untersuchten Versagensarten hat, jedoch zu einer entsprechenden automatischen Dimensionierung der Ankerplatte führt. Vergleiche mit den Programmen, welche eine Eingabeoption für die Ankerplatte haben, zeigten, dass es so zu keinen Abweichungen kommt. Eine Tabelle gibt Aufschluss über die vorgenommenen Eingaben und geführten Vergleiche. Die Ergebnisse wurden bereits unter Berücksichtigung der Sicherheitsbeiwerte und der Streuung zu Höchstlasten errechnet.

Versuchsanordnung	Versagensart	HILTI	fischer	Würth
	Rand- / Achsabstand 80 mm	[kN]	[kN]	[kN]
A*, e=0	Betonkantenbruch	20,754	20,760	20,760
A*, e=20	Betonkantenbruch	20,754	20,760	20,760
		14,727	14,724	14,727
B*, e=0	Betonkantenbruch	41,510	41,520	41,506
B*, e=20	Betonkantenbruch	41,510	41,520	41,506
	Stahlversagen	29,454	29,447	29,454
C*, e=0	Betonkantenbruch	78,960	79,000	79,100
C*, e=20	Betonkantenbruch	78,960	79,000	79,100
	Stahlversagen	29,454	29,447	29,454
	Rand- / Achsabstand 70 mm			
A, e=0	Betonkantenbruch	-	17,460	-
A, e=20	Betonkantenbruch	-	17,460	-
	Stahlversagen	-	14,724	-
B, e=0	Betonkantenbruch	-	34,920	-
B, e=20	Betonkantenbruch	-	34,920	-
	Stahlversagen	-	29,447	-
C, e=0	Betonkantenbruch	69,260	69,260	69,260
C, e=20	Betonkantenbruch	69,260	69,260	69,260
	Stahlversagen	29,454	29,447	29,454

Tabelle 3: Übersicht Ergebnisse der drei Software-Anbieter

Es ist erkennbar, dass die Abweichungen in den Ergebnissen gering genug sind, um sie als austauschbar zu bezeichnen. Wie bereits erwähnt stellen die Ergebnisse von Fischer die maßgebenden Belastungen dar, wodurch auch die nicht ermittelbaren Zellen der Tabelle ersetzt werden. Auffällig ist, dass im Bezug auf den Betonkantenbruch keinerlei Berücksichtigung des Hebelarmes stattfindet. Alle drei Programme liefern mit der Mörtel-Ausgleichsschicht die selben Ergebnisse wie ohne sie.

Es sollte sich später herausstellen, dass die charakteristische Würfelfestigkeit des Betons im Versuch höher ausgefallen ist als zunächst geplant. Dies verlangte eine Anpassung der Bemessungsergebnisse, auf eine Berechnung mit allen Programmen wurde hier jedoch verzichtet. Die Höchstlasten aus der Berechnung mit der Fischer Compufix Software stellen sich folgendermaßen dar.

Versuchsanordnung	Versagensart	Höchstlast
A, e=0	Betonkantenbruch	19,14
A, e=20	Betonkantenbruch	19,14
	Stahlversagen	14,724
B, e=0	Betonkantenbruch	38,28
B, e=20	Betonkantenbruch	38,28
	Stahlversagen	29,447
C, e=0	Betonkantenbruch	75,88
C, e=20	Betonkantenbruch	75,88
	Stahlversagen	29,447

Tabelle 4: Ergebnisse Höchstlasten mit Fischer Compufix - Zweifachbefestigungen

In der Aufgabenstellung zwar nicht explizit vorgegeben, aber für die Vergleiche und die Interpretation des Geschehens von wichtigem Stellenwert sind die entsprechenden Ergebnisse von Einzelbefestigungen. Diese wurden ausschließlich mit der Fischer Software errechnet und besitzen folgende Werte.

Versuchsanordnung	Versagensart	Höchstlast
D, e=0	Betonkantenbruch	19,14
D, e=20	Betonkantenbruch	19,14
	Stahlversagen	14,724
E, e=0	Betonkantenbruch	38,28
E, e=20	Betonkantenbruch	38,28

Tabelle 5: Ergebnisse Höchstlasten mit Fischer Compufix - Einzelbefestigungen

Für die Seminararbeit von wenig Relevanz, aber dennoch erwähnenswert ist ein weiterer Unterschied, durch den sich die Software von Würth auszeichnet. Neben der bereits beschriebenen Eingabefunktion bietet dieses Programm eine weitere Option, die einem zu

Beginn ermöglicht, zwischen der Eingabemaske „Ingenieur“ und „Monteur“ zu entscheiden. Der Modus „Monteur“ funktioniert im Allgemeinen wie auch die anderen Programme. Man erstellt ein belastetes System, wählt einen Dübel und erhält alle nötigen Nachweise. Der Modus „Ingenieur“ verlangt keine Angabe des Dübels. Hier werden die Nachweise für alle Befestigungen im Sortiment von Würth geführt und eine Liste mit empfohlenen Befestigungsarten ausgegeben. Da die Art der Befestigung jedoch vorgeschrieben war, wurde auf diese Funktion weitgehend verzichtet.

2.5 Vergleich der Bemessungsergebnisse

$e = 0$	Randabstand	Dübelabstand Parallel zum Plattenrand	Nach Bemessungsprogramm	Nach Norm CEN-TS-1992-4	Nach Elgehausen und Mallée
Versuchsaufbau A	70	0	19,140	18,000	16,500
Versuchsaufbau B	70	250	38,280	36,010	33,000
Versuchsaufbau C	140	250	75,880	71,400	74,500
Versuchsaufbau D	70	-	19,400	18,000	16,500
Versuchsaufbau E	140	-	47,560	44,760	46,700

Tabelle 6: Vergleich Bemessungsergebnisse ohne Hebelarm

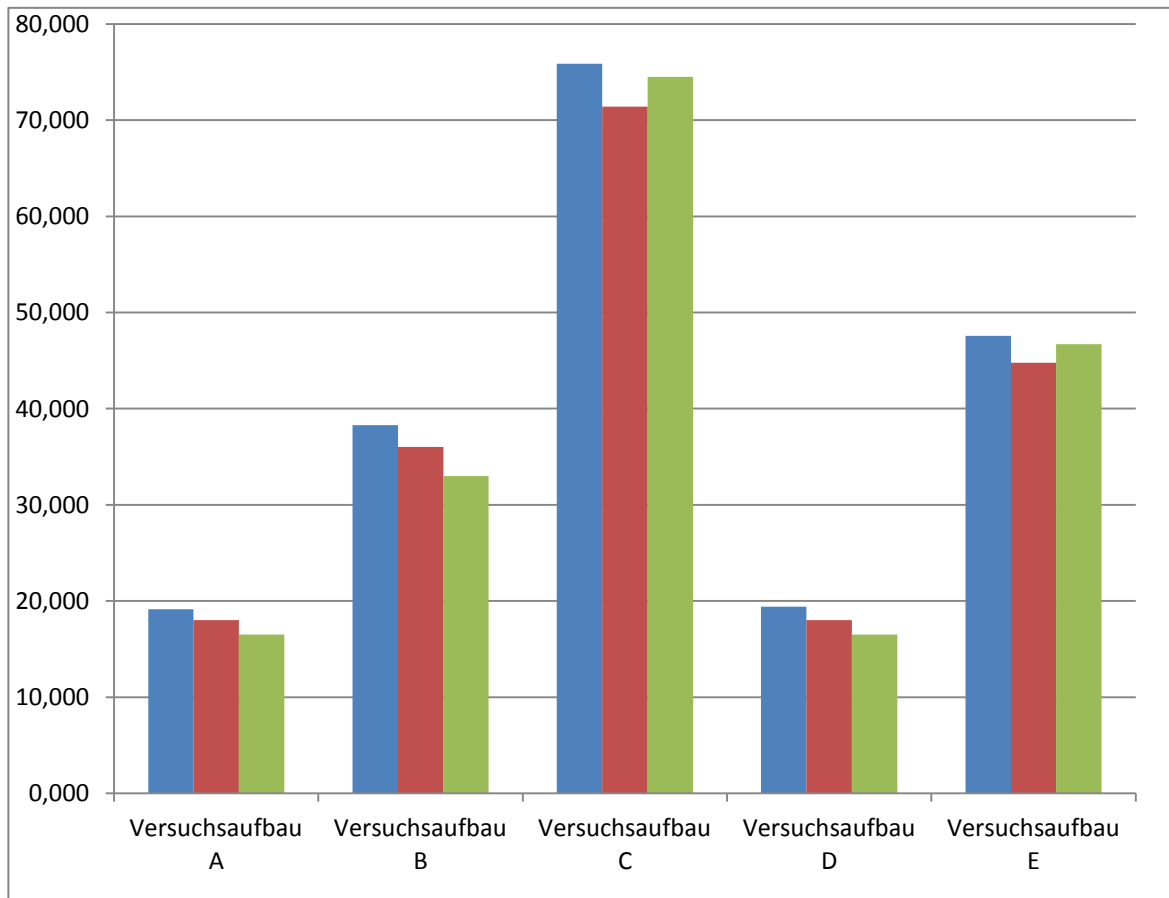


Abb. 11: Balkendiagramm der Bemessungsergebnisse ohne Hebelarm

e = 20	Randabstand	Dübelabstand Parallel zum Plattenrand	Stahl-	Beton-	Stahl-	Beton-	Stahl-	Beton-
			ver-	ver-	ver-	ver-	ver-	ver-
			sagen	sagen	sagen	sagen	sagen	sagen
			Nach Bemessungsprogrammen		Nach Norm CEN-TS-1992-4		Nach Elgehausen und Mallée	
Versuchsaufbau A	70	0	14,724	19,140	18,450	14,760	16,200	14,700
Versuchsaufbau B	70	250	29,447	38,280	36,900	29,590	32,400	29,500
Versuchsaufbau C	140	250	29,447	75,880	36,900	58,530	32,400	66,300
Versuchsaufbau D	70	-	9,200	19,140	18,450	14,760	16,200	14,700
Versuchsaufbau E	140	-	9,200	47,560	18,450	36,690	16,200	41,600

Tabelle 8: Vergleich Bemessungsergebnisse mit Hebelarm

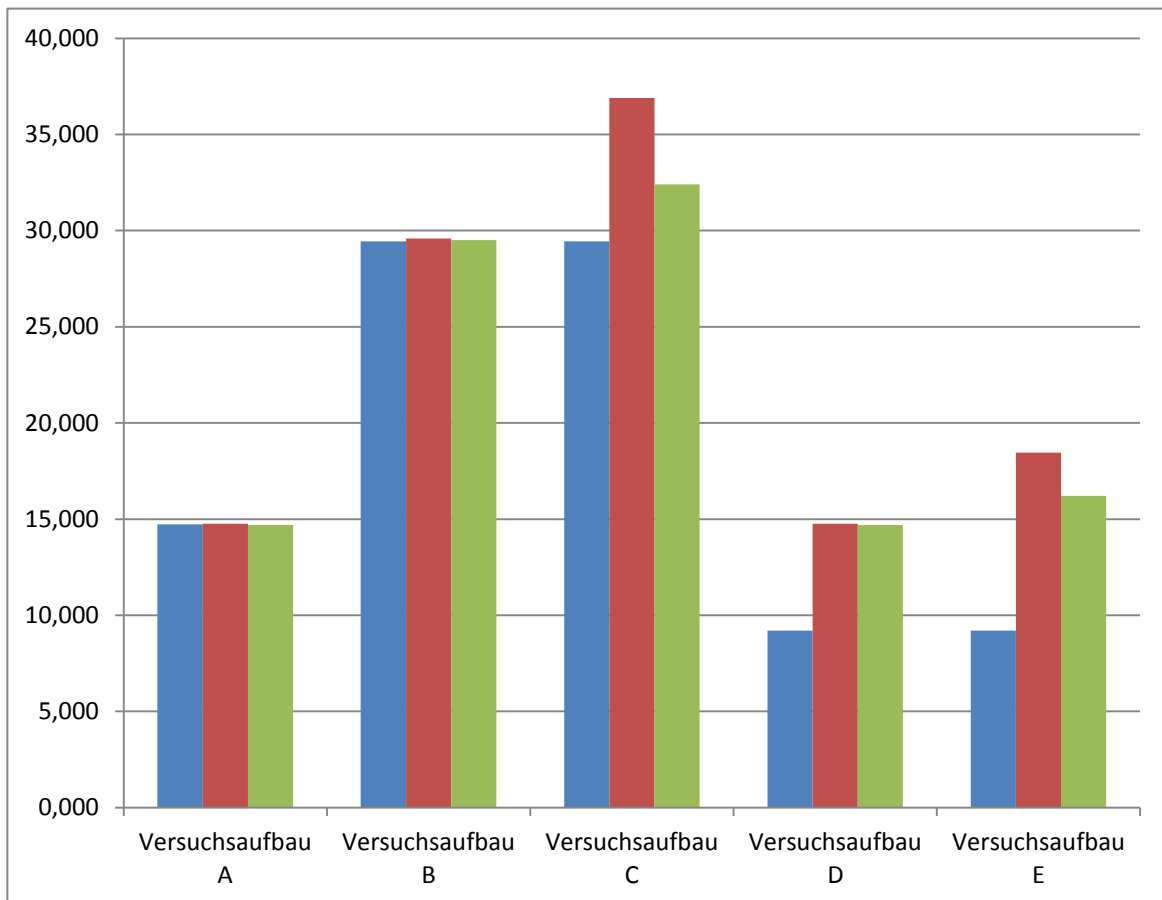


Abb. 11: Balkendiagramm der Bemessungsergebnisse mit Hebelarm

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Bemessungsmethoden besitzen bis auf wenige Ausnahmen die selbe Größenordnung. Besonders auffällig ist, dass bei einer Montage mit Mörtel-Ausgleichsschicht sehr häufig Stahlversagen maßgebend wird, obwohl dieser Versagensmechanismus ausgeschlossen wird. Dies macht sich vor Allem bei den Ergebnissen aus der Bemessungssoftware bemerkbar, da der Hebelarm auf den Betonkantenbruch überhaupt keinen Einfluss hat und die Höchstlast für diese Versagensart somit weit über der des Stahlversagens liegt.

3 Versuchsplanung

3.1 Materialien

Die Materialien für die vorgegebene Problemstellung waren teilweise vorgegeben, andere wiederum mussten von uns so angepasst werden, dass wir die gewünschten Ergebnisse erzielen konnten. Auf die einzelnen Werkstoffe und deren Eigenschaften wird im Folgenden eingegangen.

Beton

Laut Aufgabenstellung war ein Beton C20/25 vorgegeben.

In unserer Bestellung an das Betonmischwerk „peterbeton Rudolf Peter GmbH & Co.KG“ haben wir jedoch einen Beton C 12/15 bestellt um mögliche Überfestigkeiten zu vermeiden, da sonst unser Ziel bei den Versuchen Betonversagen zu beobachten eventuell nicht erfüllt werden könnte, da die Gefahr des Stahlversagens bestand.

Technische Daten des Betons:

w/z Wert	0,86
Konsistenzklasse	F3
Expositionsklasse	X0
Feuchtigkeitsklasse	WF
Zement	CEM II/B-S 42,5 N

Gesteinskörnung:

Art	Natursand/Rundkorn
Größtkorn	16 mm

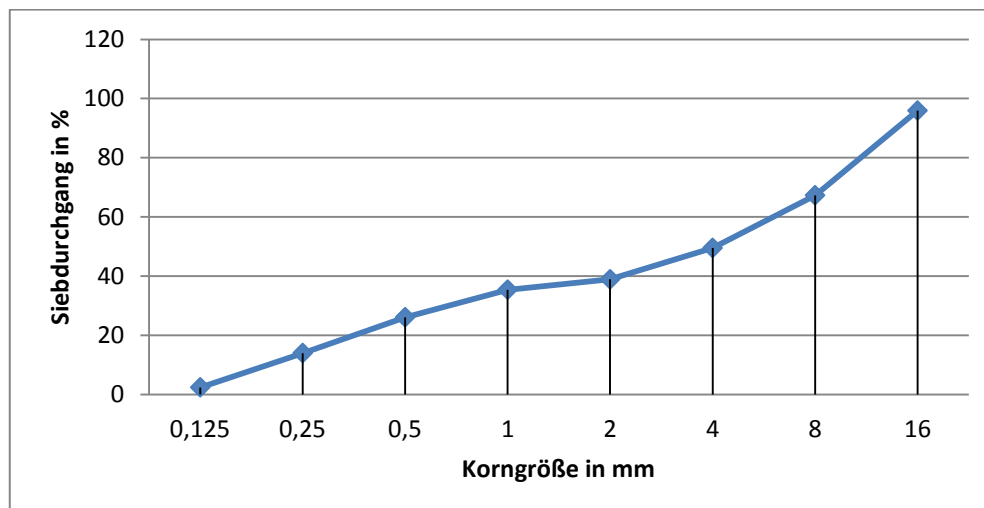


Abb. 12: Sieblinie



Abb. 13: Betonwürfel in der Prüfmaschine

Am Versuchstag wurden drei Würfel geprüft und das arithmetische Mittel ergab eine Würfelfestigkeit von 30,5 N/mm². Das heißt, trotz der Bestellung eines Betons mit wesentlich geringerer Würfelfestigkeit, war letztendlich eine Überfestigkeit vorhanden. Das Werk begründete dies damit, dass es mit dem heutigen großen Feinanteil kaum möglich sei, noch geringere Betonfestigkeiten zu erzielen.

Verbundmörtel

Wie in der Aufgabenstellung vorgegeben, wurde ein chemisches Verbundmittel verwendet. Wir wählten den Verbundmörtel WIT-VM200 der Firma Würth.

Gewindestangen

Die Standardmäßig zum WIT-VM200 gehörenden Gewindestangen weisen nur eine Festigkeit von 8.8 auf, da jedoch Stahlversagen für die Versuche unter allen Umständen auszuschließen war, wurden Gewindestangen M16 mit einer Festigkeit von 10.9 gewählt. Diese Gewindestangen wurden in Meterstücken geliefert und vor Ort von der MPA mit Hilfe einer Flex auf 20 cm lange Stücke gekürzt, damit sie für die vorgesehene Befestigung geeignet waren.

Vergussmörtel

Die fertig betonierten Platten sollten teilweise mit einer 20 mm hohen Vergussmörtelschicht ausgegossen werden. Gewählt wurde ein SikaGrout-553. Es handelt sich hierbei um einen zementbasierenden, fließfähigen und schrumpfkompensierten Vergussmörtel.

Technische Daten:

Chemische Basis	Zement, spezielle Zusätze
Größtkorn	8 mm
Konsistenzklasse	F1
Druckfestigkeit	50 N/mm ²
β_{24}	40 N/mm ²
Mischungsverhältnis	4 l Wasser auf 25kg Zement

3.2 Versuchsanordnung

Es werden insgesamt drei Versuchskörper mit den Abmessungen 1300 x 800 x 500 mm geprüft. Die Versuche werden auf den Betonplatten so angeordnet, dass sowohl eine Prüfung in der vorgesehenen Prüfmaschine möglich ist als auch eine einfache Vermörtelung möglich ist.

Die Versuchskörper werden nur auf einer Seite mit Dübeln bestückt, damit sich die Ausbruchkörper über die volle Höhe ausbreiten können und die Platten nicht gewendet werden müssen. Es wird ein Randabstand eingehalten und zusätzlich noch Platz für die Auflager der Prüfmaschine gelassen. Der erste Versuchskörper (Platte A) wird komplett vermörtelt, jedoch wird eine Lastausbreitung in der Mörtelschicht durch geeignete Einlagen verhindert. Auf dem dritten Versuchskörper (Platte C) werden nur für einzelne Versuche Mörtelbetten in Einzelschalungen erstellt.

Die Versuche gliedern sich in Hauptversuche und Ersatzplätze, die entweder ein Wiederholen des Versuches ermöglichen oder, wenn dieses nicht nötig ist, eine Aussage über die Streuung der Versuchsergebnisse liefern.

In Abb. 14 - 16 werden die Versuche, ihre Anordnung und die Versuchskörper dargestellt.

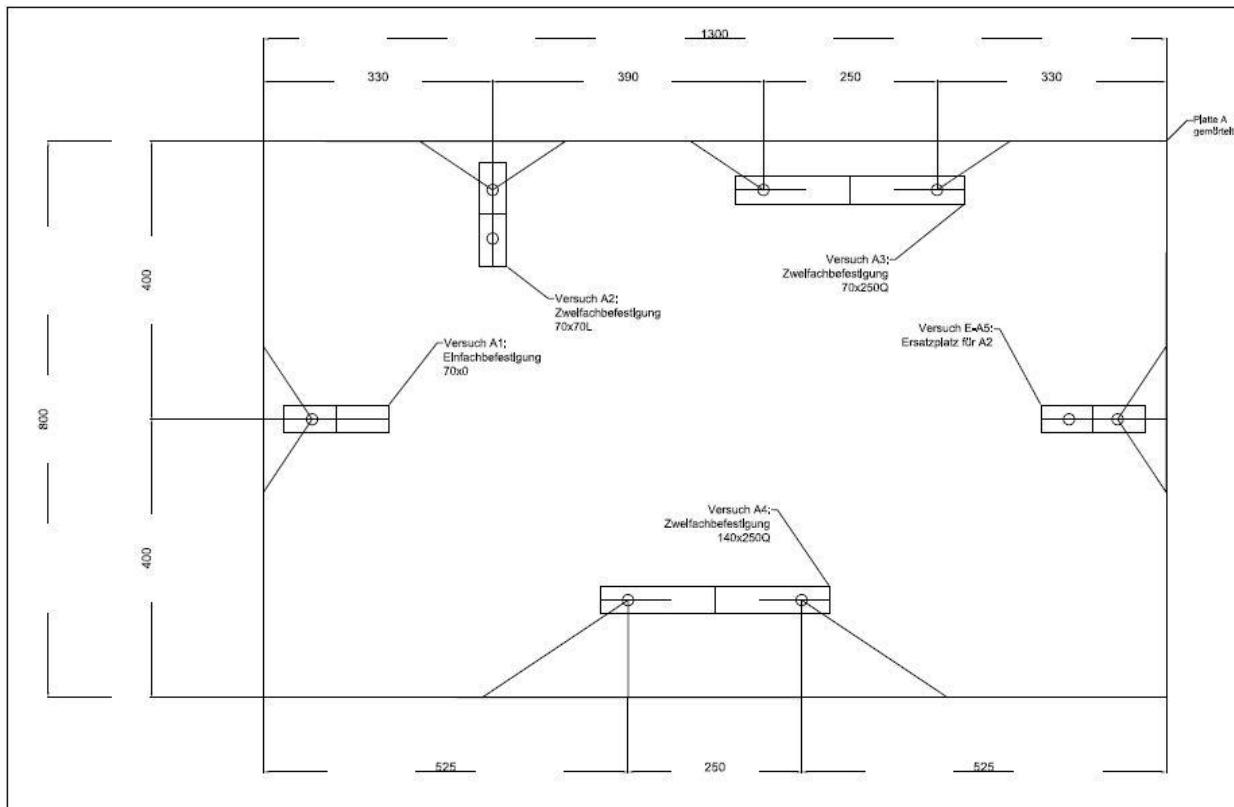


Abb. 14: Versuchskörper A, vermörtelt

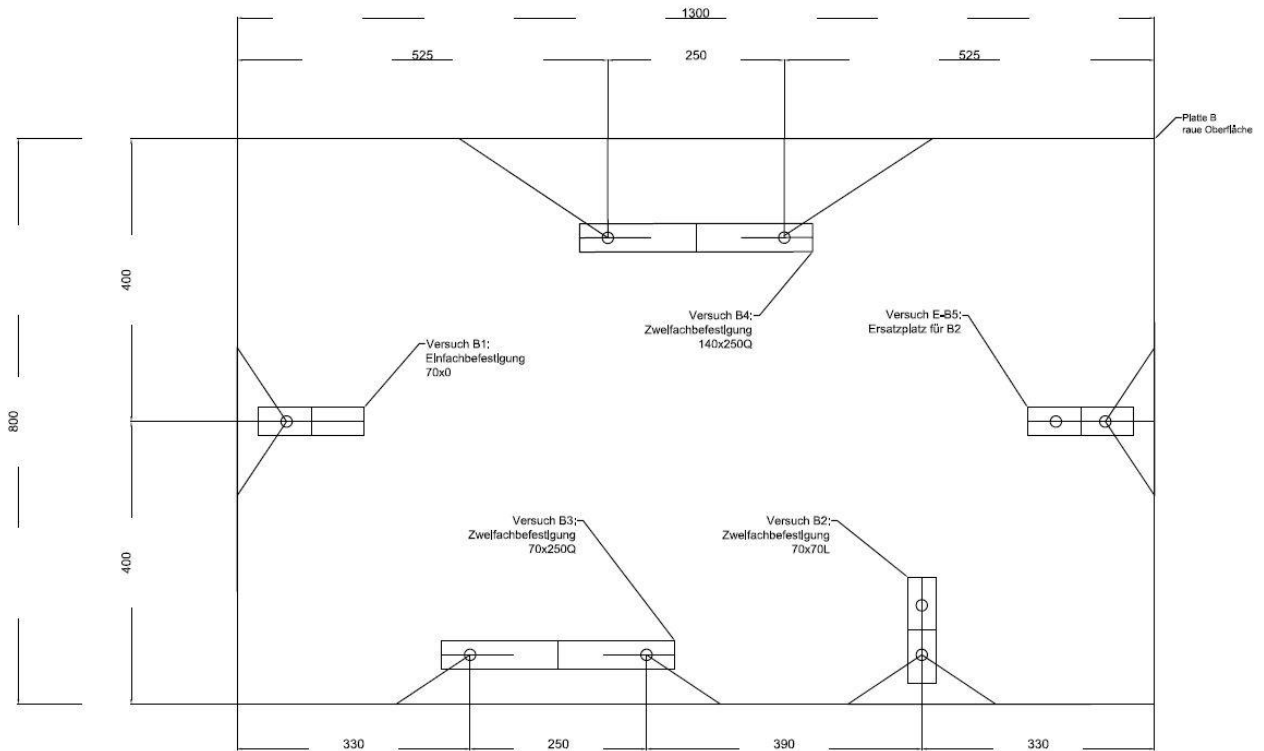


Abb. 15: Versuchskörper B, raue Oberfläche

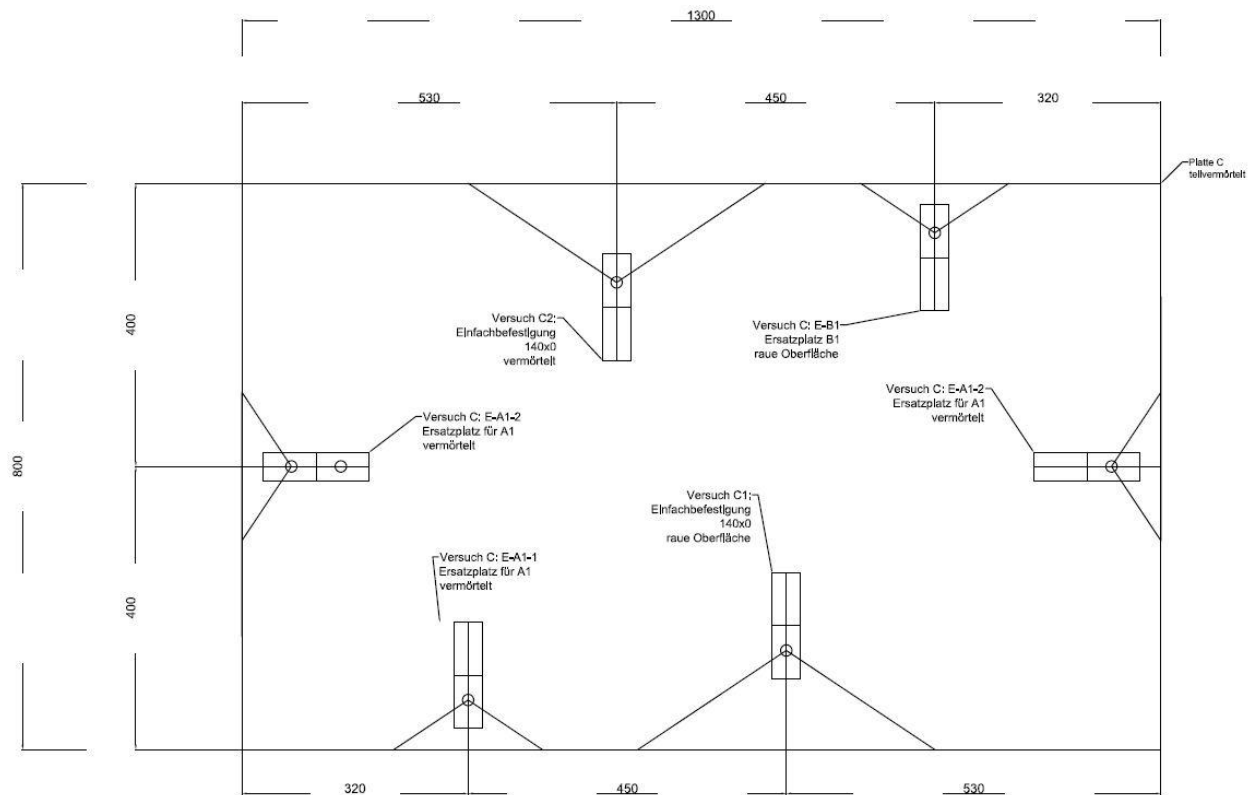


Abb. 16: Versuchskörper C, teilweise vermörtelt

3.3 Nachweis gegen Spalten der Betonplatte

Die Betonplatte für die Versuche ist unbewehrt und es muss ein Nachweis gegen Spalten der Platte geführt werden. Wenn die auftretenden Zugspannungen durch die Befestigungen die charakteristische Zugfestigkeit f_{ctm} des Betons überschreiten, kommt es zum Spaltversagen der Betonplatte. Deshalb ist ein schlanker Betonstreifen oft nicht ausreichend um Befestigungen zu testen.

Der Nachweis kann mit der Balkentheorie oder der Scheibentheorie geführt werden. Die Berechnung mit der Scheibentheorie wird mit dem FE-Programm RFEM von der Firma Dlubal durchgeführt.

- **Ansatz Balkenmodell**

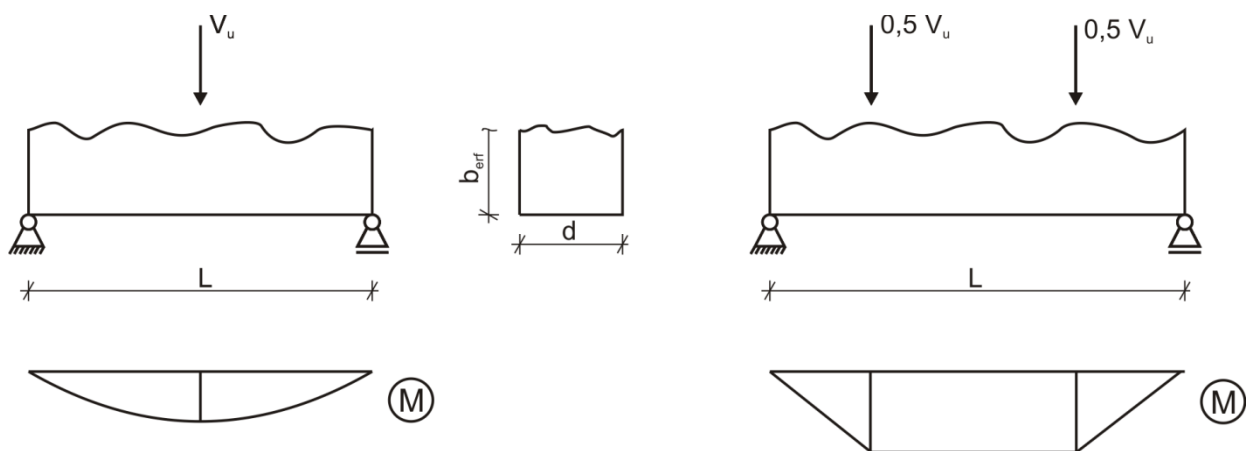


Abb. 17: Balkenmodell

Das statische Modell ist ein Balken auf zwei Stützen mit unterschiedlicher Belastung für die Einzelbefestigungen (Abb.17: links) und die Zweifachbefestigungen (Abb.17: rechts). Die Höchstlast V_u ist für die einzelnen Befestigungsvarianten a)-e) aus den Bemessungsergebnissen nach der Norm (Kap. 4.1) entnommen.

Die Länge L berechnet sich aus der Länge des Ausbruchkörpers $3 \cdot c_1$, dem Abstand s_1 zwischen zwei Dübeln bei einer Zweifachbefestigung, einem Sicherheitsabstand von je $0,5 \cdot c_1$ links und rechts des Ausbruchkörpers und jeweils der halben Auflagerbreite $a=30\text{cm}$.

$$L = 4 \cdot c_1 + s_1 + \frac{1}{2} a$$

Die Breite des Balkens ist die Dicke der Betonplatte $d = 50\text{ cm}$. Gesucht ist nun die Höhe des Balkens, welche der erforderlichen Plattenbreite b_{eff} als Widerstand gegen das Spalten entspricht.

Die Abmessung der Betonplatte beträgt $130 \times 80 \times 50\text{ [cm]}$. Ist b_{eff} größer als die Abmessungen in Längs- und Querrichtung kommt es zum Spalten. Natürlich sollte auch kein gegenüberliegender Versuch durch einen Riss aufgrund Spaltversagen beeinträchtigt werden.

Gewählt wurde ein Beton C20/25 mit einer Zugfestigkeit $f_{ctm} = 0,22\text{ kN/mm}^2$

Es kommt zum Spalten wenn die Zugspannungen an der unteren Randfaser die Zugfestigkeit des Betons überschreitet. Somit lautet der Ansatz:

$$f_{ctm} \geq \frac{M}{W} \text{ mit dem Widerstandsmoment } W = \frac{d \cdot b_{erf}^2}{6}$$

$$f_{ctm} \geq \frac{6 \cdot M}{d \cdot b_{erf}^2}$$

$$b_{erf} \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M}{d \cdot f_{ctm}}}$$

Die Ergebnisse für b_{erf} sind in einer Tabelle zusammengefasst.

Versuch	c_1 [cm]	L [cm]	V_u [kN]	M [kNcm]	b_{erf} [cm]
a) 70x70	7,0	58,0	18,00	261,00	11,93
b) 70x250	7,0	83,0	36,01	522,00	16,87
c) 140x250	14,0	111,0	71,40	1535,00	28,94
d) 70x0	7,0	58,0	18,00	261,00	11,93
e) 140x0	14,0	86,0	44,76	962,34	22,91

Tabelle 9: Vergleich Bemessungsergebnisse mit Hebelarm

Maßgebend ist Versuch c) 140x250 mit einer erforderlichen Plattenbreite von 28,94 cm. Da die Platte 80 cm breit ist und der gegenüberliegende Versuch ausreichend weit entfernt ist, ist der Nachweis erbracht und Spalten kann ausgeschlossen werden.

- **Ansatz Scheibenmodell**

Zur Kontrolle wurde die gesamte Platte nach Versuchskörper A (siehe Kapitel: 3.2) mit dem FE-Programm Dlubal RFEM 4.xx eingegeben und berechnet. Die Abstände der Auflager sind analog zum Balkenmodell ermittelt.

Auf der Seite mit zwei Befestigungen reicht der Platz nicht aus, wenn man die Auflagerbreite mit berücksichtigt. Bei den Versuchen wird daher ein Versuch nicht zum Bruch gefahren. Hier im FE-Modell wurde die Auflagerbreite vernachlässigt.

Jede Befestigung auf der Platte ist über Knoten eingegeben. Die unterschiedlichen Höchstlasten sind über fünf Lastfälle aufgebracht. Wenn auf die Lager eine Zugkraft wirkt fallen sie aus. Durch diese nichtlineare Berechnung ist gewährleistet, dass die Lager sich nicht gegenseitig beeinflussen. Im Eckbereich kann es dennoch eine Beeinflussung geben, da dort Druckkräfte wirken und die Lager nur gegen Zug ausfallen. Dieser Effekt kann aber vernachlässigt werden.

Berechnet wird nach der Platten-Biegetheorie nach Mindlin.

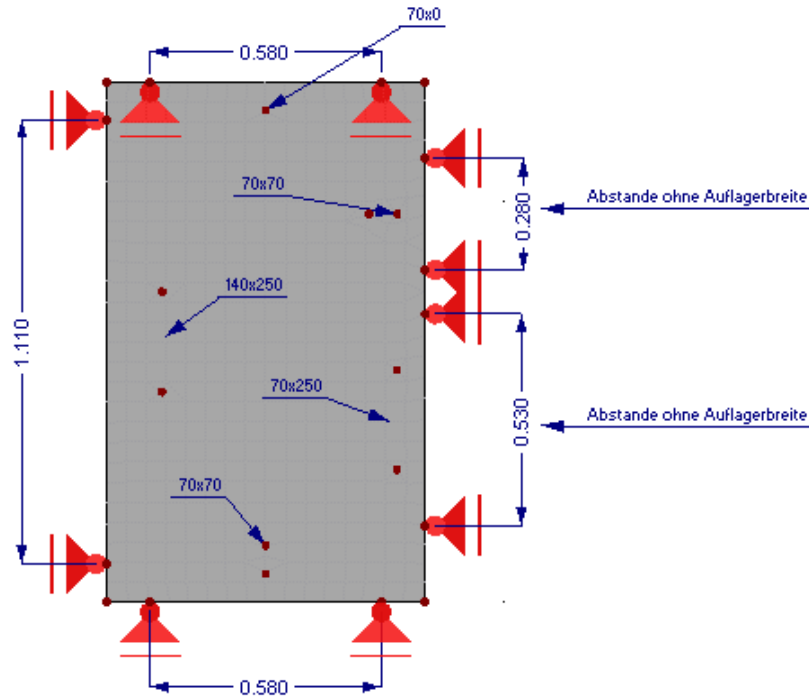


Abb. 18: Scheibenmodell

Da die Befestigung c) 140x250 maßgebend laut Balkenmodell ist, soll das Ergebnis hieran erläutert werden (restliche Befestigungen im Anhang). Man kann gut erkennen, dass die Tragwirkung ähnlich die eines Balkens ist. Am Rand bildet sich ein Zugband aus und in Richtung Mitte der Platte eine Druckzone. Zudem erkennt man auch die Form des Ausbruchkegels mit der Länge von ungefähr $3 \cdot c_1$.

Allerdings sind die Spannungen mit max. 0.03 kN/cm^2 im Vergleich zum Balkenmodell sehr gering. Dies liegt an der zweiachsigen Tragwirkung der Platte. Dadurch sind die Schnittgrößen viel kleiner als beim Balken.

Die Zugfestigkeit des Betons $f_{ctm} = 0,22 \text{ kN/cm}^2$ wird bei Weitem nicht erreicht.

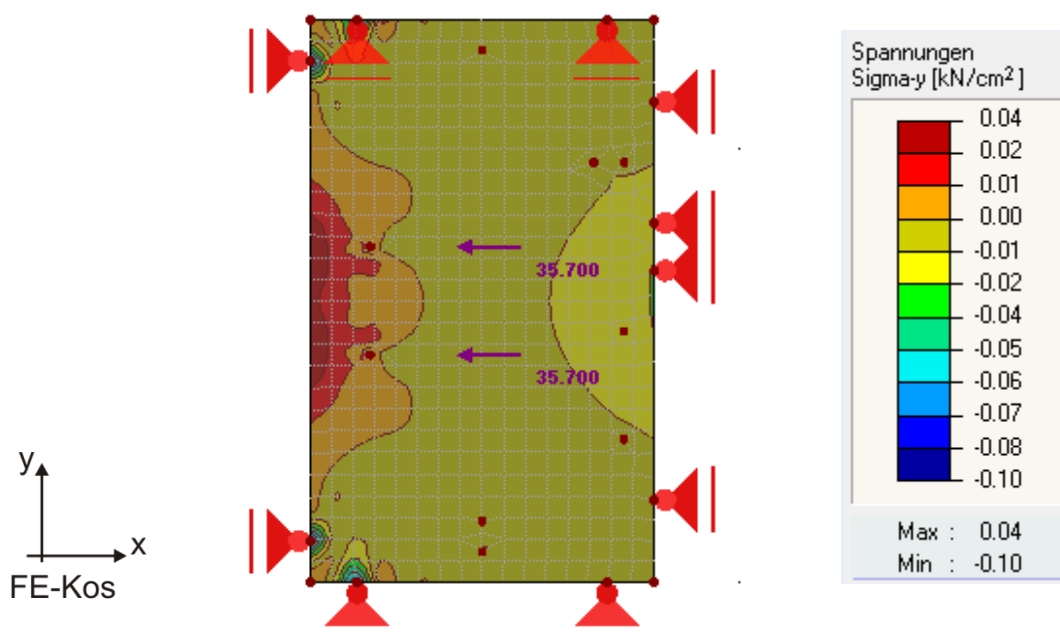


Abb. 19: Spannungsverlauf

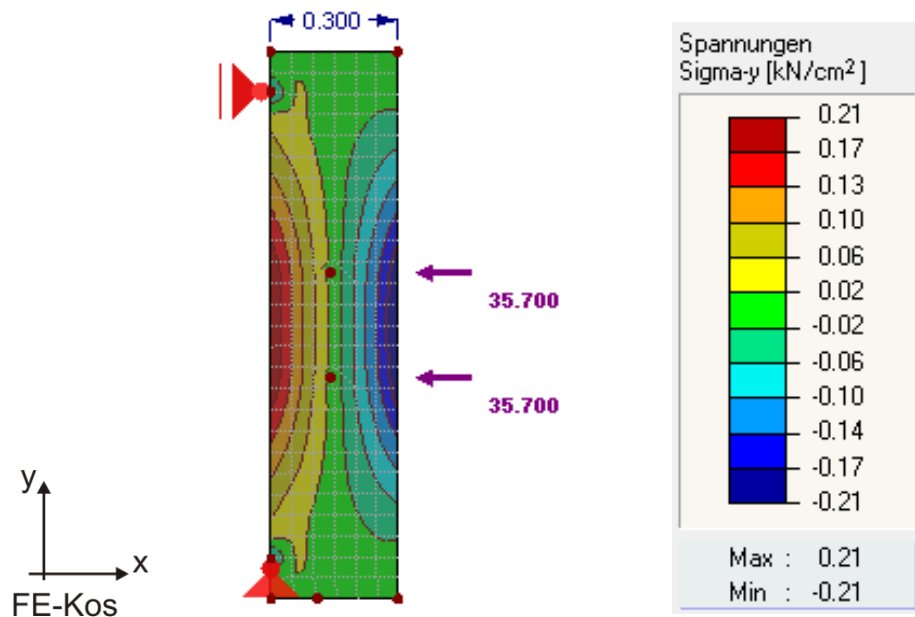


Abb. 20: Spannungsverlauf bei einer Plattenbreite von 30 cm

Zur Verdeutlichung der zweiachsigen Tragwirkung der Platte wird die Plattenbreite auf 30 cm reduziert. Hier werden max. Spannungen von 0.21 kN/cm² erreicht. Dies entspricht fast dem Balkenmodell.

Beide Modelle liegen weit auf der sicheren Seite. Da das Scheibenmodell die Tragwirkung der Platte mit berücksichtigt ist die Lösung genauer. Aber auch das Balkenmodell erfüllt den Nachweis gegen Spalten.

Zum Schluss ist zu sagen, dass die üblichen FE-Programme (Dlubal RFEM, Sofistik etc.) dafür ausgerichtet sind für Berechnungen von typischen Bauteile des Ingenieurbaus wie Decken, Scheiben, Stützen oder Schalentragerwerke aber weniger geeignet sind Befestigungen zu simulieren.

Für Befestigungen gibt es speziell dafür entwickelte Software. Das Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart bietet mit „MASA - **MA**croscopic **S**pace **A**nalysis“ eine FE-Simulation für Befestigungstechnik an.

4 Versuchsdurchführung

4.1 Versuchsvorbereitungen

- **Betonplatten**

Bereits 28 Tage vor Versuchsdurchführung hat man die drei Betonplatten mit den Abmessungen 1,3 m x 0,8 m x 0,5 m betoniert, die zugehörige Betonschalung wurde seitens der MPA gestellt. Der Beton wurde von Mitarbeitern der MPA eingebracht und ordnungsgemäß verdichtet und abgezogen, damit eine normal glatte Oberfläche erzielt wurde.

- **Verbunddübel**

Die Verbunddübel wurden 3 Tage vor der eigentlichen Versuchsdurchführung gesetzt.

Anreißen

Zu Beginn wurden die zu bohrenden Löcher mittels Bleistift, Winkel und Maßstab angerissen. Die genauen Abmessungen können dem Kapitel „Versuchsanordnung“ entnommen werden. Außerdem wurden Markierungen angerissen, um die Abstände der Auflagerung der Betonplatte gegen die Prüfmaschine einzuhalten.



Abb. 21: Anreißen

Bohren

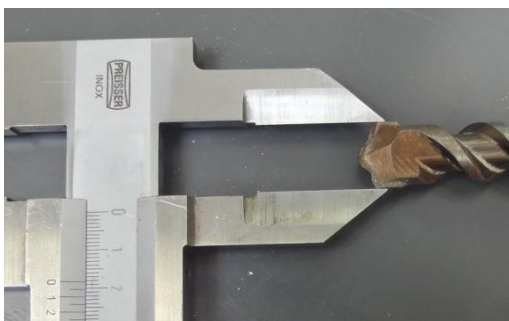


Abb. 22: Messung Bohrerdurchmesser



Abb. 23: Bohrmaschine: HILTI TE 55



Abb. 24: Bohren mit Fluchten

Daraufhin hat man mittels eines Bohrhammers, Typ HILTI TE 55 die Bohrlöcher mit einem Betonbohrer (vorhandener Schneidendurchmesser: 18,5mm) eingebracht. Um ein Bohrloch im Lot zu erlangen wurde die vertikale Position der Bohrmaschine zu Beginn und während des gesamten Bohrvorgangs von zwei Personen mittels eines Aufstellwinkels und Augenmaß überprüft und bei einer vertikalen Fehlstellung der Bohrmaschine diese korrigiert. Nach Aufgabenstellung sollen die Gewindestangen eine Einbindetiefe $h_{ef} = 80$ mm aufweisen, weshalb nach 85 mm am Bohrer ein Isolierband aufgebracht wurde, damit unter allen Umständen die tatsächlich erforderliche Einbindetiefe garantiert werden kann. Während des

Bohrvorgangs wurde das anfallende Betonmehl mit einem Sauger abgesaugt. Nach der Fertigstellung des Bohrlochs wurde die Tiefe mittels eines Maßstabes überprüft.

Ausblasen

Jedes Bohrloch wurde zunächst mit dem manuellen Ausblasgerät TAB 240 zweifach ausgeblasen.

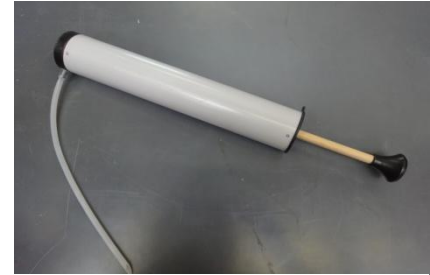


Abb. 25: Ausblasgerät

Bürsten

Nun stand dem Bürsten, welches für die spätere Tragfähigkeit maßgebend von Bedeutung ist, nichts mehr im Wege. Zunächst wurde das hierfür notwendige Material überprüft. Da die zur



Abb. 26: Überprüfung der Bürste



Abb. 25: Akkuschauber mit Bürste



Abb. 24: Bürstvorgang

Verfügung stehende Reinigungsbürste nur mit Widerstand durch das Loch der Lehre geführt werden konnte, welche von der Firma Würth mitgelieferte wurde, konnte mit ihr die Bohrlochreinigung durchgeführt werden. Die Bürste wurde an einen Akkuschauber der Firma Festo (Festo CDD 12/1) montiert. Jedes Bohrloch wurde zwei Mal maschinell ausgebürstet.

Ausblasen

Nach dem Ausbürsten erfolgt ein erneutes zweimaliges ausblasen mit dem Ausblasgerät.

Verbundmörtel einbringen

Bevor der Verbundmörtel eingebracht wird, muss die hintere Schutzkappe abgezogen und die Verschlusskappe vorne abgeschraubt werden. Danach kann der Statikmischer aufgeschraubt werden. Jetzt kann die Würth Zwei-Komponenten Auspresspistole zur Hand genommen werden und die Kartusche mit vorgeschraubtem Statikmischer eingelegt werden. Vor der Anwendung ist man verpflichtet einen Mörtelvorlauf auszupressen, welcher eine Länge von ca. 10 cm haben soll, bis letztendlich eine gleichmäßig graue Masse aus dem Statikmischer hervortritt. Selbstverständlich darf der Mörtelvorlauf nicht für die Befestigung verwendet werden.



Abb. 29: Kartusche in Auspresspistole



Abb.30: Mörtelvorlauf

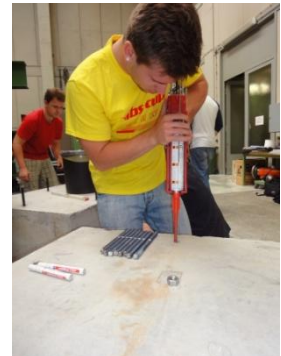


Abb. 6: Einbringen des Verbundmörtels

Vom Bohrlochgrund ausgehend darf nun der Verbundmörtel WIT-VM 200 bis zu einer Höhe von 2/3 des Bohrloches eingebracht werden.

Gewindestangen eindrehen

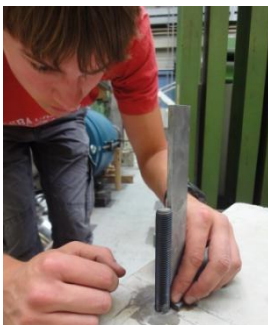


Abb.32:
Gewindestangen loten

Die Gewindestangen liefert Würth in 1 m langen Stücken, weshalb diese noch auf eine Länge von 20 cm mit Hilfe einer Flex von einem Mitarbeiter der MPA gekürzt wurden. Direkt nach dem Einbringen des Verbundmörtels muss ohne zeitliche Verzögerung die Gewindestange M16 der Festigkeit 10.9 unter leichter Drehbewegung bis zum Bohrlochgrund eingedrückt werden. Um die richtige Einbindetiefe der Gewindestangen zu gewährleisten wurden diese mittels eines Stifts auf einer Höhe von 80 mm vor dem Einbringen markiert. Jetzt wird mittels eines Aufstellwinkels die vertikale Position der Gewindestange überprüft. Die Vermörtelung sollte nach der Einbringung der Gewindestange an der Betonoberfläche sichtbar werden. Ist dies nicht der Fall, so ist die Ankerstange sofort wieder herauszuziehen und abermals Injektionsmörtel zu injizieren.

Entfernung überschüssiger Mörtel



Abb. 33: Fertige Betonplatte

Überschüssiger Mörtel an der Betonoberfläche kann entfernt werden. Die Aushärtezeit in Abhängigkeit der Systemtemperatur ist nach der Montageanleitung einzuhalten.

• Vergussmörtel

Es wird der Vergussmörtel SikaGrout- 553 verwendet.

Betonoberflächenvorbehandlung

Vor dem Aufbringen des Vergussmörtels wurde die Betonoberfläche komplett gefegt und abgesaugt, damit sich kein Staub oder Dreck darauf befindet, der das Verbundverhalten zwischen Vergussmörtel und der Betonplatte negativ beeinflussen könnte.



Abb.34: Betonoberfläche absaugen

Daraufhin wurde der zu vermörtelnde Untergrund vorgeenässt.

Schalung

Die Schalung wurde in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der MPA erstellt und auf die Betonplatten aufgebracht. Entweder wurde die komplette Plattenoberfläche eingeschalt oder nur die relevanten Teilbereiche in Umgebung der Befestigung. Es wird auf eine dichte, unnachgiebige Schalung geachtet, weshalb die Schalung mit Silikon zur Betonoberfläche hin abgedichtet wurde.



Abb.35: Anbringung der Schalung und des Silikons

Erstellung des Vergussmörtel



Abb.36: Mischen des Vergussmörtel

Der Zement wurde nach dem vorgegebenen Mischungsverhältnis angerührt, d.h. auf 25 kg Trockenmischung kommen 4 l Wasser. Mittels Rührquirl wird drei Minuten knollenfrei gemischt.

Einbringen des Vergussmörtel



Abb.37: Eingießen des Vergussmörtel

Nachdem der Verbundmörtel der Befestigung bereits seine Mindestaushärtezeit von 45 Minuten erreicht hatte konnte mit dem ausgießen der Schalung mit dem Vergussmörtel begonnen werden. Ohne Unterbrechung wurde dieser von einer Seite der Schalung langsam eingefüllt um Lufteinschlüsse zu vermeiden.

Reinigung der Gewindestangen



Abb.38: Reinigung der Gewindestangen

Die Gewindestangen wurden mit einem feuchten Tuch abgeputzt, damit der zu erhärten drohende Vergussmörtel das spätere Aufdrehen von Muttern nicht behindert.

Ausschalen



Abb. 39: Ausgeschalte Plattenoberfläche

Nachdem der Vergussmörtel bereits drei Tage ausgehärtet war, konnte ausgeschalt werden. Hierbei muss besonders vorsichtig gearbeitet werden, da der abgebundene Vergussmörtel eine sehr geringe Zugfestigkeit aufweist und demzufolge sehr schnell reißt.

4.2 Versuchsaufbau

Lagerung des Versuchskörpers

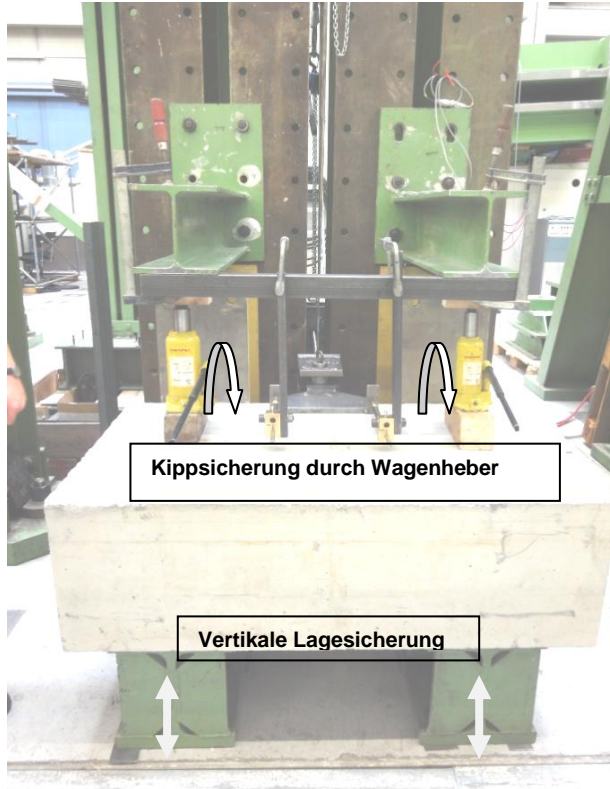


Abb. 40: Frontansicht Versuchsaufbau



Abb. 41: Draufsicht Versuchsaufbau

Die Betonplatten müssen so gelagert werden, dass während der gesamten Versuchsdurchführung die Lagesicherheit gewährleistet ist und eine Verfälschung der Messergebnisse durch eine Bewegung des Betonkörpers ausgeschlossen werden kann.

Die vertikale Lagesicherung erfolgt über zwei im Abstand von 50 cm liegende, 80 cm lange und 30 cm breite I-Träger (grün).

Eine horizontale Verschiebung wird ebenfalls durch zwei I-Träger (gelb) am Versuchsstand verhindert (Abb. 41).

Um ein Kippen der Betonkörper zu verhindern wurde die Platte noch zwischen den unteren I-Trägern und zwei I-Trägern oberhalb der Betonkörper mit Hilfe von zwei Wagenhebern verspannt (Abb. 40).

Zugschwert

Aufgrund der unterschiedlichen Dübelanordnung von Zweifach- und Einfachbefestigungen waren zwei unterschiedliche Zugschwerter erforderlich.

Für die Einfachbefestigung war bereits ein Zugschwert in der MPA vorhanden. Es mussten lediglich zwei neue Löcher gebohrt werden, da mit diesem Zugschwert auch die Zweifachbefestigung des Typ a) geprüft wurde. An dieses Zugschwert wurde ein Anschlagblech angeschweißt, das später dem Wegaufnehmer als Anschlag dient. Das Anschlagblech wurde so dimensioniert, dass auch bei großen Verschiebungen während der Versuchsdurchführung

dauerhaft ein Kontakt zum Wegaufnehmer gewährleistet werden konnte. Die genauen Maße können den Zeichnungen entnommen werden.

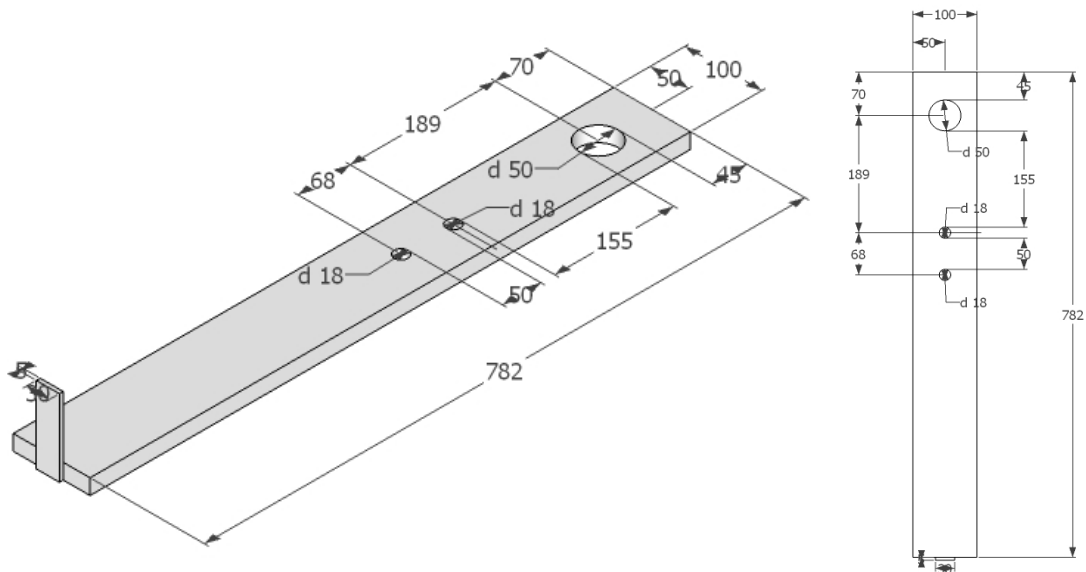


Abb. 42: Zugschwert für Varianten a),d) und e)

Das zweite Zugschwert war für die Zweifachbefestigung parallel zur Betonkante notwendig. Da für die spätere Versuchsauswertung die Verschiebung beider Dübel von Interesse war, wurden zwei Anschlagbleche angebracht, damit sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite des Zugschwertes unabhängig voneinander jeweils ein Wegaufnehmer die Verschiebungen aufnehmen konnte.

Am Ende wurde auch hier ein Loch mit einem Radius von 50 mm angebracht für den Anschluss an den Zugkolben.

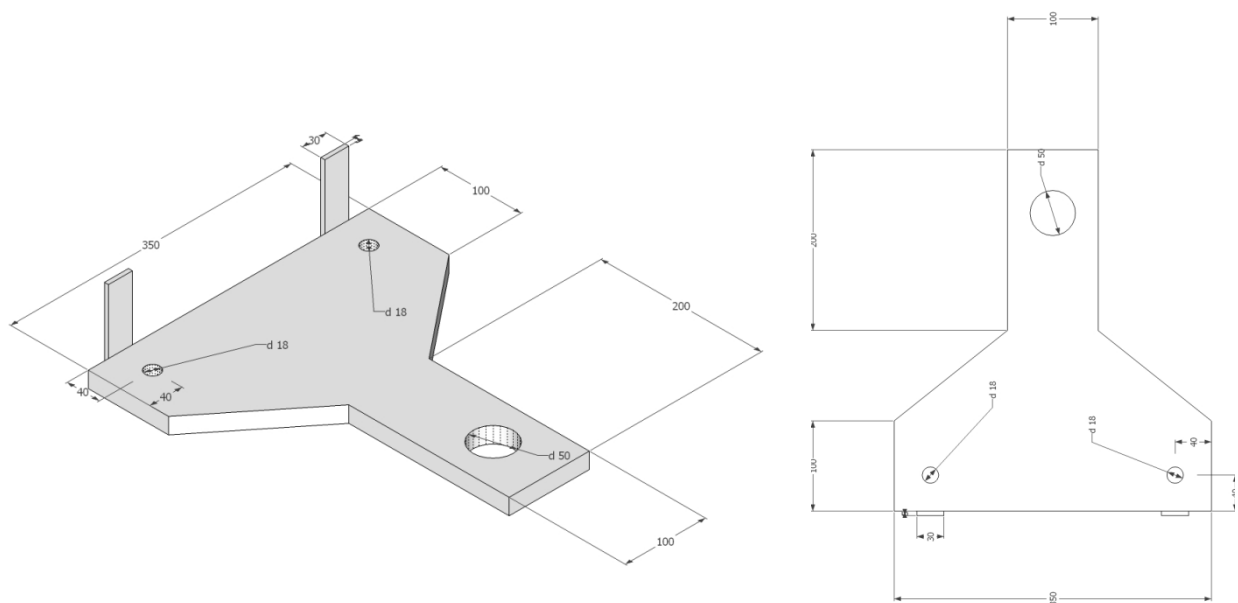


Abb. 43: Zugschwert für Varianten b) und c)

Montage Zugschwert

Zwischen das jeweils benötigte Zugschwert und die Beton- bzw. Mörteloberfläche wird eine Teflonfolie gelegt, diese verhindert einen gleichen Reibbeiwert bei jedem Versuch zwischen Zugschwert und der Prüfkörperoberfläche, welcher die Versuchsergebnisse negativ beeinflussen könnte. Für die beiden geometrisch unterschiedlichen Zugschwerter wurde jeweils eine separate Teflonfolie angefertigt. Die Folie konnte für alle Versuche eingesetzt werden und musste nicht erneuert werden.

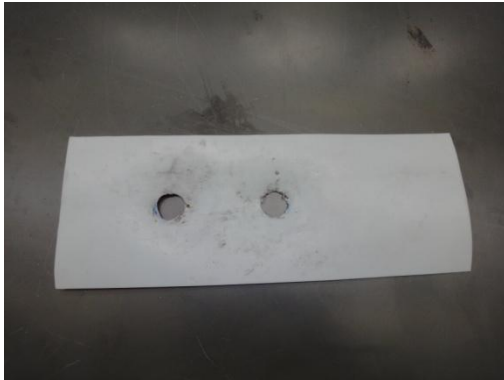


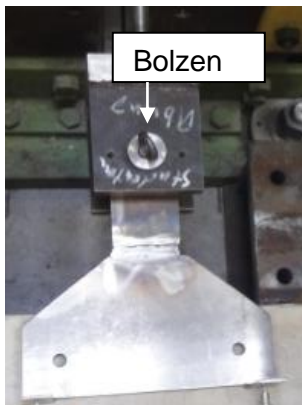
Abb. 44: Teflonfolie für Zugschwert 1



Abb. 45: Drehmomentschlüssel

Anschließend wird das Zugschwert auf die Gewindestange gefädelt und mit einer Mutter befestigt. Die Mutter wird nach Montageanleitung für die M16-Befestigung mit einem Drehmoment von 60 Nm angezogen.

Zugkolben



Der weggesteuerte Zugkolben wird an der vorgesehenen Öffnung am Zugschwert mittels Bolzen befestigt. Bei der Montage wird darauf geachtet, dass sich zwischen Bolzen und Zugschwert möglichst kein Lochspiel einstellt, da dieses bei der späteren Aufzeichnung der Verformungen eine Verfälschung der Ergebnisse zur Folge hat.

Die Zugkolben - Höhe kann den Versuchen angepasst werden, sodass eine Anpassung der Höhe bei Versuchen mit und ohne Mörtel ohne möglich war, es muss hierfür lediglich eine längere Umbauzeit eingeplant werden.

Abb. 46: Anschluss Zugkolben - Zugschwert

4.3 Messung, Durchführung (Versuchsmatrix)

Die Versuche werden weggesteuert über eine Zugvorrichtung (Zugkolben) durchgeführt. Die Geschwindigkeit kann in mehreren Stufen zwischen $0,2 \frac{mm}{min}$ und $8 \frac{mm}{min}$, auch während des Versuches, geändert werden. Diese Versuchsdurchführung bietet den Vorteil, dass Rissbildungen und -wachstum im Lastverformungsdiagramm leicht erkennbar sind und eventuell auftretende Lastabfälle erfasst werden. Der verwendete Kolben besitzt eine Maximalkraft von 200 kN und ermöglicht Verschiebungen von maximal 50 mm.

Um den Einflüssen aus Spiel zwischen Kolben und Zugschwert, sowie der Dehnung des Zugstabes entgegenzuwirken, werden separate Wegaufnehmer für die Messung des zurückgelegten Weges eingesetzt. Bei Einfachbefestigungen und Mehrfachbefestigungen mit zum Rand hin hintereinanderliegenden Dübeln zeichnet ein Wegaufnehmer die bewältigte Strecke des Zugschwertes auf. Zwei Wegaufnehmer dokumentieren die Ergebnisse bei Mehrfachbefestigungen mit parallel zum Rand nebeneinanderliegenden Dübeln. Diese werden jeweils in Verlängerung der Achse Rand-Dübel montiert und geben somit auch Aufschluss über die Verdrehung des Zugschwertes und das Verhalten der einzelnen Dübel bei der Versuchsdurchführung.

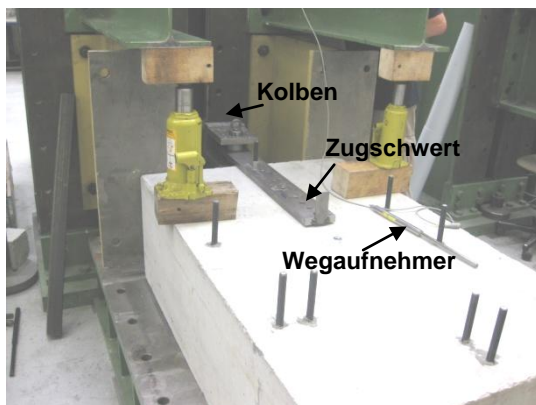


Abb. 47: Messvorrichtungen



Abb. 48: Wegaufnehmer bei Einfachbefestigungen und hintereinander angeordneten Dübeln



Abb. 49: Wegaufnehmer bei nebeneinander liegenden Dübeln

Die eingesetzten Wegaufnehmer müssen während der Montage über eine innenliegende Feder verkürzt werden, damit sie anschließend bei der Versuchsdurchführung der Verformung folgen können.

Die folgenden Last-Verschiebungskurven beziehen sich somit komplett auf die montierten Wegaufnehmer und eine computergestützte Messeinrichtung zeichnet sechs Parameter auf:

- die verstrichene Zeit des Versuches
- die auf die Konstruktion wirkende Zugkraft
- der vom Maschinenkolben zurückgelegte Weg, dieser wird in der Auswertung jedoch nicht weiter berücksichtigt
- der zurückgelegte Weg des einzelnen Wegaufnehmers bzw. die zurückgelegten Wege der beiden Wegaufnehmer, sowie deren Mittelwert

Diese Werte werden fünf Mal pro Sekunde erfasst und in einem Versuchsprotokoll für die weitere Auswertung gespeichert.

Um eine möglichst geringe Umbauzeit zu erreichen, werden die Betonplatten nacheinander getestet. Diese werden mittels Kranbahn auf den Versuchsstand gehoben. Da auf der langen Seite der Versuchskörper zwei Versuche angeordnet worden sind, wird immer ein Versuch nicht bis zum Bruch gefahren. Dieses soll einen zweiten, unverfälschten Versuch auf einer Seite ermöglichen. Während der Versuche wird die Rissentwicklung beobachtet, um bei einem Rissverlauf, der einen anderen Versuch gefährdet, abubrechen.

Die Versuche werden nach folgender Reihenfolge durchgeführt:

A) Versuchskörper A, gemörtelt

- Versuch A1: Einfachbefestigung 70 x 0
- Versuch A2: Zweifachbefestigung 70 x 70 L
- Versuch A3: Zweifachbefestigung 70 x 250 Q
- Versuch A4: Zweifachbefestigung 140 x 250 Q
- Versuch A5: Ersatzplatz A2 (E-A2)

B) Versuchskörper B, raue Oberfläche

- Versuch B1: Einfachbefestigung 70 x 0
- Versuch B2: Zweifachbefestigung 70 x 70 L
- Versuch B3: Zweifachbefestigung 70 x 250 Q
- Versuch B4: Zweifachbefestigung 140 x 250 Q
- Versuch B5: Ersatzplatz für B2 (E-B2)

1. Versuchskörper C, teilweise gemörtelt

- Versuch C1: Einfachbefestigung 140 x 0, raue Oberfläche
- Versuch C2: Einfachbefestigung 140 x 0, gemörtelt
- Versuch C3: Ersatzplatz für B1 (E-B1)
- Versuch C4: Ersatzplatz für A1 (E-A1-1)
- Versuch C5: Ersatzplatz für A1 (E-A1-2)
- Versuch C6: Ersatzplatz für A1 (E-A1-3)

Die Versuche werden von zwei bis drei Studenten direkt am Versuchskörper beobachtet und Risse zur Verdeutlichung und späteren Auswertung mit einem Stift nachgezeichnet. Des Weiteren werden Fotos geschossen, die Aufzeichnungen des Messcomputers beobachtet und alles direkt dokumentiert, um später für jeden gefahrenen Versuch ein Protokoll erstellen zu können. Dabei erfolgt ein erster Abgleich zwischen den Versuchs- und Berechnungsergebnissen.

5 Auswertung der Versuchsergebnisse

Die Versuchsdaten werden während der Versuche direkt in eine Textdatei geschrieben. Die zugehörigen Last-Verschiebungskurven werden daraufhin mit dem Programm „Gnuplot“ erstellt. Gnuplot ist ein skript- bzw. kommandozeilengesteuertes Computerprogramm zur grafischen Darstellung von Messdaten und mathematischen Funktionen. Bei mehreren Messdaten ist dieses Programm besser geeignet als beispielsweise Microsoft Excel, da es in der Lage ist größere Datenmengen zu verarbeiten.

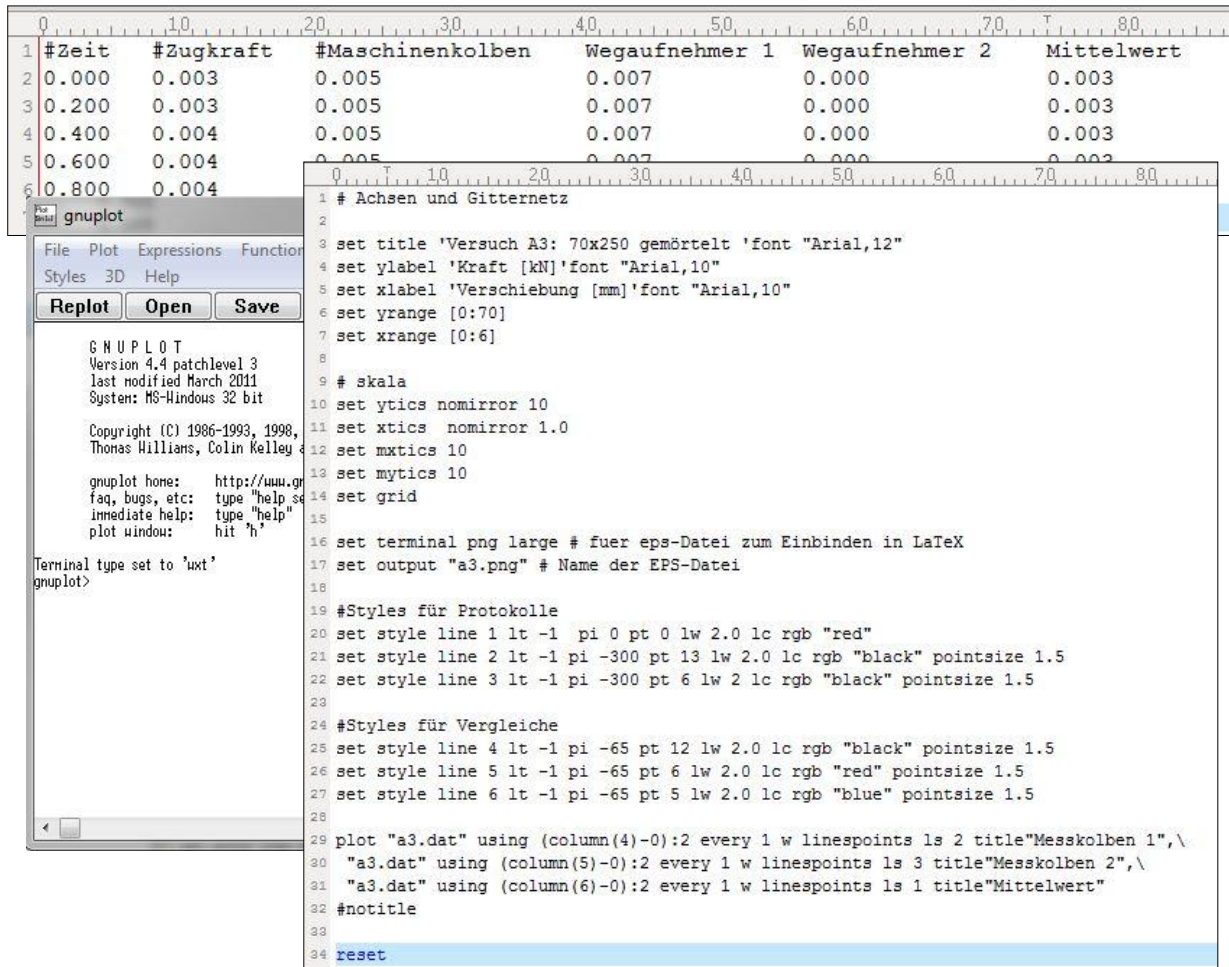


Abb. 50: Auszug Textdatei und Gnuplot Programmcode

Über einen Befehl legt man fest, welche Werte man aus der Textdatei plotten möchte. Bei Einzelbefestigungen wird beispielsweise die Spalte 2 (Kraft) und die Spalte 4 (Wegaufnehmer 1) dargestellt. Durch weitere Befehle können dann die Graphen gestaltet (Linienfarbe, Liniendicke etc.)

Die größte Höchstlast von 67,5 kN erreichte der Versuch A4 (140x250 gemörtelt). Die max. Verformung aller Versuche liegt im Intervall von 5-6 mm. Danach richtet sich die Skalierung aller Diagramme in den Versuchsprotokollen. Gewählt wird für die Höchstlast der nächste 10er Schritt 70 kN und für die Verformung 6 mm. Dies erleichtert das Übereinanderlegen der Diagramme. Für die Auswertung der Versuchsergebnisse und Vergleiche werden mehreren Graphen von verschiedenen Versuchen in ein Diagramm gezeichnet. Hier ist die Skalierung

dem Versuchsergebnis angepasst um beispielsweise den Unterschied der Steigung besser zu erkennen.

Versuch B1: 70x0

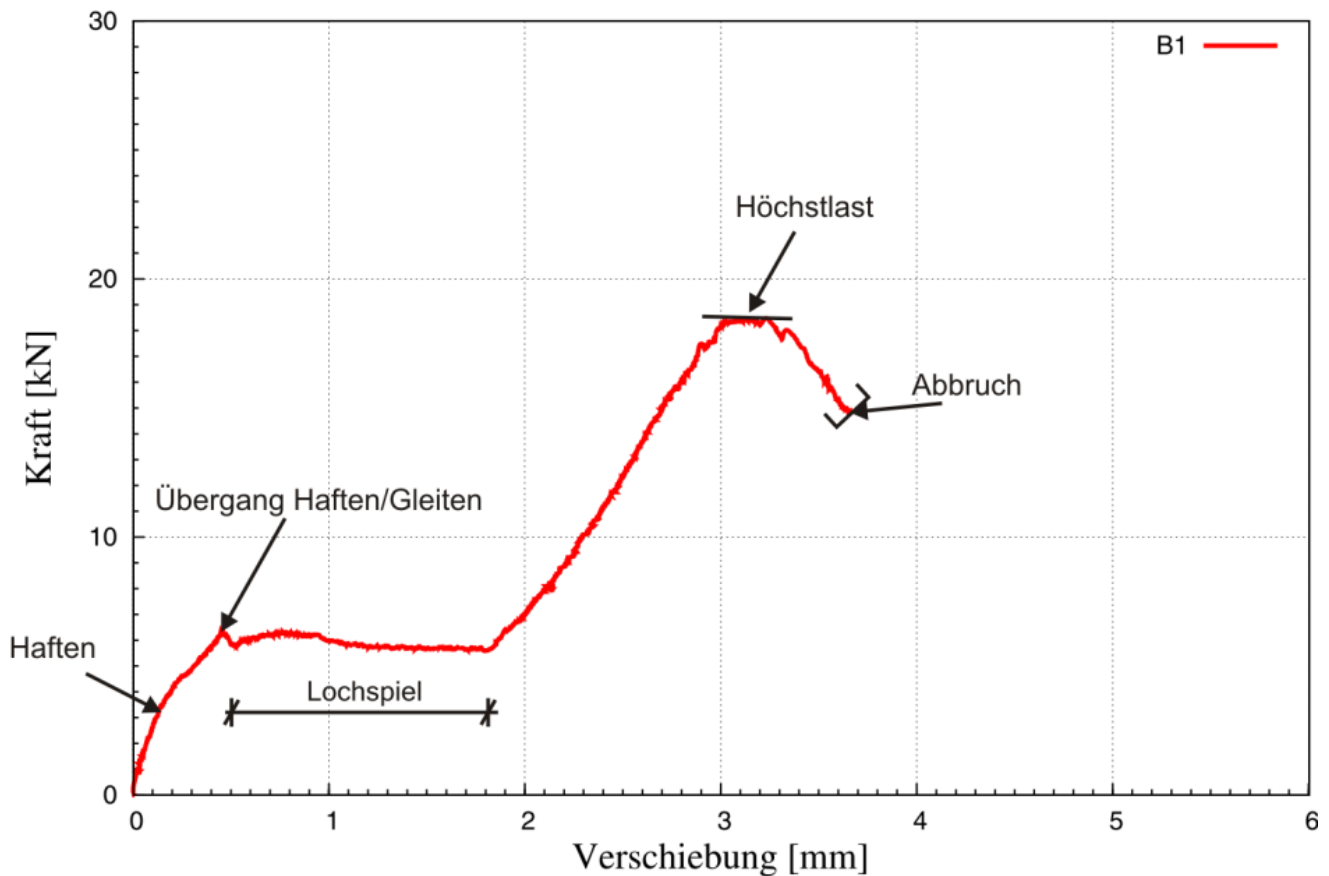


Abb. 51: Diagramm-Beispiel

Fast in jedem Versuch kommt es zu einem Lochspiel. Zuerst trägt die Verbindung über Reibung, die aus der Vorspannkraft durch Anziehen der Mutter resultiert. Sobald die Haftreibung überwunden ist kommt es zum Gleiten und das Lochspiel von 1 - 2 mm wird abgebaut. Erst dann steigt die Last weiter bis zur Höchstlast. Außerdem kann es auch passieren, dass zuerst die Betonplatte an die Widerlager gezogen wird und dadurch eine Verschiebung entsteht, bevor die Last weiter ansteigt.

Nach Erreichen eines kompletten Ausbruchkörpers und eines vorzeitigen Versuchsabbruch ist der Verlauf der Last – Verschiebungskurve nicht mehr von Interesse. Deshalb wird in den Diagrammen bedingt durch die Versuchssteuerung nicht der komplette abfallende Ast nach der Höchstlast dargestellt, sondern kurz danach die Kurve abgeschnitten.

Aufgrund des unterschiedlichen Lochspiels beginnt der lineare Anstieg bis zur Höchstlast der Graphen nicht im Ursprung. Dadurch ist ein Vergleich der Steifigkeiten und der Verschiebungen sehr schwer. Deshalb werden zur Auswertung die Diagramme verschoben.

Versuch B1: 70x0

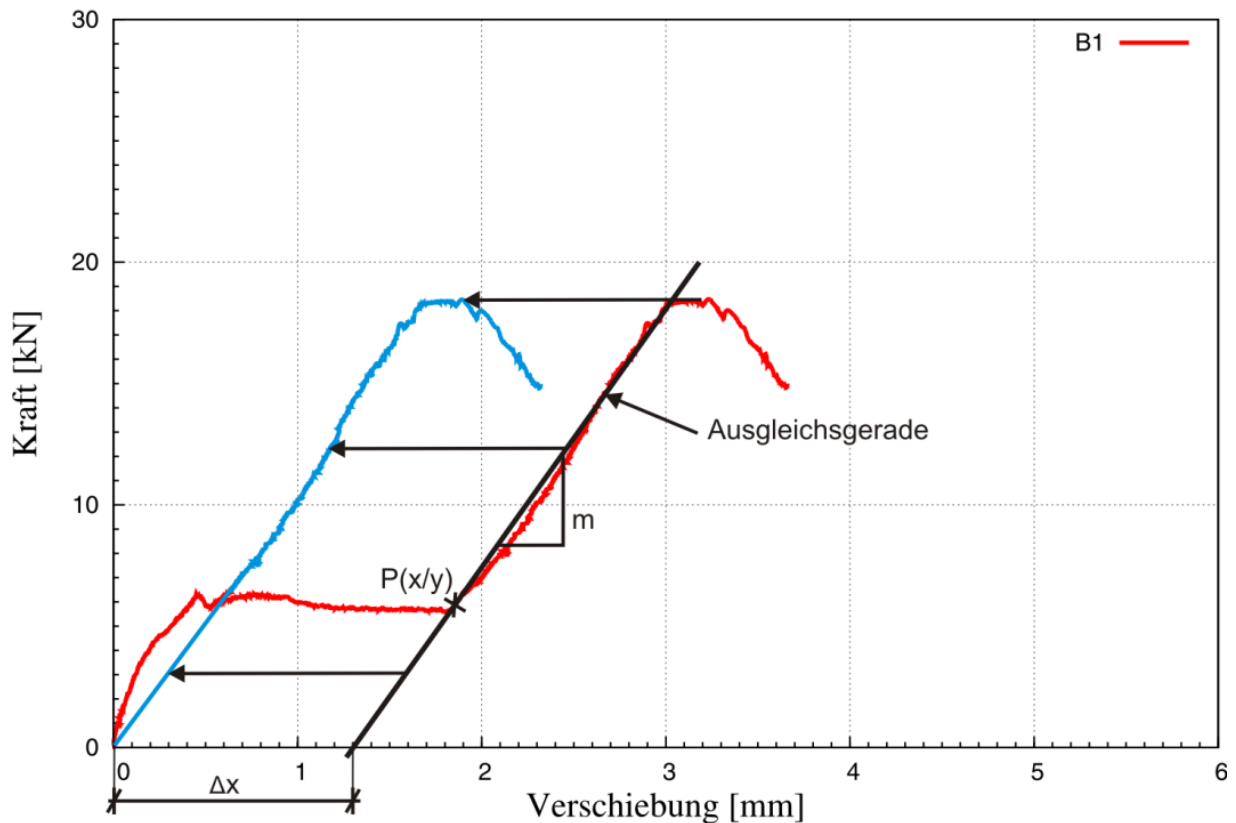


Abb. 52: Verschiebung der Graphen

An den linearen Anstieg wird eine Ausgleichsgerade der Form $y=m*x$ gelegt. Durch den Schnittpunkt mit der x-Achse erhält man das Maß Δx um welches man die Kurve nach links verschieben muss. Die Werte bis zum Punkt P(x/y) werden dann gelöscht. Das Resultat ist eine Kurve beginnend im Ursprung ohne Lochspiel bei gleichbleibender Höchstlast.

5.1 Einfluss der Eigenschaften des Mörtelbetts

Auf der Grundlage der geführten Versuche soll die Eigenschaft des Mörtelbetts auf die Versuchsergebnisse untersucht werden, insbesondere ob der Vergussmörtel zu einer zusätzlichen Streuung der Höchstlast führt. Um darüber eine Aussage treffen zu können, wurde die Einzelbefestigung mit Randabstand 70 mm insgesamt vier Mal geprüft. Ob die hier getroffenen Aussagen auch auf eine andere Befestigungsanordnung übertragbar sind, ist fraglich.

Im Folgenden sind die Last-Verschiebungskurven in einem Kraft-Verschiebungsdiagramm mit und in einem ohne Schlupf dargestellt.

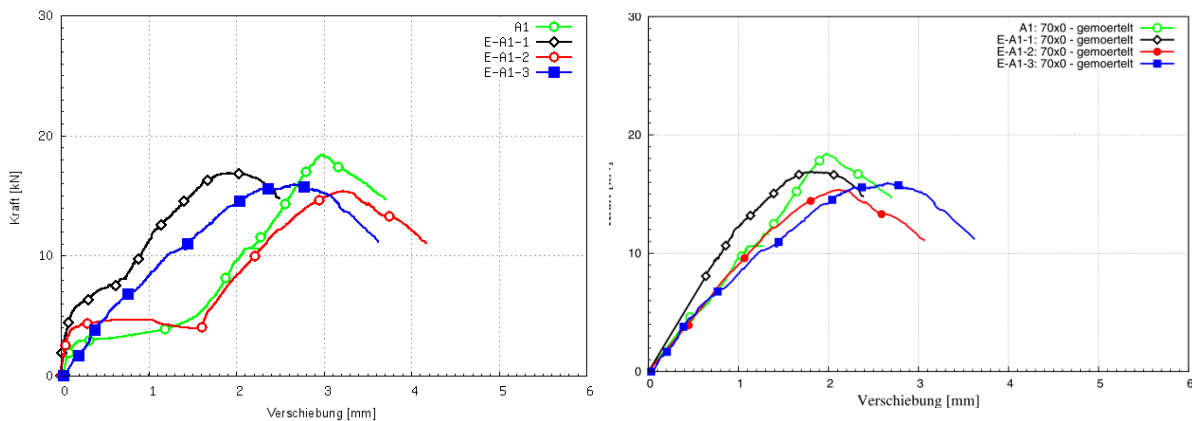


Abb. 53: Versuchsergebnisse Versuchsreihe A1 mit Schlupf **Abb. 2: Versuchsergebnisse Versuchsreihe A1 ohne Schlupf**

Die Versuche A1 und E-A1-2 weisen im direkten Vergleich zu den anderen Versuchen einen wesentlich steileren Graphen und damit eine höhere Steifigkeit auf, was auf das größere Lochspiel zu Beginn des Versuches zurückzuführen ist. Befestigungen mit größerem Lochspiel verhalten sich anschließend also wesentlich steifer. Dies belegt auch der Versuch E-A1-3, der keinen sichtbaren Schlupf aufweist und sich im Vergleich sehr weich verhält.

Aus dem rechten Diagramm ohne Schlupf ist auf den ersten Blick zu sehen, dass es teilweise starke Abweichungen in der Verschiebung bei Höchstlast vorliegen. Aufgrund dieses Sachverhaltes war es im Weiteren von großem Interesse, sich zunächst die Verformungen der einzelnen Versuche näher zu betrachten. Man fokussiert sich auf die Verformung bei Höchstlast, um einen repräsentativen Vergleichspunkt zu erhalten. Die grafische Aufarbeitung zeigt, dass E-A1-3 im Vergleich zu allen anderen Versuchen eine deutlich größere Verschiebung bei Erreichen der Höchstlast aufweist. Zur besseren Veranschaulichung werden die Verformungen bei Höchstlast in einer Tabelle zusammengefasst und die Abweichung vom Mittelwert errechnet:

Versuch	Bruchverformung [mm]	Abweichung vom Mittelwert [%]
A1	1,9	2,6
E-A1-1	1,5	23,1
E-A1-2	1,7	12,8
E-A1-3	2,7	38,5
Mittelwert	1,95	

Tabelle. 10: Vergleich Bruchverformung

Nun stellt sich die Frage, worauf die größere Verschiebung bei dem Versuch E-A1-3 zurückzuführen ist. Man kann davon ausgehen, dass es sich hierbei nicht um eine erhöhte Verformung aufgrund des Vergussmörtels handelt, sondern bei den Versuchsvorbereitungen vermutlich ein vergrößerter Bohrlochausbruch stattgefunden hat. Da man möglicherweise beim Bohren zunächst auf die Gesteinskörnung traf, die Bohrerschneide abrutschte und daraufhin das Bohrloch überdurchschnittlich ausfranzte.

Das vergrößerte Bohrloch lässt während dem Versuch wiederum vergrößerte Verschiebungen zu, da die Gewindestange zusätzliche Biegebeanspruchungen erfährt. Hinzu kommt der geringere Betonwiderstand gegenüber der Gewindestange, weshalb größere Biegeverformungen möglich sind. Da die Oberfläche mit dem Vergussmörtel ausgegossen wurde kann dieser Sachverhalt leider nicht beobachtet und nur aufgrund des Ergebnisverlaufes vermutet werden.

Nun werden die Höchstlasten näher untersucht, wofür ebenfalls eine Vergleichstabelle erstellt wird:

Versuch	Höchstlast [kN]	Abweichung vom Mittelwert [%]
A1	18,4	10,7
E-A1-1	16,8	1,1
E-A1-2	15,3	-8
E-A1-3	16	-3,8
Mittelwert	16,63	

Tabelle. 11: Vergleich Höchstlast

Die Höchstlasten liegen alle in derselben Größenordnung und weisen eine maximale Abweichung vom Mittelwert von ca. 10% auf. Daraus kann geschlossen werden kann, dass der Vergussmörtel zu keiner erhöhten Höchstlaststreuung führt. Der Versuch E-A1-3, welcher bei den Verschiebungen deutlich abweicht, liegt jedoch bei der Höchstlast absolut im erwarteten Bereich, woraus zu folgern ist, dass die erhöhte Beigebeanspruchung keinen nennenswerten Einfluss auf die Höchstlast hatte.

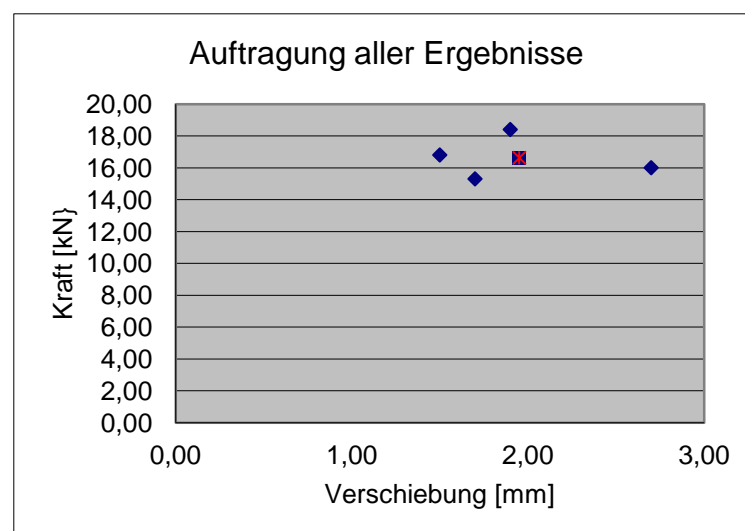


Abb. 54: Übersicht der Ergebnisse

Zusammenfassend werden die Verschiebungen der 4 vier Versuche und die zugehörigen Höchstlasten in einem Diagramm aufgetragen. Das rote Quadrat stellt den Mittelwert dar. Es ist

deutlich zu erkennen, dass nur E-A1-3 stark vom Mittelwert abweicht, was bereits durch die fehlerbehaftete Bohrung begründet wurde. Insgesamt kann also auf der Grundlage der vier durchgeführten Versuche nicht davon ausgegangen werden, dass das Aufbringen eines Vergussmörtelbetts zu einer zusätzlichen Streuung der Versuchsergebnisse führt.

Für eine weitere Analyse sollen jetzt noch die restlichen durchgeführten Versuche herangezogen werden. Es bietet sich an, eine durchschnittliche Abweichung jeweils für alle durchgeführten Versuche mit und ohne Vergussmörtel zu erstellen und dieses Ergebnis zu diskutieren. Als Grundlage für die Abweichung sollen die erwarteten Ergebnisse nach der Norm CENT-TS-1992-4 herangezogen werden.

Versuch	Höchstlast [kN]	Erwartetes Ergebnis nach Norm [kN]	Abweichung von Mittelwert [%]
A1	18,4	19,14	3,87
A2	22,5	19,14	17,55
E-A2	38	19,14	98,54
A3	34,6	34,92	0,92
A4	67,5	59,26	13,9
E-A1-1	16,8	19,14	12,23
E-A2-2	15,3	19,14	20,06
E-A2-3	16	19,14	16,41
C2	38	47,56	41,6
Mittelwert			12,5

Tabelle. 12: Versuche mit Vergussmörtel

Versuch	Höchstlast [kN]	Erwartetes Ergebnis nach Norm [kN]	Abweichung von Mittelwert [%]
B1	18,4	17,46	5,38
B2	40,7	17,46	133,1
E-B2	41,5	17,46	137,69
B3	33	34,9	5,44
B4	66	69,26	4,71
E-B1	15,5	17,46	11,23
C1	44,2	47,56	20,1
Mittelwert			6,77

Tabelle 13: Versuche ohne Vergussmörtel

Die grau unterlegte Zweifachbefestigung des Typ a, Versuchsreihe A2 bzw. B2 wurde nicht in den Mittelwert eingerechnet, da bei dieser Versuchsanordnung nie vorhergesagt werden kann, ob letztlich der vordere oder hintere Dübel trägt. Demzufolge können die erhöhten Abweichungen nicht mit einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Vergussmörtelschicht in Verbindung gebracht werden können, sondern rein von der Versuchsanordnung abhängen. Deshalb wird auf eine Berücksichtigung im Mittelwert verzichtet wird, um eine Verfälschung zu vermeiden.

Die Auswertung der Eigenschaften des Mörtelbetts ergibt, dass über alle Versuchsanordnung hinweg bei Aufbringung einer Vergussmörtelschicht die durchschnittliche Abweichung bei 12,5 % liegt, bei einer Versuchsanordnung ohne Mörtelbett hingegen nur eine durchschnittliche

Abweichung von 6,77 % vorliegt. Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich vermuten, dass die aufgebrauchte Mörtelschicht eventuell doch zu einer erhöhten Streuung der Höchstlast führen kann.

Letztendlich kann aufgrund der geführten Versuche keine allgemeine Aussage getroffen werden, da die Versuchsreihe A1 und ihre 3 Referenzen einen Einfluss der Eigenschaften des Mörtelbetts auf die Höchstlast nicht abbilden, ganz im Gegenteil zur Untersuchung über alle Versuchsanordnung hinweg. Es zeichnet sich deutlich ab, dass hier der Bedarf weiterer Versuchsdurchführungen notwendig ist, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

5.2 Einfluss der Mörtelschicht

Zu jedem durchgeführten Versuch existiert ein entsprechendes Gegenstück mit einer 2 cm dicken Mörtel-Ausgleichsschicht. Im Folgenden soll nun anhand der vorliegenden Versuchsergebnisse untersucht werden, welchen Einfluss diese Mörtelschicht auf die Tragfähigkeit und das allgemeine Verhalten des Systems hat. Hierzu wird jeder Aufbau zunächst mit seinem entsprechenden Analogon verglichen.

5.2.1 Einzelbefestigung, 70 mm Randabstand

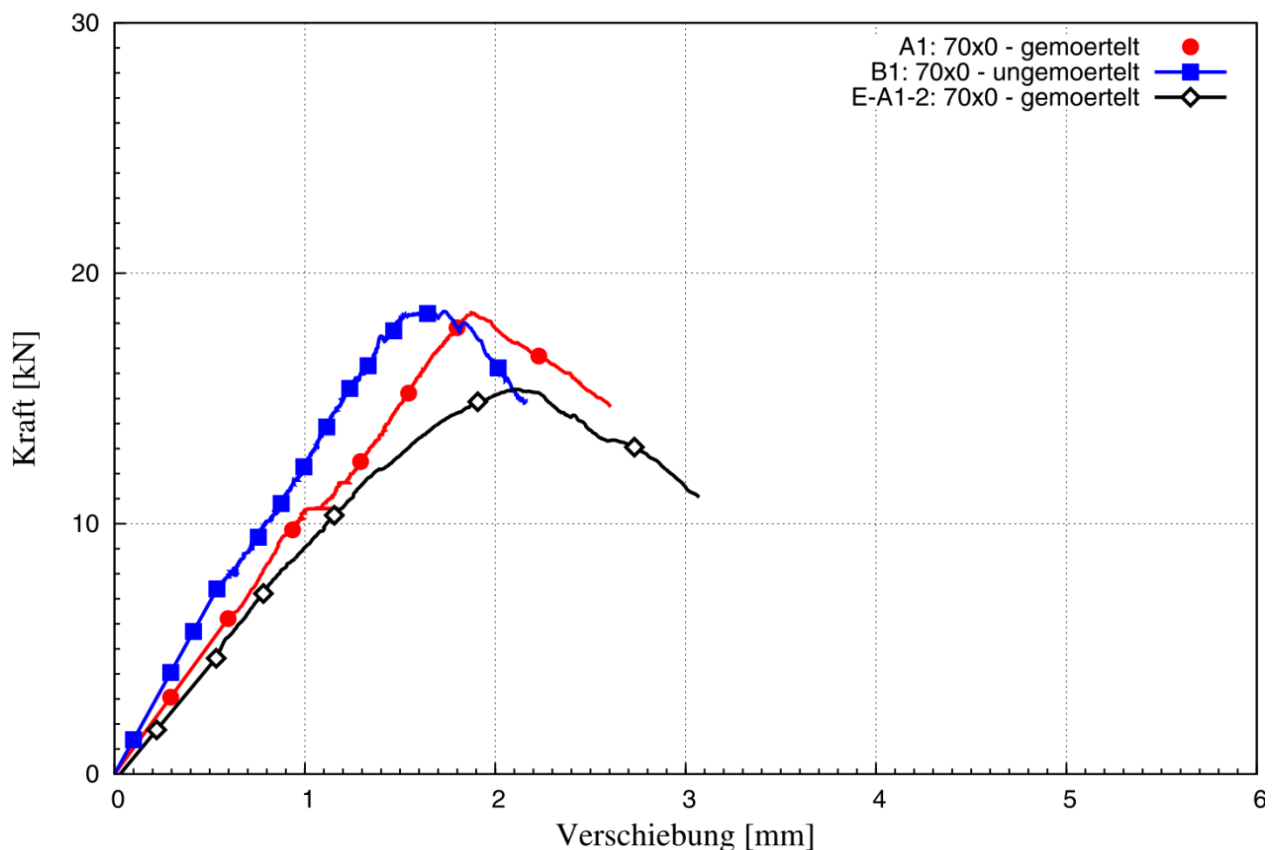


Abb. 55: Vergleich der Versuche A1, B1 und E-A1-2

Da dieser Versuch mehrfach durchgeführt wurde, besteht die Möglichkeit, verschiedene Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Hierbei fällt auf, dass der Unterschied im Allgemeinen gering ist. Es existieren Daten, die ein sehr ähnliches Verhalten belegen, was wahrscheinlich auf den nahen Randabstand rückzuführen ist, welcher den Einfluss des zusätzlichen Hebelarmes durch die Mörtelschicht gering hält. Die dargestellten Last-Verschiebungs-Kurven zeigen einen Versuch, welcher trotz Mörtelschicht dieselbe Höchstlast wie die Befestigung ohne Ausgleichsschicht aufweist, während ein anderer eine geringere Höchstlast und größere Verschiebungen zeigt. Vergleicht man jeweils die größte Höchstlast bei einem Aufbau ohne Mörtel mit der niedrigsten Höchstlast bei einem Aufbau mit Mörtelschicht, errechnet sich das Verhältnis der Höchstlasten etwa zu 1,2, was dem in der Theorie errechneten Faktor entspricht. Vor Allem bei Versuch A1 fällt auf, dass sich die Befestigung mit einer Mörtelschicht bis zum Reißen dieser, hier bei etwa 10 kN, zunächst steifer verhält und dann eine Zunahme der Verschiebungen erfährt.

5.2.2 Einzelbefestigung, 140 mm Randabstand

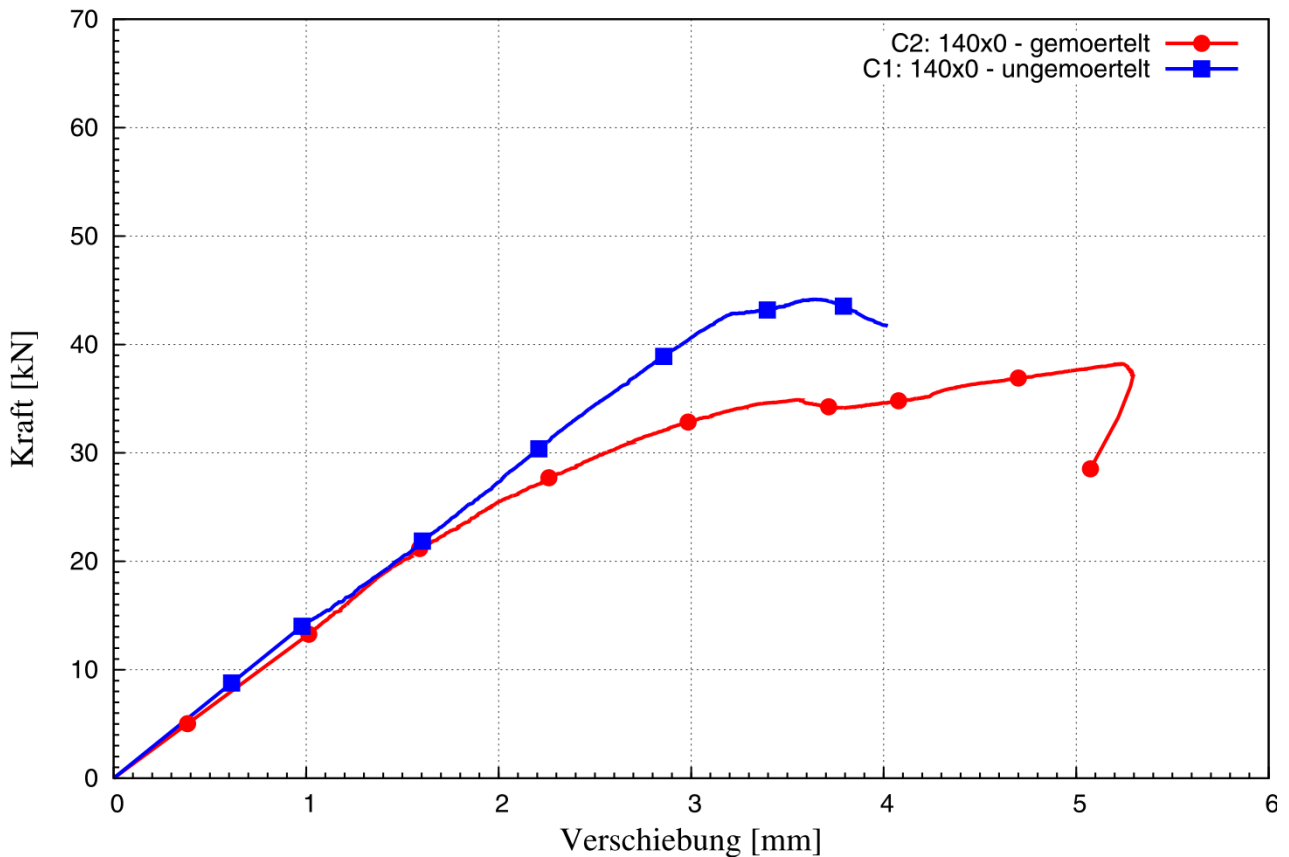


Abb. 56: Vergleich der Versuche C1 und C2

Obwohl dieser Versuch nur ein einziges Mal durchgeführt wurde, offenbart sich ein Ergebnis, das dem erwarteten Verhalten sehr nahe kommt. Dies ist wahrscheinlich auf den größeren Randabstand zurückzuführen, welcher im Gegensatz zum vorangegangenen Versuch einen deutlicheren Einfluss des Hebelarmes ermöglicht und damit die Gefahr ähnlicher Ergebnisse verringert. Im Last-Verschiebungs-Diagramm erkennt man sofort, dass der Versuchsaufbau mit einer Mörtelschicht eine geringere Höchstlast und größere Verschiebungen aufweist, wobei sich der Faktor zwischen den Höchstlasten zu 1,16, also erneut annähernd zu 1,2 berechnet. Zu Beginn ist das Verhalten der Systeme absolut identisch, bis das System mit Mörtelschicht ab einer Last von ca. 21 kN wesentlich größere Verformungen aufweist, was vermutlich auf die erhöhte Biegebeanspruchung und die damit verbundenen Biegeverformungen zurückzuführen ist.

5.2.3 Doppelbefestigung Hintereinander

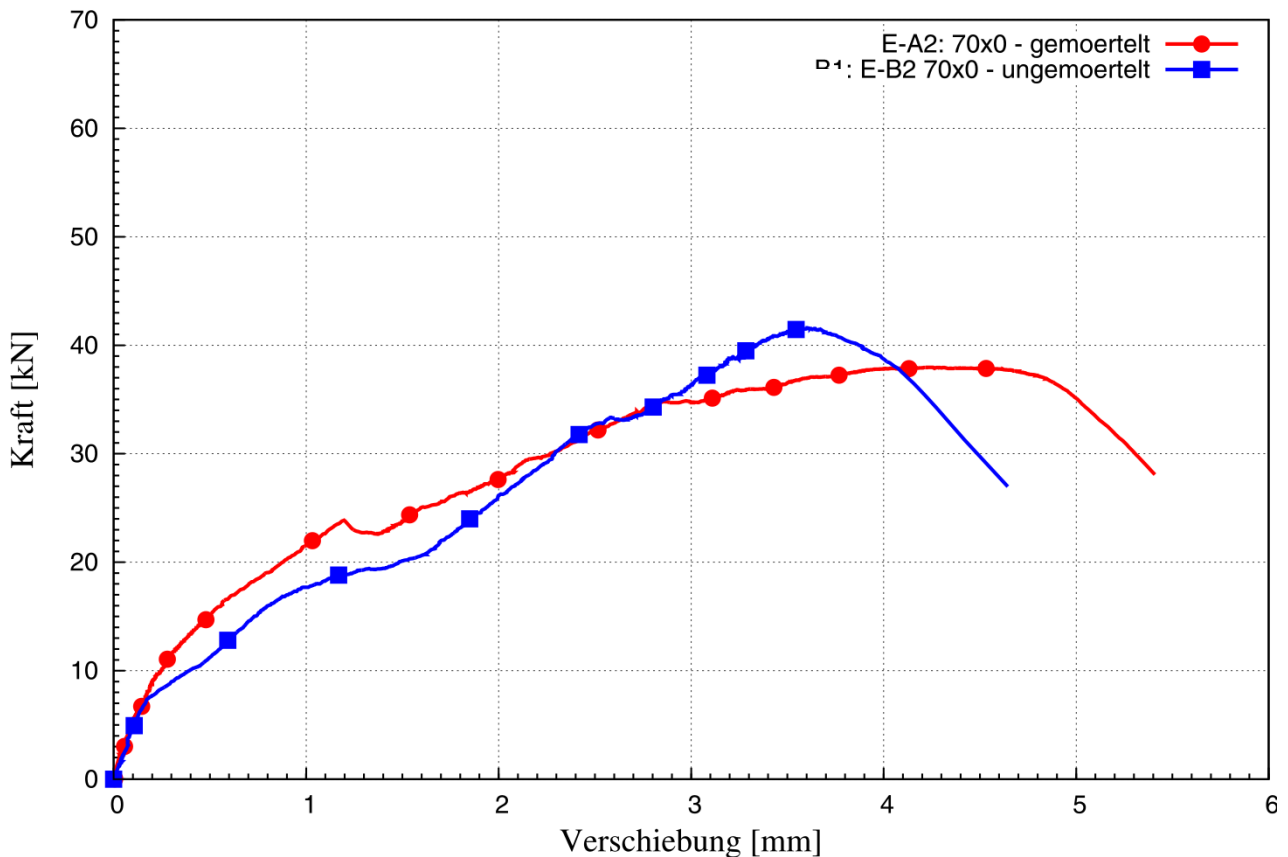


Abb. 57: Vergleich der Versuche E-A2 und E-B2

Im Allgemeinen weist dieser Versuch dieselben Beobachtungen wie der Vorherige auf. Auch hier sinkt die Höchstlast mit der Mörtelschicht, wobei der Faktor 1,13 beträgt. Die Einzige Auffälligkeit ist allerdings, dass hier die Verschiebungen im Aufbau ohne Mörtelschicht zunächst größer sind als im Aufbau ohne Mörtel, was eventuell auf das Lochspiel oder ein ausgefranzteres Bohrloch zurückzuführen ist. Eine weitere Erklärung wäre, dass zunächst der weniger steife und somit verschiebungsanfälligeren, vordere Dübel die Last aufgenommen hat, während bei dem gemörtelten Versuch direkt der hintere Dübel belastet wurde. Ab einer Last von etwa 20 kN sind die Verschiebungen im gemörtelten Versuch dann größer als die im ungemörtelten Fall. Letztlich stellt sich also das erwartete Verhalten ein, wobei auch hier wieder festzustellen ist, dass der gemörtelte Versuch größere Verformungen bei Höchstlast aufweist.

5.2.4 Doppelbefestigung Nebeneinander, Randabstand 70 mm

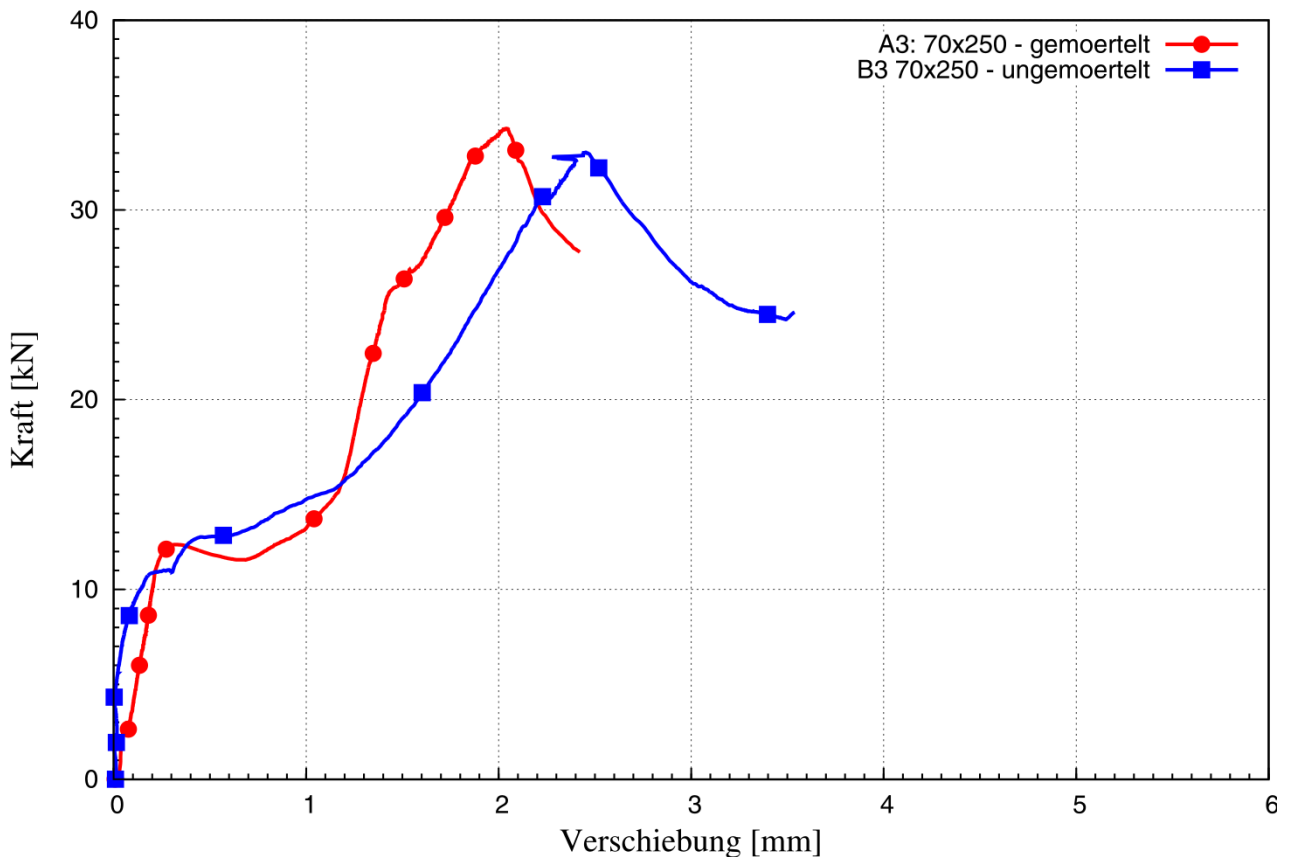


Abb. 58: Vergleich der Versuche A3 und B3

Dieser Vergleich ist der erste, der ein unvorhergesehenes Ergebnis ausweist. Zwar ist das Verhalten des Aufbaus mit und ohne Mörtelschicht zunächst sehr ähnlich, doch dann zeigt das System ohne Ausgleichsschicht größere Verformungen als sein Analogon. Die Höchstlasten liegen sehr nahe beieinander, doch auch hier zeigt das System mit Mörtel einen unerwartet hohen Wert, während das andere System leicht unter den Erwartungen liegt. Es ist zu erwähnen, dass das Ergebnis eventuell nicht repräsentativ ist, da eine Rissüberlappung aus vorangegangenen Versuchen stattgefunden hat. Ohne derartige Fehler oder bei einer aussagekräftigeren Erhebung durch mehrere Versuche hätten sich womöglich ähnliche Ergebnisse wie bei der randnahen Einzelbefestigungen eingestellt, da der Einfluss des Hebelarmes auch hier vergleichsweise gering ist. Betrachtet man zusätzlich die Versuchsaufzeichnungen und Rissbilder, fällt auf, dass bei dem System ohne Mörtelschicht nur ein Dübel ausgebrochen ist, während beim gemörtelten Versuch beide Dübel gleichzeitig ausbrachen. Auch dies könnte die großen Verformungen und die geringe Höchstlast erklären.

5.2.5 Doppelbefestigung Nebeneinander, Randabstand 70 mm

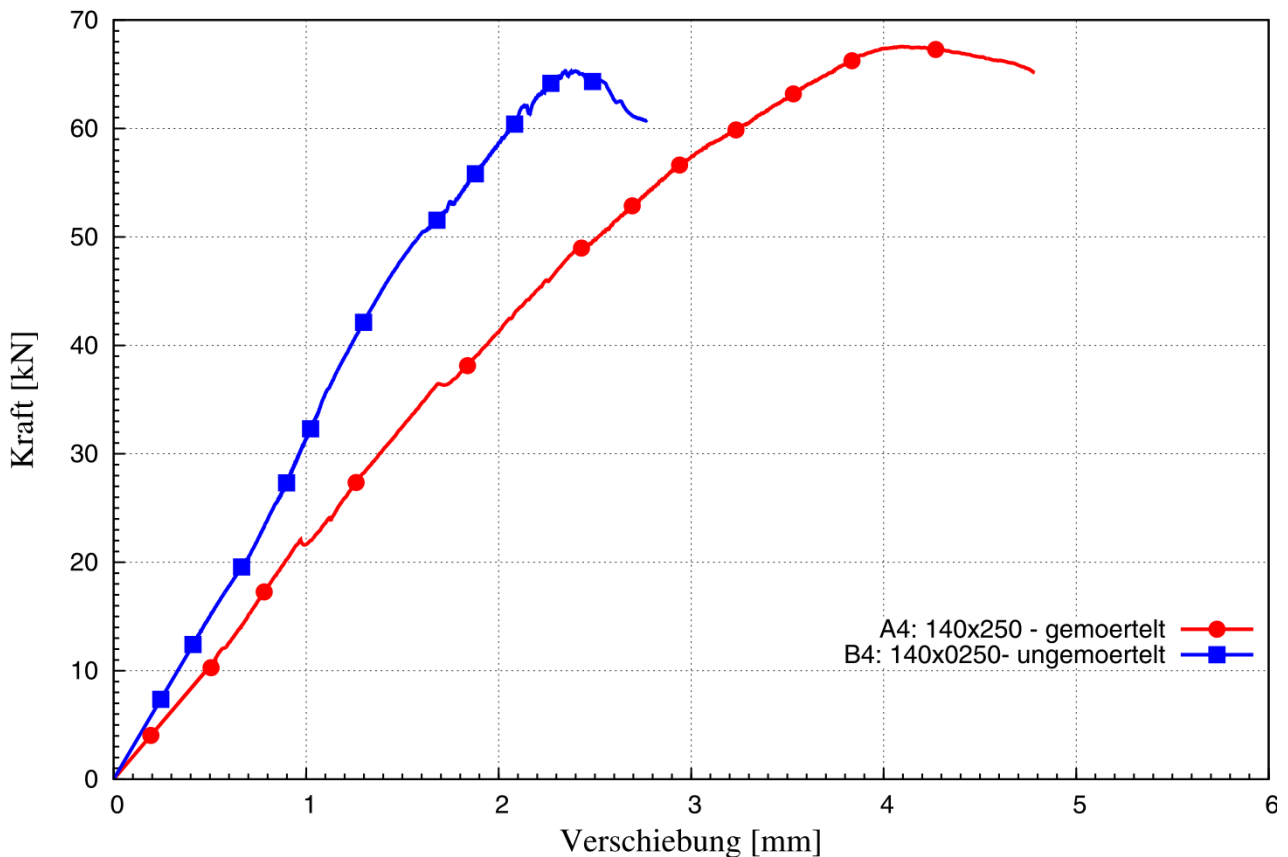


Abb. 59: Vergleich der Versuche A4 und B4

Zwar stellt sich hier zunächst ein erwartungsgemäßes Verhalten ein, welches den anderen Versuchen sehr nahe kommt, doch stellt sich ein nicht erwarteter Zustand bei Höchstlast ein. Zwar erfährt das System mit Mörtelschicht zu Beginn größere Verformungen, jedoch ist es der ungemörtelte Aufbau, der zuerst versagt und demnach eine geringere Höchstlast besitzt. Da der Unterschied nicht gravierend ist, kann man hier von einem Ausreißer ausgehen, was sich aufgrund fehlender Versuchswiederholungen aber nicht belegen lässt. Auch hier gab es eine Rissüberlappung aus einem Vorversuch. Zudem stellte sich beim Versuch mit Mörtelbett teilweise ein rückwärtiger Betonausbruch und damit ein gänzlich unerwarteter Versagensmechanismus ein. Es lässt sich lediglich mutmaßen, dass sich im Normalfall bei einer Ausgleichsschicht eine geringere Höchstlast im Vergleich zum ungemörtelten Fall eingestellt hätte.

Zusammenfassend lässt sich bei Elimination der Ausreißer sagen, dass, bedingt durch die Mörtelschicht, größere Verschiebungen und geringere Höchstlasten erreicht werden. Der Faktor kommt im Allgemeinen sehr nah an den in der Theorie ermittelten Wert von 1,2 heran. Leider lassen sich diese Ausreißer bei der geringen Anzahl an Versuchen durch die Betonstreuung nicht vollkommen ausschließen. Es fällt außerdem auf, dass sich die Systeme mit und ohne Mörtelschicht zu Beginn oft vergleichsweise ähnlich verhalten bis die Verformungen bei den Systemen mit Ausgleichsschicht erheblich zunehmen.

5.3 Zweifachbefestigungen, Variante a)

Die folgende Untersuchung beschäftigt sich mit den Versuchsergebnissen der zum Bauteilrand senkrecht hintereinanderliegenden Dübel. Hierzu werden die Zweifachbefestigungen mit den jeweiligen Einzelbefestigungen der Randabstände 70 und 140 mm verglichen.

5.3.1 Variante a), 70x70, mit Mörtel

Um eine vergleichbare Grundlage zu schaffen wird zunächst der Mittelwert aus den vier Versuchen zu den Einzelbefestigungen mit Mörtelbett und einem Randabstand von 70mm gebildet. Um in den anschließenden Diagrammen eine Übersichtlichkeit zu wahren, wird der Mittelwert aus A1, E-A1-1 und E-A1-2 gebildet. Die Kraftverschiebungskurve zu E-A1-3 wird hierzu nicht verwendet, da durch die fehlende Ausbildung eines Schlupfes davon ausgegangen werden kann, dass es Auswirkungen andere Mechanismen gab, wie zum Beispiel eine Abweichung des Bohrlochs vom Soll oder Betonqualitätsschwankungen. Somit würde diese Kurve die Mittelwertbildung verfälschen.

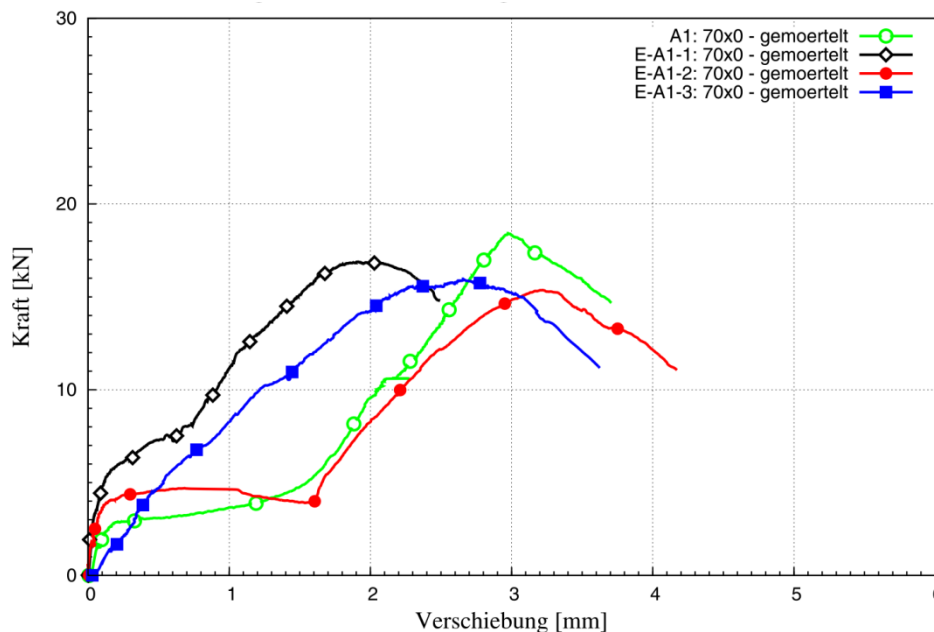


Abb. 60: Einzelbefestigungen 70 mm, gemörtelt

Bei allen drei verwendeten Graphen ist eine nahezu identische Anfangssteigung zu erkennen. Je nachdem wie stark die Lastübertragbarkeit durch Reibung ausgeprägt ist beginnen die Überbrückungen des Lochspiels und die Dehnung des Zugschwertes zu unterschiedlichen Versuchszeiten. Nachdem sich die Zuglasche an den Dübel angelegt hat, verlaufen alle drei Kurven wieder mit fast der gleichen Steigung. Lediglich die erreichten Höchstlasten variieren. Aus diesem Grund ist der Mittelwert für diese Versuche aussagekräftig.

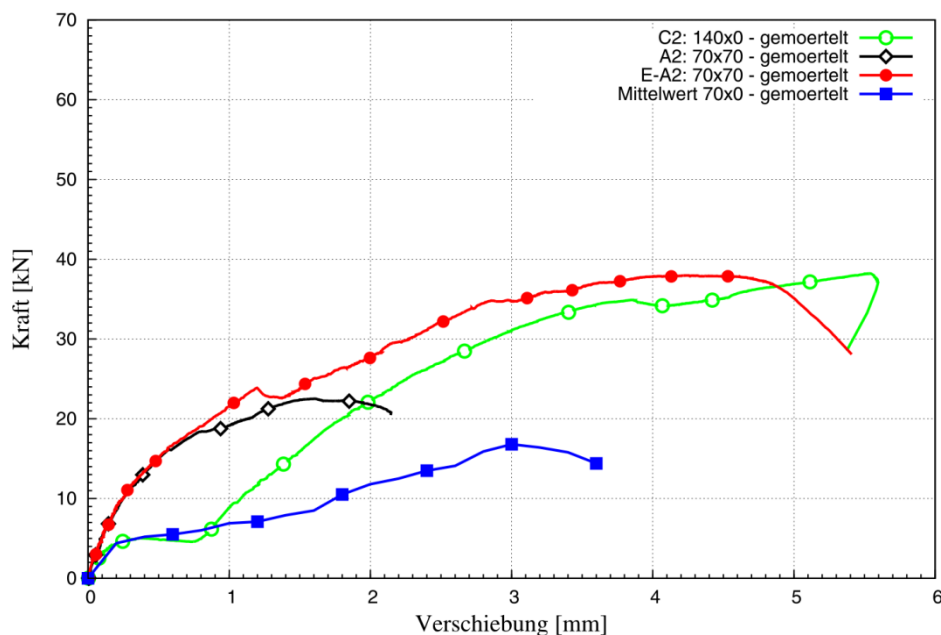


Abb. 61: Vergleich der Zweifachbefestigungen 70x70 mm mit den Einfachbefestigung 70 mm und 140 mm. Alle Kurven mit Schlupf und Mörtel.

Den einzigen Versuch zu dem Aufbau Einzelbefestigung mit Mörtelschicht und einem Randabstand von 140mm stellt C2 dar. Die ersten Risse im Mörtel werden schon bei einer Belastung von 2 kN verzeichnet. Ab diesem Punkt beginnt die Kurve allmählich abzuflachen bis sie schließlich bei einer Kraft von 5 kN ein Plateau erreicht. In dem Bereich bis ca. 0,8 mm Verschiebung wird die Haftkraft, hervorgerufen durch die Vorspannung des Verbindungsmittels mit Hilfe der Mutter, und damit das Lochspiel überwunden. Nachfolgend verläuft die Kraftverschiebungskurve näherungsweise mit der gleichen Steigung bis sie schließlich bei 34 kN einen Knick aufweist. Dieser Knick ist durch die Vereinigung der Mikrorisse im Beton zu erklären. Nach einem weiteren Anstieg bis 38 kN wird der Versuch abgebrochen um den nebenliegenden nicht zu beeinflussen. Aus diesem Grund kann nicht zweifelsfrei gesagt werden, ob das die tatsächliche zu erreichende Höchstlast dieser Befestigung ist.

Als ersten Versuch zu Zweifachbefestigungen hintereinander wurde A2 durchgeführt. Zunächst verläuft die Kurve deutlich steiler als die einer Einzelbefestigung. Die höhere Steifigkeit resultiert aus der verhinderten Querstellung des vorderen Dübels durch die Verbindung über das Zugschwert mit dem hinteren. Ab einer Belastung von 18,5 kN sind erste Risse in der Mörtelschicht im Bereich des vorderen Dübels zu verzeichnen, sichtbar ist dies in dem Knick des Graphen. Im folgenden Bereich ist durch ein leichtes Plateau die Überbrückung des Lochspiels, hervorgerufen durch den vergrößerten Hebelarm der Befestigung infolge der Risse in der Mörtelschicht, sichtbar. Die ersten Risse im Beton folgen bei einer Last von 22,3 kN, ebenfalls in Höhe des ersten Dübels. Daraufhin wurde der Versuch abgebrochen um keine Beeinflussung der nebenliegenden Dübel zu verursachen.

Durch das vorzeitige Versuchsende ist es nicht möglich zu sagen, ob der hintere Dübel noch zum Tragen gekommen wäre, oder ob allein der vordere die gesamte Last aufgenommen hätte. Doch nach einer Betrachtung des Rissbildes (siehe Versuchsprotokoll) ist zu erkennen, dass die Risse des vorderen Dübels schon den Rand des Betonkörpers erreicht hatten haben. Diese

Beobachtung belegt die Vermutung, dass allein die vordere Befestigung die gesamte Last abgetragen hat und dass der hintere Dübel nicht am Lastabtrag teilnehmen konnte.

Die zweite Doppelbefestigung ist E-A2. Ebenfalls wie A2 verläuft diese zu Beginn steiler, weist aber erst bei einer Last von 23,9 kN die ersten Risse im Bereich der vorderen Befestigung im Mörtel auf. Bei dieser Belastung beginnt der erste Dübel auszubrechen und der zweite beteiligt sich am Lastabtrag. Danach verläuft die Kurve mit einer Steifigkeitsreduktion weiter, bis sie bei ca. 34,5 kN einen erneuten Knick verzeichnet. Bei diesem Wert waren die ersten Risse im Beton auf Höhe des ersten Dübels sichtbar. Im Folgenden verringert sie erneut ihre Steigung, was mit der Reduktion der Steifigkeit im Bereich der vorderen Befestigung zu begründen ist. Erste Risse in der Umgebung des hinteren Verbunddübels traten bei einer Last von 37,8 kN auf. Kurz darauf wurde der Versuch auf Grund eines nicht erwarteten rückwärtigen Betonausbruches abgebrochen.

Klar erkennbar bei diesem Versuch ist, dass sich die Risse der beiden Dübel nicht überschneiden haben und dass die Risse des ersten deutlich vor denen des zweiten die Betonkante erreicht hatten. Somit tragen beide Dübel einen Anteil der Last. Diese Beobachtung widerlegt die Vermutung bei Versuch A2, bei dem kein Lastabtrag des hinteren Dübels erkennbar ist.

Für den Vergleich der Verschiebungen und der Höchstlasten wird ein Diagramm herangezogen, in dem der Schlupf in den einzelnen Graphen heraus gerechnet wurde.

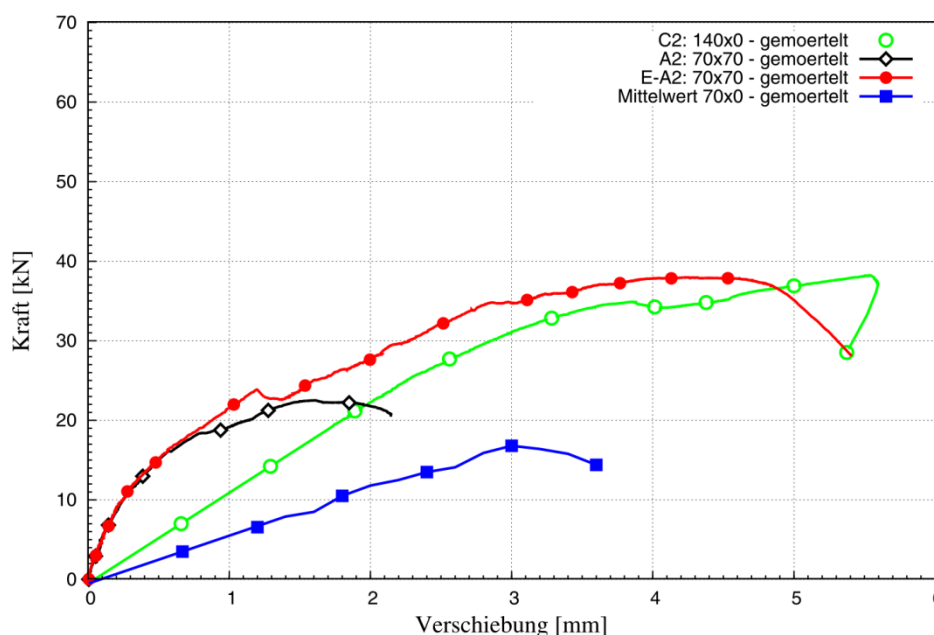


Abb. 62: Vergleich der Zweifachbefestigungen 70x70 mm mit den Einfachbefestigung 70 mm und 140 mm. Alle Kurven ohne Schlupf, aber mit Mörtel.

Im Vergleich der Zweifachbefestigungen mit den Einfachbefestigungen ist zu erkennen, dass die Zweifachbefestigungen eine deutlich geringere Endverschiebung als die Einfachbefestigungen mit kurzem Randabstand und eine höhere Steifigkeit zu Beginn aufweisen als beide Einfachbefestigungen. Die Interaktion der beiden Dübel über das Zugschwert liefert hierzu die mögliche Erklärung.

Allerdings reduziert sich die Steifigkeit gegen Ende hin doch deutlich und nähert sich der einer Einfachbefestigung mit 140 mm Randabstand an.

Außerdem weicht die Höchstlast einer Doppelbefestigung gegenüber einer Einfachen mit größerem Abstand zum Rand hin nicht mehr nennenswert ab. Ob dies dem Regelfall entspricht müsste durch weitere Versuche untersucht werden.

Nach Betrachtung des Rissbildes am Ende der Versuche stellt sich nun die Frage der Gebrauchstauglichkeit. Zwar trägt die Zweifachbefestigung im günstigsten Fall durch den hinteren Dübel doch die Rissweite ist deutlich erhöht.

Des Weiteren zeigen die Versuche, dass wenn auf der sicheren Seite bemessen werden soll, nur der vordere Verbunddübel als tragendes Element angesetzt werden kann, weil nicht vorhergesehen werden kann, ob sich der hintere Dübel nennenswert am Lastabtrag beteiligt.

5.3.2 Variante a), 70x70, ohne Mörtel

Da diese Dübelanordnung Stand der Technik ist wird im Folgenden nur noch auf den Vergleich ohne Schlupf eingegangen.

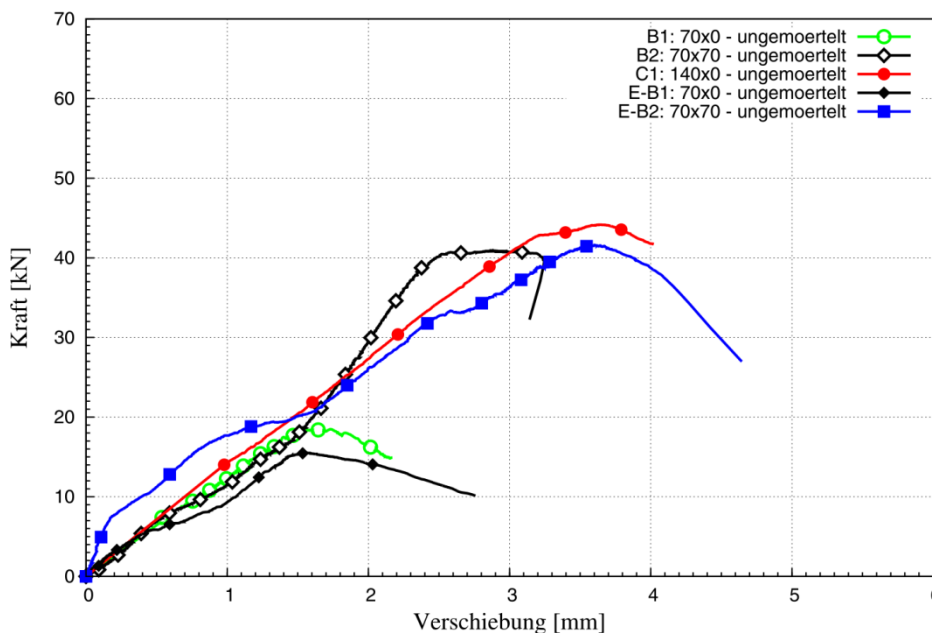


Abb. 63: Vergleich der Zweifachbefestigungen 70x70 mm mit den Einfachbefestigungen 70 mm und 140mm. Kurven ohne Schlupf und Mörtel.

Die Versuche zu den Einfachbefestigungen mit Randabstand 70 mm B1 und E-B1 weisen einen nahezu identischen Verlauf auf. Zwei Unterschiede, die sich finden lassen, sind zum Einen der leichte Abfall der Kurve E-B1 und zum Anderen der asymmetrische Betonausbruch bei B1. Ersteres lässt sich mit der Rissüberlagerung durch den vorher durchgeführten Versuch C2 erklären. Das zweite ist mit dem inhomogenen Werkstoff Beton zu begründen.

Der Graph zu C1 verhält sich zu Beginn wie die der randnäherliegenden Einzelbefestigungen. Zum Ende hin verzeichnet er aber eine ca. 2,3 fach höhere Tragfähigkeit gegenüber einer Einfachbefestigung. Die Höchstlast liegt bei 44,2 kN.

Auch B2 verzeichnet einen fast identischen Anfangsanstieg, verhält sich dann im weiteren Verlauf steifer als die Einfachbefestigung mit großem Randabstand. Eine Begründung findet

sich in der behinderten Querstellung des vorderen Dübels durch den hinteren. Bei einer Last von 37,6 kN ereignen sich die ersten Risse auf der Höhe des hinteren Verbunddübels. Anschließend ist ein deutlicher Festigkeitsabfall zu erkennen, welcher durch die schnelle Rissentwicklung und durch einen senkrechten Riss, ausgehend von dem vorderen Dübel, zum Rand hin begründbar ist. Die Höchstlast wird bei 40,7 kN erreicht und liegt somit unter der einer Einzelbefestigung mit 140 mm Randabstand.

Der Versuch zu E-B2 verläuft am Anfang steiler als alle vier anderen. Verläuft dann aber ab einer Last von ca. 6 kN mit der gleichen Steigung weiter. Hier ist es vermutlich auch zu einer Interaktion der beiden Dübel gekommen. Der nächste markante Punkt liegt bei einer Last von 19 kN. Nach der Abnahme des Zugschwertes war ein Riss zwischen dem vorderen Dübel und der Betonkante zu erkennen, vermutlich entstand dieser bei einer Belastung von 19 kN. Anschließend nimmt die Kurve die Steigung der der Zweifachbefestigung an. Verändert sich dann aber wieder ab der Kraft 32,2 kN. Hier traten erste sichtbare Risse im Beton im Bereich der vorderen Befestigung auf. Im Folgenden weist der Graph eine leicht geringere Steigung auf, bis es schließlich bei 41,5 kN zu den ersten Rissen bei dem hinteren Dübel kommt. Unmittelbar danach ist es zu einem rückwärtigen Betonausbruch gekommen, weswegen der Versuch abgebrochen wurde. Nach einer näheren Rissbetrachtung ist nicht nur der senkrechte Riss zu erkennen, sondern auch eine Vereinigung der hinteren mit den vorderen Rissen.

Im Vergleich der Zweifach- mit den Einfachbefestigungen sind die fast identischen Kraftverformungskurven von B2, E-B2 und C1 festzuhalten. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass der hintere Dübel zum Tragen gekommen ist. Zwar bleibt die Höchstlast unter der der Einzelbefestigung, jedoch stellt sich die Frage, ob dies der Regel entspricht oder ob doch eher Betonstreunungen und Montagefehler hierfür verantwortlich sind. Des Weiteren ist zu hinterfragen, ob, wie in diesen Versuchen, immer der hintere Dübel trägt oder ob nicht unter anderen Randbedingungen nur der vordere zum Tragen kommt.

5.4 Zweifachbefestigungen, Varianten b) und c)

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse der Zweifachbefestigungen mit zur Lastrichtung nebeneinander und damit zum Rand parallel liegenden Dübeln ausgewertet. Dazu werden die Daten der jeweiligen Zweifachbefestigung mit denen der Einzelbefestigung mit identischem Randabstand und Exzentrizität verglichen.

5.4.1 Variante b), 70x250, mit Mörtel

A3 ist der einzige Versuch zu dieser Anordnung. Dieser wird nun im Folgenden mit den Versuchen zu der Einzelbefestigung 70x0 mit Mörtelschicht verglichen. Allerdings liegen hierzu vier Kraftverschiebungskurven vor weswegen nur die gemittelte Kurve für den Vergleich herangezogen wird. Das genauere Vorgehen zur Ermittlung und Erläuterung dieser befindet sich in dem vorherigen Kapitel.

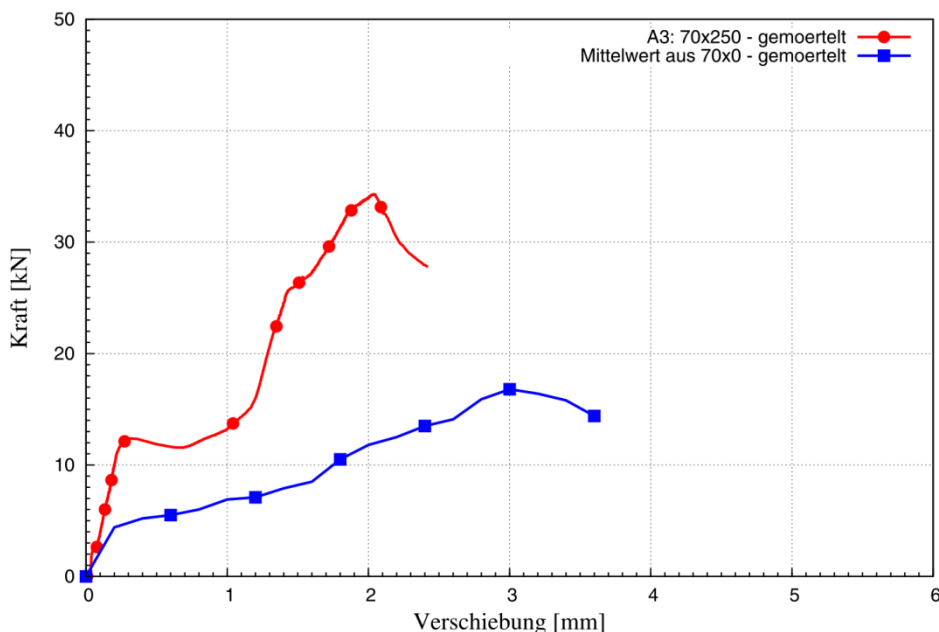


Abb. 64: Vergleich Zweifachbefestigung 70x250 mm mit dem Mittelwert der Einfachbefestigungen 70 mm. Beide Kurven mit Mörtel und Schlupf.

Bei dem Graph zu A3 ist zunächst ein deutlich konstanter Anstieg erkennbar, welcher durch eine Lastübertragung infolge von Reibung erklärbar ist. Dieser Widerstand wird durch den Anpressdruck der Mutter hervorgerufen. Nach der Überwindung fällt die Kraft geringfügig ab, weil das Lochspiels überbrückt wird. Dieser Vorgang ist mit dem Anliegen des Zugschwertes an den Dübel und einer Verschiebung von ca. einem Millimeter beendet. Anschließend erfolgt die eigentliche Lastaufnahme durch den Dübel auf Abscheren. Im Diagramm ist dies durch den Lastanstieg zu erkennen. Der zweite Knick bei 26,6 kN ist durch die ersten Risse in der Mörtelschicht zu erklären. Nach diesem Ereignis stellt sich eine andere Steifigkeit ein. Vermutlich ist das damit zu erklären, dass der Mörtel nicht mehr ausreichen die Kraft aufnehmen kann und sich ein erhöhter Hebelarm einstellt. Ab einer Kraft von etwa 34 kN kommt es zu einer erneuten Steifigkeitsänderung, welche durch die Vereinigung der Mikrorisse im Beton zu begründen ist.

Da es sich bei dem Graphen um eine nebeneinanderliegende Befestigung handelt wird das Verhalten der einzelnen Dübel nun noch genauer untersucht.

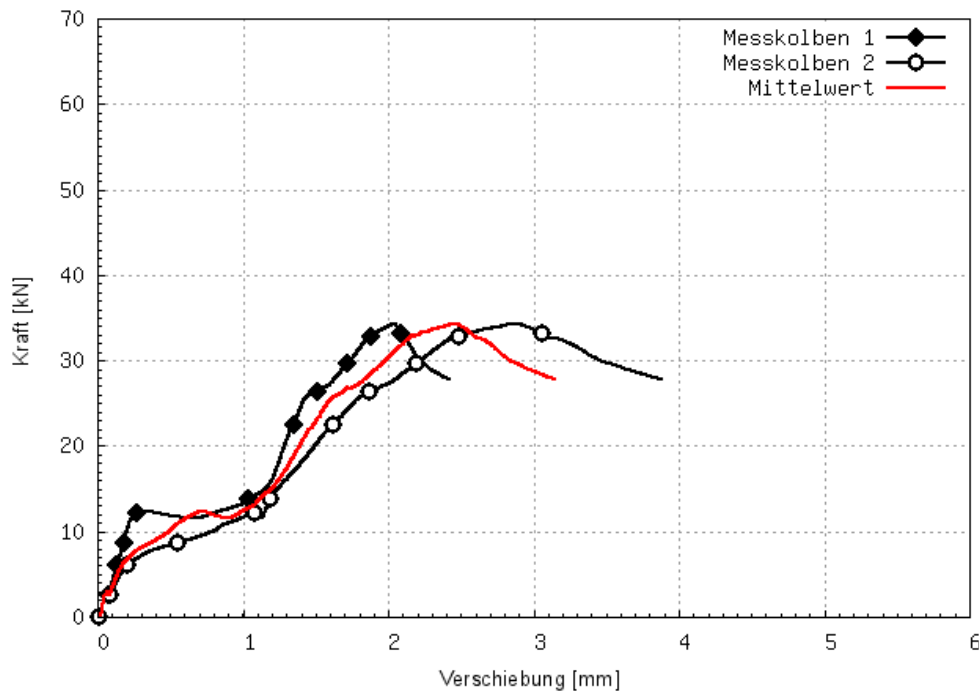


Abb. 65: Kraftverschiebungskurven beider Dübel der Zweifachbefestigung 70x250 mm und deren Mittelwert. Alle drei Kurven mit Mörtel und Schlupf.

Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Dübel unterschiedlich während des Versuches verhalten haben. Zwar ist die Anfangssteifigkeit beider nahezu identisch, jedoch ist die Lastübertragung durch Reibung bei dem einen ausgeprägter als bei dem anderen. Nach der Überbrückung des Schlupfes weisen beide Dübel wieder etwa die gleiche Verschiebung und Last auf. Anschließend unterscheidet sich die Steifigkeit beider klar voneinander. Erklärbar ist dies mit dem inhomogenen Werkstoff Beton, der eventuell unterschiedlich erstellten Bohrlöcher und der damit verbunden verschiedenen Einbringung der Verbunddübel. Bei einer Kraft von etwa 27 kN weisen beide Kurven einen Knick auf. Hier kam es im Versuch zu den ersten Rissen in der Mörtelschicht. Die folgende größere Verschiebung, aufgezeichnet von Messkolben 2, entspricht der Verbiegung des einen Dübels und der damit verbundenen Verdrehung des Zugschwertes (siehe Bilder Versuchsprotokoll). Ebenso ist das Risswachstum auf dieser Seite wesentlich ausgeprägter. Dieser Vorgang ist vermutlich für einen gemeinsamen Ausbruchkörper verantwortlich, denn eigentlich sind auf Grund der Abmessungen zwei sich nicht überschneidende Ausbruchkörper zu erwarten. Eventuell hat aber auch ein vorher durchgeführter in der Nähe liegender Versuch diesen Ausbruchkörper begünstigt.

Um einen besser Vergleich zwischen der Zweifachbefestigung und der gemittelten Einfachbefestigung ziehen zu können wird im Folgenden ein Diagramm ohne Schlupf herangezogen.

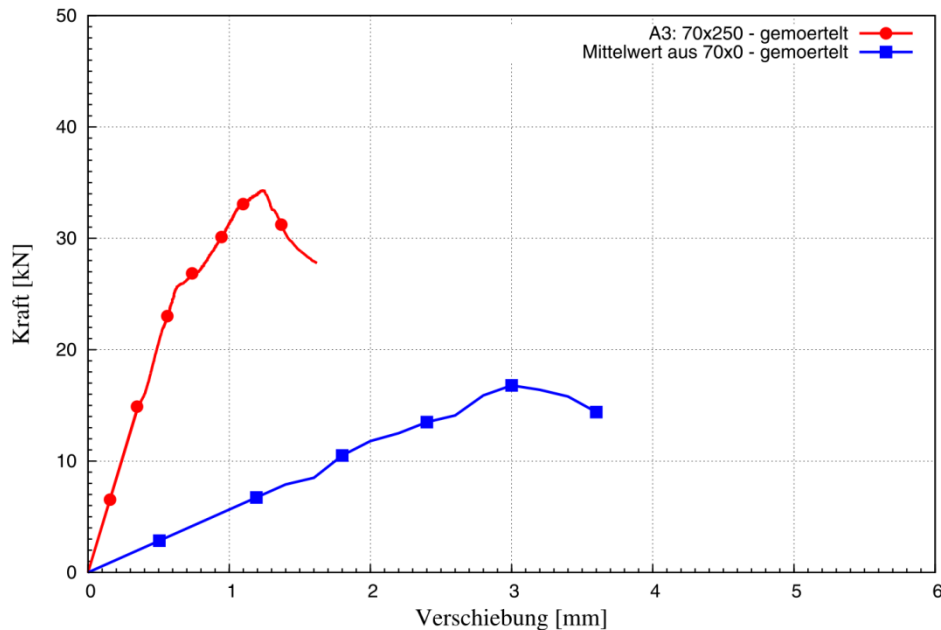


Abb. 66: Vergleich Zweifachbefestigung 70x250 mm mit dem Mittelwert der Einfachbefestigungen 70 mm. Beide Kurven mit Mörtel und ohne Schlupf.

Auf Grund einer Interaktion zwischen den beiden Dübeln einer Zweifachbefestigung über das Zugschwert ist eine klare Steigerung der Steifigkeit im Vergleich zu einer Einfachbefestigung zu erkennen. Des Weiteren ist eine Zunahme der Bruchlast um einen Faktor 2,3 zu verzeichnen. Somit wurden die Erwartungen einer Steifigkeitszunahme und einer Verdoppelung der Höchstlast erfüllt. Allerdings lässt sich nicht sagen, ob der Faktor auf Grund eventueller Einflüsse aus nebenliegenden früheren Versuchen repräsentativ ist.

5.4.2 Variante b), 70x250, ohne Mörtel

Zu der Variante b) ohne Mörtelbett wurden ein Versuch mit der Bezeichnung B3 gefahren, zu der Einzelbefestigung liegen Protokolle zu zwei Versuchen vor, B1 und E-B1. Um die Messwerte besser vergleichen zu können, werden die Versuchsdaten in einem gemeinsamen Diagramm grafisch dargestellt.

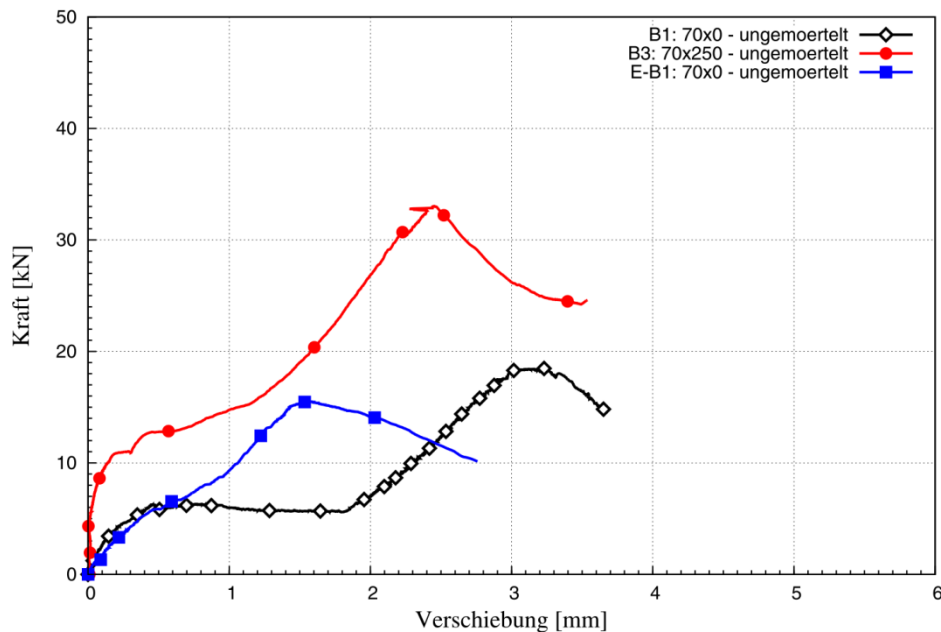


Abb. 67: Vergleich Zweifachbefestigung 70x250 mm mit den beiden Einfachbefestigungen 70 mm. Alle Kurven ohne Mörtel und mit Schlupf.

Man kann schnell erkennen, dass bei jedem Versuch ein mehr oder weniger stark ausgeprägter Schlupf, bedingt durch Lochspiel und Reibung, vorhanden ist.

Die Versuche B1 und E-B1 haben zu Beginn eine vergleichbare Steigung, also Steifigkeit. Bei etwa 5 kN werden die Graphen flacher, B1 verläuft sogar horizontal bzw. fällt leicht ab. Das hängt damit zusammen, dass der Anpressdruck der Mutter nicht mehr ausreicht und das Zugschwert auf der Teflonunterlage in Bewegung kommt bis es das Lochspiel überwunden hat und direkt an der Gewindestange anliegt.

Bei E-B1 scheint das Lochspiel wesentlich geringer gewesen zu sein. Dies äußert sich in dem nur schwach abgeflachten Graphen, der bereits nach etwa 0,7 mm Weg wieder die Ursprungssteigung aufweist.

Bei Versuch B3 fällt sofort auf, dass die Anfangssteigung extrem steil ist. Bedingt durch die Zweifachbefestigung wirkt die doppelte Normalkraft auf das Zugschwert. Berücksichtigt man die unvermeidlichen Ungenauigkeiten des Drehmomentschlüssels, liegt dieser Wert evtl. noch deutlich höher. Daher muss zu Beginn eine wesentlich höhere Kraft aufgebracht werden, um die Haftung zu überbrücken und die Zuglasche in Bewegung zu setzen, bis sie nach etwa 1,6 mm an den Gewindestangen anliegt.

Der Versuch B3 soll nun noch genauer untersucht werden, wozu das Diagramm mit den Messdaten der jeweiligen Wegaufnehmer sowie deren Mittelwert herangezogen wird.

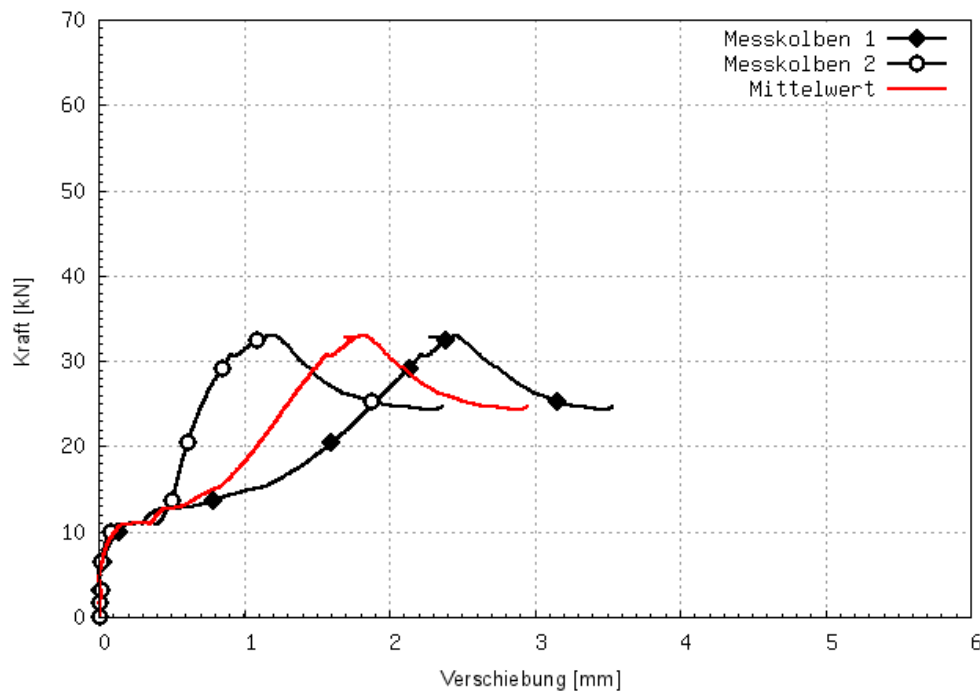


Abb. 68: Kraftverschiebungskurven beider Dübel der Zweifachbefestigung 70x250 mm und deren Mittelwert. Alle drei Kurven ohne Mörtel und mit Schlupf.

In diesem Diagramm ist gut zu erkennen, dass der Schlupf an beiden Gewindestangen unterschiedlich ist. Dies führt zu einer gewissen Verdrehung der Zuglasche.

Auch die Steigungen unterscheiden sich deutlich. Auf der Seite des Wegaufnehmers 1 ist die Steifigkeit geringer, was mit einer frühen Mikrorissbildung einhergeht. Es ist auch nicht auszuschließen, dass diese Messung durch eine eventuelle Rissüberlappung mit dem benachbarten Versuch B2 in Verbindung steht, der schon zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführt wurde.

Die Folge dieser Verdrehung und der unterschiedlichen Steifigkeiten hat einen stark asymmetrischen, gemeinsamen Ausbruchkörper zur Folge (siehe Bilder im Versuchsprotokoll). Erwartet wurden bei diesem Versuch zwei unabhängige Ausbruchkörper.

Der Knick bei 31 kN ist auf die Vereinigung vieler Mikrorisse zu größeren, nun auch an der Oberfläche sichtbare, Rissen zurückzuführen.

Um nun die Bruchlasten und die Verschiebungen zum Zeitpunkt des Versagens besser vergleichen zu können, wird ein „schlupfbereinigtes“ Diagramm verwendet.

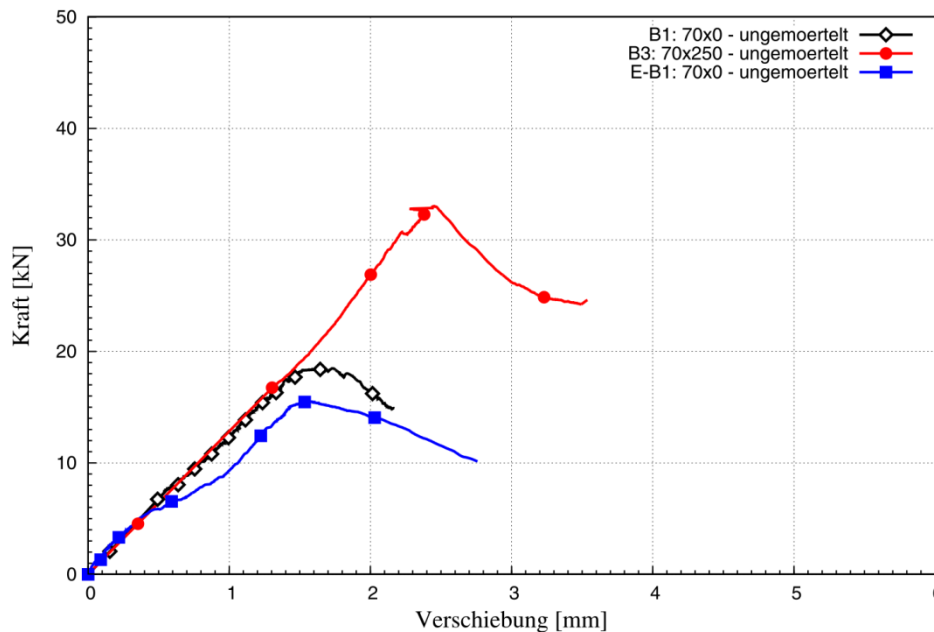


Abb. 19: Vergleich Zweifachbefestigung 70x250 mm mit den beiden Einfachbefestigungen 70 mm. Alle Kurven ohne Mörtel und Schlupf.

Die Bruchlast von B1 liegt mit 18,4 kN um 2,9 kN über der von E-B1. Auch hier ist ein Einfluss des Vorversuches C2, der neben E-B1 durchgeführt wurde, nicht auszuschließen und könnte zu der geringen Bruchlast geführt haben. Die Verformungen hingegen liegen mit 1,55 mm bei E-B1 und 1,65 mm bei B1 in derselben Größenordnung.

Die Zweifachbefestigung weist nahezu die identische Steifigkeit auf, jedoch wurde eine etwas höhere erwartet. Die Bruchlast beträgt mit 33 kN bei 2,5 mm Weg in etwa Faktor zwei im Vergleich zu den Einfachbefestigungen. Dies bestätigt die Theorie, dass bei diesem Befestigungstyp die Zweifachbefestigungen die doppelte Bruchlast einer Einzelbefestigung erreicht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die gemessenen Ergebnisse gut mit den erwarteten übereinstimmen, jedoch ist der Einfluss bei zwei der drei Versuche durch Vorversuche nicht auszuschließen. Dies könnte zu verfälschten Messwerten geführt haben und daher sind die hier verwendeten Daten mit Vorsicht zu genießen.

In den nächsten beiden Unterkapiteln werden Zweifachbefestigungen mit einem Randabstand von 140mm mit Einzelbefestigungen selbigen Randabstandes verglichen.

5.4.3 Variante c), 140x250, mit Mörtel

Zunächst sei anzumerken, dass der Versuch C2 nicht bis zum Ende gefahren wurde, um o.g. Folgeversuch E-B1 nicht zu stark zu beeinflussen. Eine Aussage über die tatsächliche Höchstlast ist daher nicht möglich. Außerdem wird auf die Darstellung der Graphen mit Schlupf verzichtet. Auf Ursache und Wirkung wurde weiter oben eingegangen.

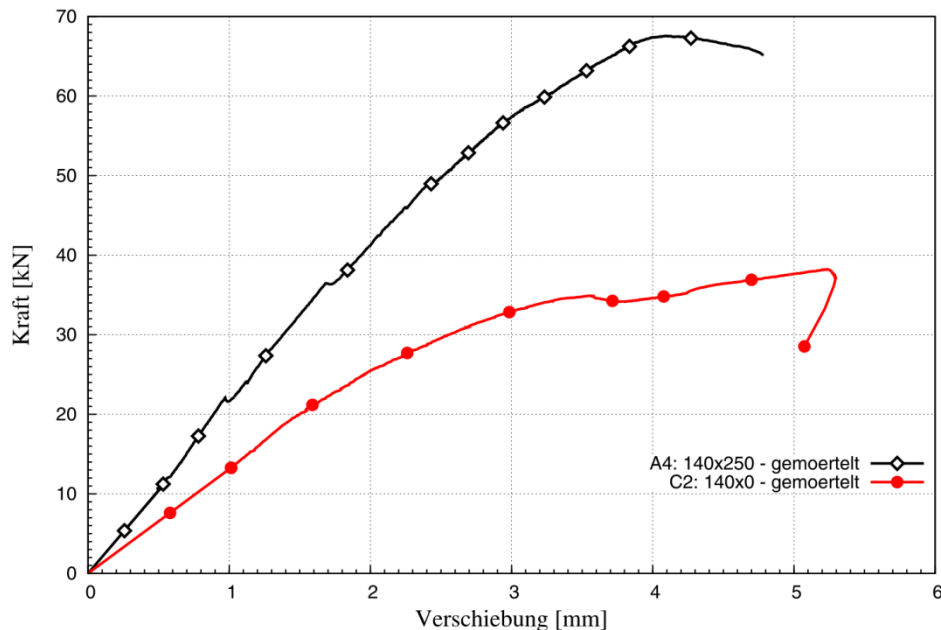


Abb. 70: Vergleich Zweifachbefestigung 140x250 mm mit der Einfachbefestigung 140 mm. Beide Kurven mit Mörtel und ohne Schlupf.

Der Graph von A4 stellt den Mittelwert der beiden Wegaufnehmer dar. Diese unterscheiden sich nur in 1,7 mm Spiel, was dem Versuchsprotokoll entnommen werden kann und zu einer leichten Verdrehung der Zuglasche führt. Die Steifigkeiten und Störungen sind bei beiden nahezu identisch und daher auch beim Mittelwert gut sichtbar.

Betrachtet man zunächst die Zweifachbefestigung ist zu Beginn ein ideal-elastisches Verhalten erkennbar. Die erste Störung tritt bei 23 kN und einer Verformung von einem knappen Millimeter auf. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch erste Risse im Mörtelbett gesichtet, was zu einer minimalen Reduzierung der Steifigkeit führt. Nach weiterem linearem Anstieg der Last-Verschiebungs-Kurve gibt es den nächsten Knick bei 36 kN. Dieser ist allerdings nur von Wegaufnehmer 1 gemessen worden, d.h. es kam zu Rissbildungen im Beton unterhalb des Mörtelbettes bei einer der beiden Gewindestangen.

Die Kurve verläuft wieder etwas flacher bis zu einer Kraft von 49 kN. Immer mehr Risse entstehen und der Graph wird nun stetig flacher, bis er seine Höchstlast bei zunächst 67,5 kN erreicht. Die Last wird wieder geringer und erst jetzt werden Risse im Beton außerhalb des Mörtelbettes sichtbar, auch hinter der Befestigung. Es kommt zu einem rückwärtigen Betonausbruch. Aus diesem Grund kann der Versuch nicht mehr bis zum Versagen des erwarteten Betonkantenbruchs gefahren werden. Zu erkennen ist jedoch, dass ein gemeinsamer Betonausbruchkörper entsteht.

Die Einzelbefestigung weist zu Beginn ebenfalls ein linear-elastisches Verhalten auf, jedoch mit einer deutlich geringeren Steifigkeit. Bei 16 kN ist bereits das Mörtelbett über die gesamte Breite durchgerissen und schiebt sich nach vorne. Dies äußert sich im Diagramm darin, dass der Graph nun stetig flacher wird. Durch die Verschiebung des Mörtelbettes liegt die Gewindestange nun frei und wird von einer Querkraft mit Hebelarm beansprucht. Das führt nun zu einer zusätzlichen Biegebeanspruchung und der Reduzierung der Steifigkeit. Kurz vor Abbruch des Versuches bei 38 kN waren die Verformungen im Vergleich zu der Laststeigerung

so groß, dass man davon ausgehen kann, dass es auch bei diesem Versuch nicht zum Betonkantenbruch gekommen wäre. Vermutlich hätte die Gewindestange zuvor versagt.

Da bei beiden Versuchen nicht der erwartete Versagensfall eingetreten ist bzw. abgebrochen werden musste, lässt sich keine qualitative Aussage bezüglich des Verhältnisses der Höchstlasten einer Zweifach- und einer Einfachbefestigungen bei einem Randabstand von 140 mm treffen.

Diese Befestigungen sollten auf jeden Fall weiter untersucht werden, um die Bemessungsansätze verbessern und anpassen zu können.

5.4.4 Variante c), 140x250, ohne Mörtel

Auch bei dieser Variante wird wieder auf die Darstellung der Diagramme mit Schlupf verzichtet. Bei der Zweifachbefestigung kam es lediglich zu einer sehr geringen Verdrehung des Zugschwertes.

Bei Versuch B4 wurde bei 11,5 kN ein lautes Knacken vernommen. Da der Betonkörper zu Beginn nicht komplett an den Auflagern anlag, wurde er mit der Zeit herangezogen, bis es zu diesem Knacken kam. Ab hier verläuft der Graph wieder annähernd linear-elastisch.

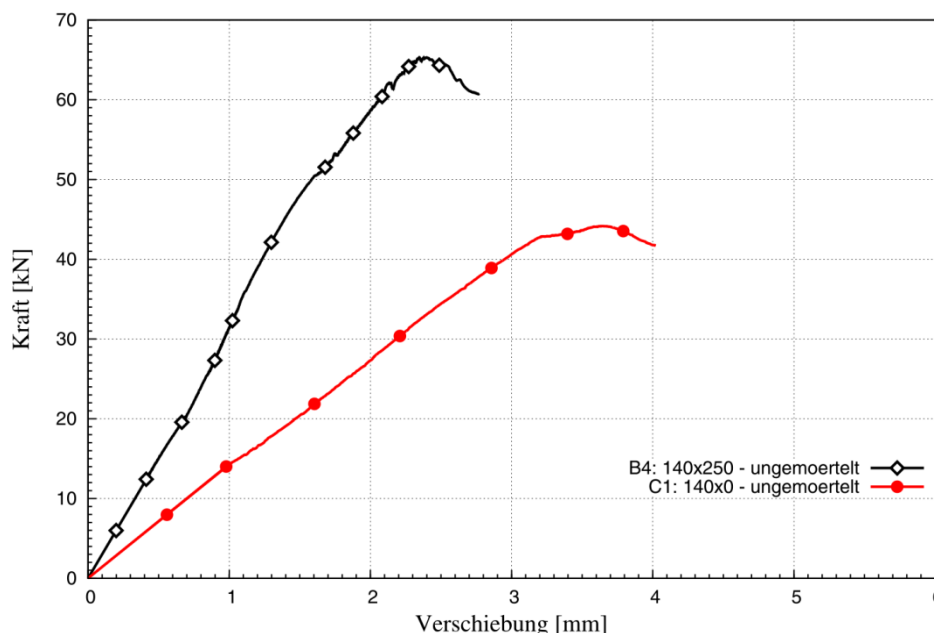


Abb. 71: Vergleich Zweifachbefestigung 140x250 mm mit der Einfachbefestigung 140 mm. Beide Kurven ohne Mörtel und Schlupf.

Auch in diesem Vergleich ist der deutliche Steifigkeitsunterschied von einer Zweifach- zu einer Einfachbefestigung zu erkennen.

Die Zweifachbefestigung weist bis 51 kN eine ungestörte Last-Verschiebungs-Kurve auf. Hier kommt es zu einer vielfachen Mikrorissbildung im Inneren des Betons. Die ersten sichtbaren Risse an der Betonoberfläche wurden bei 64,2 kN entdeckt, unmittelbar vor der Bruchlast von 66 kN.

Ohne Mörtelbett weist auch die Einzelbefestigung einen linearen Graphen auf, bis es zur ersten Rissbildung bei 41 kN kommt. Unter starken Zuwachs der Verformungen, aufgrund des Nachziehens des Zugschwertes, bis es wieder am Dübel anliegt, ist noch eine geringe Steigerung der Kraft auf die Bruchlast von 44,2 kN möglich.

Bei diesen Versuchen ist gut zu erkennen, dass sich bei der Zweifachbefestigung die Ausbruchkörper des jeweiligen Dübels überschneiden und beeinflussen. Dies führt nämlich nicht zu der rechnerisch doppelten Bruchlast wie bei Variante b), sondern zu einer Faktor 1,5 größeren Kraft.

5.5 Vergleich von Bemessungs- und Versuchsergebnissen

Da jeder Versuch den Betonkantenbruch als Versagensmechanismus zur Folge hatte, soll im Folgenden auch nur dieses Ergebnis verglichen werden. Bemessungswerte zu anderen Versagensarten können dem Kapitel 4.5 entnommen werden.

$e = 0$	Randabstand	Dübelabstand Parallel zum Plattenrand	Nach Bemessungsprogrammen	Nach Norm CEN-TS-1992-4	Nach Elgehausen und Mallée	Versuchsergebnis
Versuchsaufbau A	70	0	19,140	18,000	16,500	40,700
Versuchsaufbau B	70	250	38,280	36,010	33,000	33,000
Versuchsaufbau C	140	250	75,880	71,400	74,500	66,000
Versuchsaufbau D	70	-	19,400	18,000	16,500	18,400
Versuchsaufbau E	140	-	47,560	44,760	46,700	44,200

Tabelle 14: Übersicht Ergebnisse ohne Hebelarm

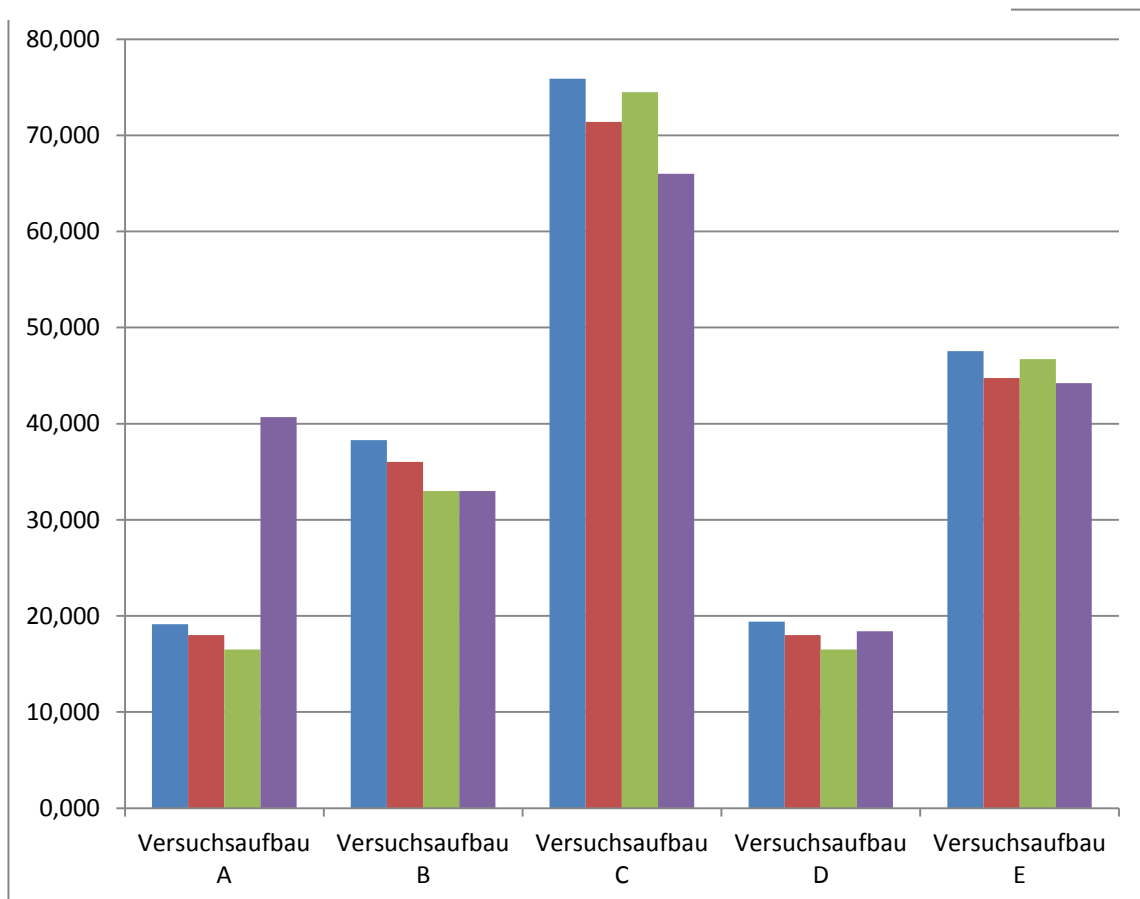


Abb. 72: Vergleich der Ergebnisse ohne Hebelarm

<u>e = 20</u>	Randabstand	Dübelabstand Parallel zum Plattenrand	Nach Bemes- sungspro- grammen	Nach Norm CEN-TS- 1992-4	Nach Elige- hausen und Mallée	Versuchs- ergebnis
Versuchsaufbau A	70	0	19,140	14,760	14,700	22,500
Versuchsaufbau B	70	250	38,280	29,590	29,500	34,600
Versuchsaufbau C	140	250	75,880	58,530	66,300	67,500
Versuchsaufbau D	70	-	19,140	14,760	14,700	15,300
Versuchsaufbau E	140	-	47,560	36,690	41,600	38,000

Tabelle 15: Übersicht Ergebnisse mit Hebelarm

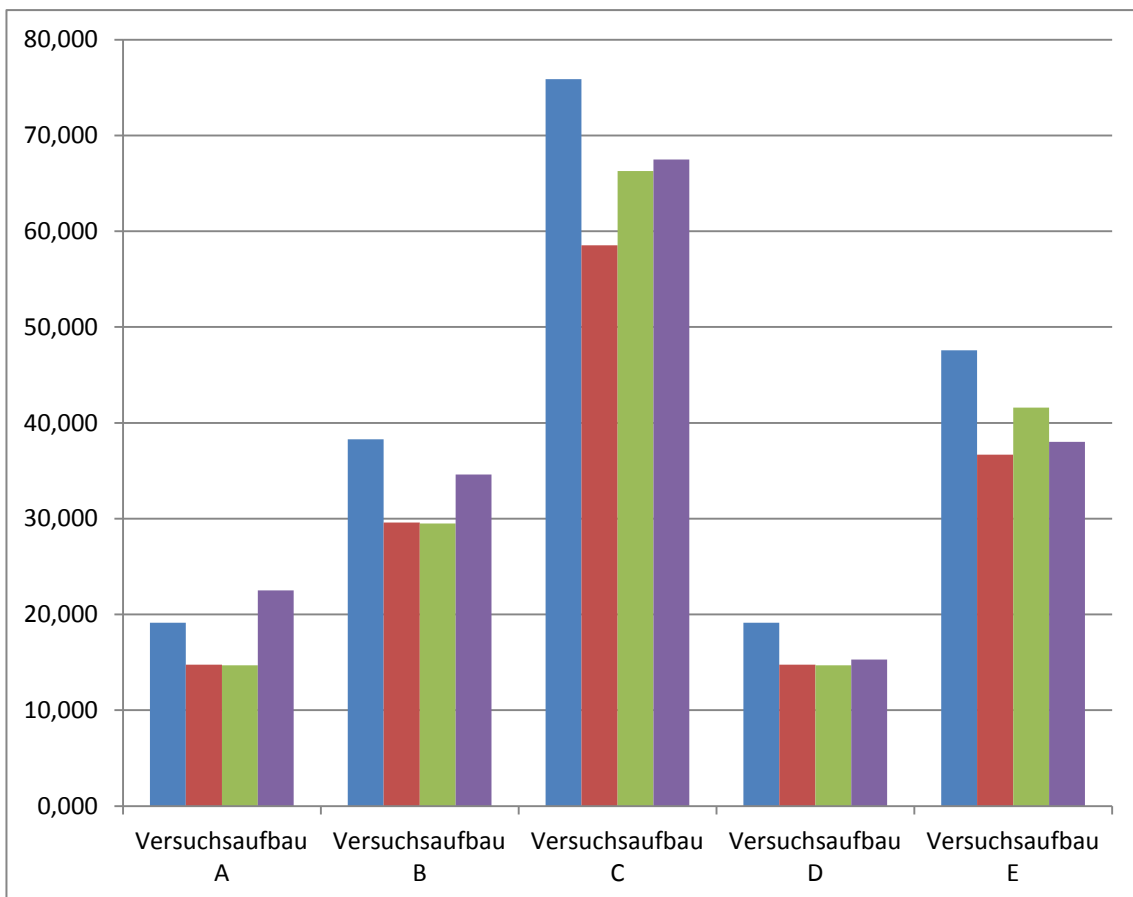


Abb. 73: Vergleich der Ergebnisse mit Hebelarm

Insgesamt liegen die Versuchsergebnisse sehr nahe an den in der Vorbemessung ermittelten Erwartungswerten. Zwar versagt das System häufig bevor die errechnete Höchstlast erreicht wird, in der Baupraxis werden allerdings entsprechende Sicherheitsbeiwerte diese Problematik entschärfen. Ein Vergleich, der auf Anhub ins Auge sticht, ist Versuchsaufbau A ohne eine Mörtel-Ausgleichsschicht. Dies entspricht einer Befestigung mit zwei hintereinander angeordneten Dübeln. Hier liegt der im Versuch ermittelte Wert weit über den zuvor errechneten Werten. Eine Erklärung hierfür ist, dass in der Berechnung davon ausgegangen wird, dass nur einer der Beiden Dübel trägt. Da auf der sicheren Seite anzunehmen ist, dass nur der anfälligere, vordere Dübel Last abträgt, entstehen enorme Abweichungen, wenn der hintere Dübel tragend wird. Weiterhin ist anzumerken, dass bei Nichtbeachtung des soeben erwähnten Ausreisers auffällt, dass die Mörtelschicht zwar keine gravierenden, aber beobachtbare Auswirkungen auf die Höchstlasten hat, wodurch vor Allem die Bemessungsprogramme große Abweichungen aufweisen. Ob es sich hierbei um Zufälle handelt, müssten zunächst weitere Versuche belegen. Im Allgemeinen kann jedoch festgehalten werden, dass keines der Ergebnisse vollkommen unerwartete Werte annimmt. Es ist jedoch deutlich festzustellen, dass es durchaus Versuche gibt, in denen der erwartete Höchstlast experimentell unterschritten wurde.

5.6 Einfluss des Randabstandes

Durch die Wahl zweier Randabstände ist eine Aussage über deren Einfluss möglich. Bei den Rechnungen, beispielsweise nach der Berechnungsnorm DIN CEN-TS 1992-4 gehen die unterschiedlichen Randabstände wie folgt in die Berechnung ein:

$$V_{Rk,c}^0 = 1,6 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck, cube}} \cdot c_1^{1,5}$$

Dabei sind α , β und natürlich $c_1^{1,5}$ vom Randabstand abhängig. Das heißt, dass der Randabstand nicht linear und nicht mit der Potenz 1,5 eingeht. Diese Abhängigkeit kann in den Versuchen bestätigt werden.

Bei den geprüften Zweifachbefestigungen geht zusätzlich bei einem Randabstand von 140 mm noch der Abstand zwischen den Dübeln ein, weil dieser dort mit 250 mm kleiner ist als dreifache Randabstand ($3 c_1 = 420 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$). Bei der Zweifachbefestigung mit einem Randabstand von 70 mm ist dieses nicht der Fall ($3 c_1 = 210 \text{ mm} < 250 \text{ mm}$). Um die Werte der Zweifach- mit denen der Einzelbefestigungen zu vergleichen muss dieser Einfluss aus der Höchstlast der Dübel mit großem Randabstand herausgerechnet werden. Dieses geschieht mit einem Vergleich des Verhältnisses $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$. Bei einem Randabstand von 70 mm ist es 2,0 bei 140

mm 1,6. Damit müssen die Werte $V_{U,140 \text{ mm}}$ mit $2/1,6 = 1,25$ multipliziert werden, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Der Faktor ist jetzt vergleichbar.

Aus den Berechnungen und aus den Versuchsergebnissen kann ein Faktor für das Verhältnis der Höchstlasten von kleinem und großem Randabstand bei Einzelbefestigung (EB) und Zweifachbefestigung (ZB) bestimmt werden um den Einfluss des Randabstandes zu ermitteln:

	Randabstand 70 mm $V_{U,70 \text{ mm}}$	Randabstand 140 mm $V_{U,140 \text{ mm}}$	Faktor $V_{U,140 \text{ mm}} / V_{U,70 \text{ mm}}$	Abweichung von Norm in %
EB o. Mörtelbett	18,40	44,20	2,40	3,6
EB m. Mörtelbett	16,63	38,00	2,29	8,0
ZB o. Mörtelbett	33,0	66,0*1,25	2,50	0,4
ZB m. Mörtelbett	34,60	67,50*1,25	2,44	2,0
CEN/TS 1992 – 4	18,00	44,76	2,49	0

Tabelle 19: Randabstand

Dabei wird für den Versuch mit Mörtelbett bei einem Randabstand von 70 mm der Mittelwert aus den vier Versuchen nach 7.1. genutzt.

Man erkennt, dass die Berechnung nach Norm CEN/TS 1992 – 4 den Einfluss sowohl bei Einfach- also auch Zweifachbefestigungen richtig abbildet. Dass die Norm aber eher auf der unsicheren Seite liegt, ist mit der Ungenauigkeit und den Streuungen in den Versuchen zu erklären.

Durch das Mörtelbett wird der Faktor $V_{U,140 \text{ mm}} / V_{U,70 \text{ mm}}$ kleiner, das heißt der Einfluss des

Randabstandes ist geringer. Dieses ist mit der erweichenden Wirkung des Mörtelbettes zu erklären, die durch schlechten Verbund zwischen Mörtelbett und Betonoberfläche hervorgerufen wird. Außerdem können sich die Dübel im Mörtel verdrehen und es entstehen größere Verformungen. Die Zweifachbefestigungen weichen weniger von der Norm ab. Dieses liegt sehr wahrscheinlich an der größeren Steifigkeit der Zweifachbefestigung.

Im Folgenden werden die überlagerten Last-Verschiebungskurven für die Einzelbefestigungen dargestellt:

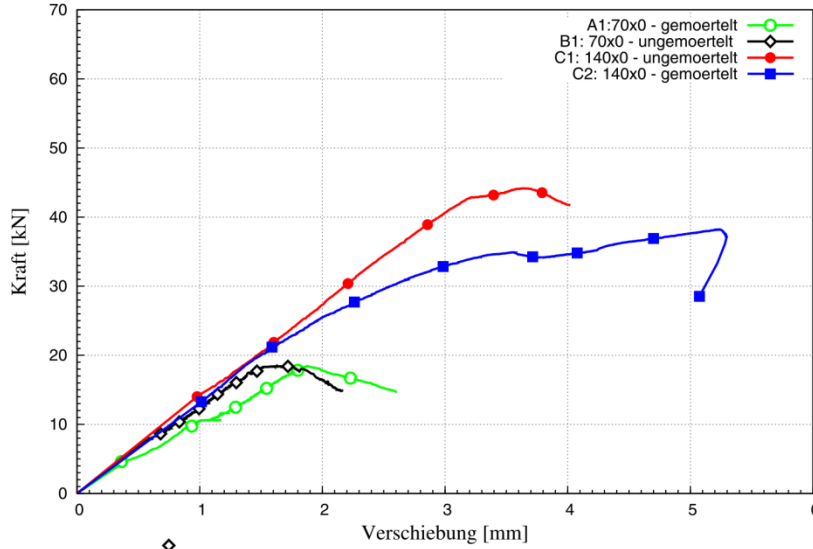


Abb. 74: Vergleich: Einfluss des Randabstandes bei Einzelbefestigungen

Der Beton in Versuch C2 reißt ab einer Last von 34 kN. Dies ist auch in einer Abflachung der Kurve im Last-Verschiebungsdiagramm und dem damit verbundenen Steifigkeitsverlust zu erkennen. In Versuch C1 sind die ersten Betonrisse erst knapp vor der Höchstlast sowohl optisch zu erkennen als auch im Diagramm nicht vorher zu sehen. Wird dieses berücksichtigt, zeigen die Kurven, dass die Befestigungen mit Randabstand 140 mm etwas steifer sind als die Befestigungen mit Randabstand 70 mm. Dieses kann an der stärkeren Verdrehbehinderung des Zugschwertes liegen, hervorgerufen durch eine größere Auflagefläche vor dem Dübel.

Abschließend kann also festgestellt werden, dass durch die Norm CEN-TS-1992-4 der Einfluss des Randabstandes sowohl auf die Einfachbefestigung als auch auf die Zweifachbefestigung unter An- oder Abwesenheit eines Vergussmörtelbetts bereits richtig rechnerisch erfasst wird.

6 Zusammenfassung Bemessung und Versuche

Die Berechnungsmöglichkeiten, CEN-TS 1992-4, Eligehausen/Mallée und die Softwareprogramme Compufix, Würth Technical Software und HILTI PROFIS Anchor, weisen im Vergleich der Endergebnisse kaum Abweichungen auf. Jedoch ist der Bemessungsaufwand stark unterschiedlich, weswegen für die Praxis auf die Softwareprogramme zurückgegriffen werden sollte. Diese ist innerhalb einer geringen Einarbeitungszeit am einfachsten zu verwenden und das Bemessungsergebnis ist nicht vom jeweilig benutzten Programm abhängig. Es ist lediglich zu beachten, dass die Eingaben herstellerspezifisch sind und demzufolge nur die Materialien der einzelnen Firmen verfügbar sind.

Das in einigen Rechnungen maßgebende Stahlversagen kommt nie in den Versuchen zum Tragen. Des Weiteren ist der vorher ausgeschlossene Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite bei zwei Versuchen aufgetreten.

Die Versuchsergebnisse ohne Mörtelbett stimmen mit den Rechenwerten überein und belegen somit, dass die Versuchsanordnung aussagekräftig ist. Mit Mörtelbett liegen die Höchstlasten leicht über den berechneten. Die Ursache findet sich in der Annahme, dass der Mörtel nichttragend ist. Diese Annahme ist falsch, der Mörtel stützt den Dübel und erhöht den Widerstand. Die Computerprogramme liegen bei Verwendung eines Mörtelbetts nicht auf der sicheren Seite, da diese bei einer Bemessung auf Betonkantenbruch den zusätzlichen Hebelarm nicht berücksichtigen. Lediglich bei der Berechnung für Stahlversagen wird dieser angesetzt. Jene Vorgehensweise lässt sich auf die Norm zurückführen, in welcher keine Vorgaben für den gewählten Versuchsaufbau bei Versagen von Betonkantenbruch mit zusätzlicher Mörtelschicht gegeben werden. Um der erhöhten Exzentrizität dennoch Rechnung zu tragen ist im Rahmen der Seminararbeit ein Korrekturfaktor von 1,22 ermittelt worden. Dieser bestätigt sich in den Versuchen, müsste jedoch durch weitere Untersuchungen verifiziert werden.

Eine weitere Modifizierung findet bei nebeneinanderliegenden, gemörtelten Zweifachbefestigungen mit Achsabstand kleiner dem dreifachen Randabstand in der Berechnung nach Eligehausen statt. Diese ist notwendig, weil lediglich eine Formel für eine Einfachbefestigung mit Hebelarm vorhanden ist. Für alle weiteren parallel zum Rand angeordneten Dübelbefestigungen entsprechen die Berechnungen den Versuchsergebnissen. Der Einfluss des Randabstandes wird folglich ausreichend genau abgebildet.

Die Dübelanordnung 70x70L führt nach Bemessungssoftware und Norm zu konservativen Ergebnissen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bemessung einer Einzelbefestigung des randnahen Dübels entspricht, weil es keine Garantie gibt, dass der randferne Dübel trägt. Eligehausen/Mallée bietet hierzu einen Entscheidungsspielraum, welcher auch dem hinteren Verbunddübel eine Tragfähigkeit einräumt. Dies entspricht den Ergebnissen der ungemörtelten Zweifachbefestigungen. Mit Mörtel versagt der vordere Dübel und kommt dementsprechend der konservativen Annahme nahe. Ob dieses Versagen den Regelfall darstellt müsste durch weitere Untersuchungen geprüft werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Rolf Eligehausen, Rainer Mallée (2000): Befestigungstechnik im Beton-und Mauerwerksbau, Ernst Sohn Verlag
- [2] Deutsches Instiut für Normung e.V.: DIN CEN/TS 1992-4-1:2009 Bemessung der Verankerung von Befestigung in Beton - Allgemeines
- [3] Deutsches Instiut für Normung e.V.: DIN CEN/TS 1992-4-5:2009 Bemessung der Verankerung von Befestigung in Beton – Dübel: Chemische Systeme

A. Anhang

A.1 Rechnungen

A. 1.1 Bemessung nach DIN CEN/TS 1992 – 4

Die Rechnungen nach Norm führen bei den in der Ausarbeitung definierten Randbedingungen zu den dort dargestellten Ergebnissen. Die vollständigen Rechengänge sollen hier dargestellt werden.

- **Versagensart Betonkantenbruch**

Berechnet wurde der Widerstand bei auf dem Beton aufliegender Zuglasche bzw. Anbauteil. Eine Zusammenfassung dem Faktor aus 4.2.2 findet sich nach der Tabelle des Stahlversagens.

BETONKANTENBRUCH				
	Versuch a/d)	Versuch b)	Versuch c)	Versuch e)
	Einzelbefestigung, Randabstand 70 mm	Zweifachbefestigung, Randabstand 70 mm,	Zweifachbefestigung, Randabstand 140 mm,	Einzelbefestigung, Randabstand 140 mm
$V_{Rk,c}$	$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$			
$V_{Rk,c,0}$	$V_{Rk,c,0} = 1,6 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5}$			
d_{nom}	16,00			
l_f	80,00			
$f_{c,cube}$; aus Versuch bestimmt	30,50			
c_1	70,00	70,00	140,00	140,00
α	$\alpha = 0,1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0,5}$			
	0,1069	0,1069	0,0756	0,0756
β	$\beta = 0,1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0,2}$			
	0,0744	0,0744	0,0648	0,0648
$V_{Rk,c,0}$	9645,13	9645,13	23977,93	23977,93 N
	9,65	9,65	23,98	23,98 kN
$A_{c,V}$	22050,00	44100,00	140700,00	88200,00 mm ²
$A_{c,V,0}$	22050,00	22050,00	88200,00	88200,00 mm ²
$A_{c,V}/A_{c,V,0}$	1,00	2,00	1,60	1,00
$\psi_{s,V}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$\psi_{h,V}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$\psi_{ec,V}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$\psi_{\alpha,V}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$\psi_{re,V}$	1,40	1,40	1,40	1,40
$V_{Rk,c}$	13503,18	27006,37	53550,72	33569,11 N
V_u				
	18004,25	36008,49	71400,96	44758,81 N
V_u	18,00	36,01	71,40	44,76 kN

• **Versagensart Stahlversagen**

Gewählt wurde eine Stahlgüte von 10.9. Auch bei einer höheren Güte (12.9) kann ein Stahlversagen bei einer nicht-tragenden Mörtelschicht nicht ausgeschlossen werden.

STAHLVERSAGEN					
Stahlgüte		8.8	10.9	12.9	
ohne Hebelarm					
Vrks		$V_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk}$			
As		157,00			
Rs		7,07			
fu		800,00	1000,00	1200,00	N/mm ²
Vrks		62800,00	78500,00	94200,00	N
Vus		62,80	82,63	94,20	kN
mit Hebelarm					
Vrks		$V_{Rk,s} = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l}$			
α_M		2,00			
l		38,00			
		mm			
Mrks, 0		$M_{Rk,s}^0 = 1,2 \cdot W_{el} \cdot f_{uk} = 1,2 \cdot \frac{\pi \cdot r^3}{4} \cdot f_{uk}$			
Vrks		266437,84	333047,29	399656,75	Nmm
Vus		14023,04	17528,80	21034,57	N
Vus	1 Dübel	14,76	18,45	22,14	kN
Vus	2 Dübel	29,52	36,90	44,28	kN
ZUSAMMENFASSUNG					
	Versuch a/d)	Versuch b)	Versuch c)	Versuch e)	
	Einzelbefestigung, Randabstand 70 mm	Zweifachbefestigung, Randabstand 70 mm, Abstand 250mm	Zweifachbefestigung, Randabstand 140 mm, Abstand 250mm	Einzelbefestigung, Randabstand 140 mm	
Betonkantenbruch					
Vu, ohne Hebelarm	18,00	36,01	71,40	44,76	kN
Vu, mit Hebelarm (Faktor 4.2.2)	14,76	29,52	58,53	36,69	kN
Stahlversagen, 10.9.					
mit Hebelarm	18,45	36,90	36,90	18,45	kN
ohne Hebelarm	82,63	165,26	165,26	82,63	kN

A. 1.2 Bemessung nach Elgehausen/Mallée

Aufgabenstellung

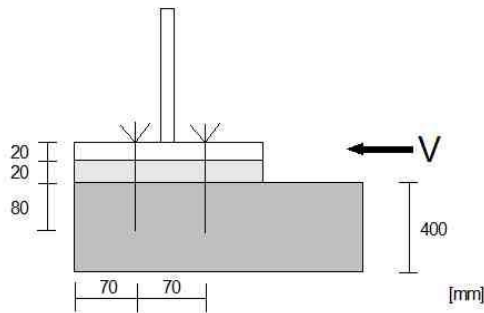


Bild A-1: Versuchsanordnung

C12/15 ungerissener Beton;

aus dem Festigkeitsversuch an drei Würfeln ergab sich eine mittlere Druckfestigkeit von 30 kN (Rechenwert)

chemische Dübel M16 10.9

3 Ausführungsvarianten

Zunächst werden die Rechnungen ohne Berücksichtigung der Exzentrizität durchgeführt.

Variante a

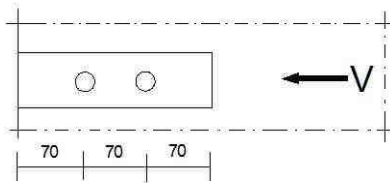


Bild A-2: Dübelanordnung bei Variante a

Stahversagen

$$V_{u,s} = \alpha \cdot A_s \cdot f_u$$

$\alpha = 0,5$ für hintereinanderliegende Dübel

$$A_s = 1,57 \text{ cm}^2 \text{ für M16}$$

$$f_u = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ für 10.9}$$

$$V_{u,s} = 78,5 \text{ kN/Dübel}$$

Betonkantenbruch

$$d_{nom} = d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$70 \text{ mm} = s_1 \geq c_{1,1} = 70 \text{ mm}$$

Riss des randferneren Dübels ist maßgebend. Die Berechnung der Höchstlast bei Betonkantenbruch erfolgt für einen Einzeldübel.

$$V_{u,c} = \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot V_{u,c}^0$$

$$A_{c,V} = 2 \cdot 1,5 \cdot c_1 \cdot h$$

$$h = 400 \geq 1,5 \cdot 140 = 210 = 1,5 \cdot c_1$$

$$A_{c,V} = A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot c_1$$

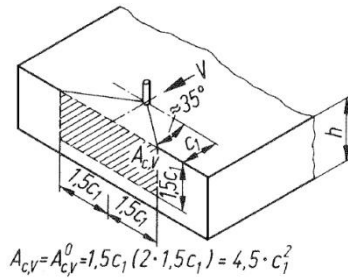
$$= 88.200 \text{ mm}^2$$

$$V_{u,c} = V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5}$$

$$d_{nom} = 18 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

$$V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{18} \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{80}{18}\right)^{0,2} \cdot 140^{1,5}$$

$$V_{u,c} = 46,7 \text{ kN/Befestigung}$$



$$A_{c,V} = A_{c,V}^0 = 1,5c_1 (2 \cdot 1,5c_1) = 4,5 \cdot c_1^2$$

Bild A-3: Projizierte Fläche einer Einfachbefestigung unter Querlast [Eligehausen, Mällée (2000)]

Bedingung erfüllt

Variante b

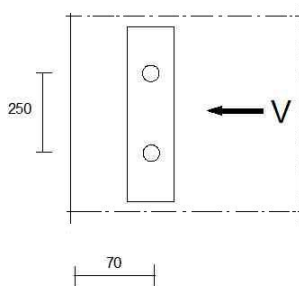


Bild A-4: Dübelanordnung bei Variante b

Stahlversagen

$$V_{u,s} = \alpha \cdot A_s \cdot f_u$$

$$\alpha = 0,6 \text{ für Dübel}$$

$$V_{u,s} = 94 \text{ kN/Dübel}$$

Betonkantenbruch

$$d_{nom} = d_0 = 18 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

$$V_{u,c} = \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot V_{u,c}^0$$

$$A_{c,V} = (2 \cdot 1,5 \cdot c_1 + s_1) \cdot 1,5c_1$$

$$h = 400 \geq 1,5c_1 = 1,5 \cdot 70 = 105$$

$$s = 250 \geq 3 \cdot c_1 = 210$$

$$A_{c,V} = 44.100 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot c_1$$

$$= 22.050 \text{ mm}^2$$

$$V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5}$$

$$= 16,5 \text{ kN}$$

$$V_{c,V} = 33 \text{ kN/Befestigung}$$

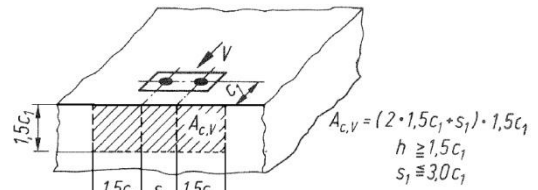


Bild A-5: Projizierte Fläche einer Zweifachbefestigung unter Querlast [Eligehausen, Mallée (2000)]

Die gesamte Traglast von zwei Einzelbefestigungen

kommt zum Tragen.

Variante c

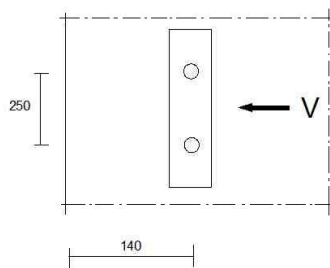


Bild A-6: Dübelanordnung bei Variante c

Stahlversagen

$$V_{u,s} = \alpha \cdot A_s \cdot f_u$$

$$V_{u,s} = 94 \text{ kN/Dübel}$$

Werte aus Variante b

Betonkantenbruch

$$d_{nom} = d_0 = 18 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

$$V_{u,c} = \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot V_{u,c}^0$$

$$A_{c,V} = (2 \cdot 1,5c_1 + s_1) \cdot 1,5c_1$$

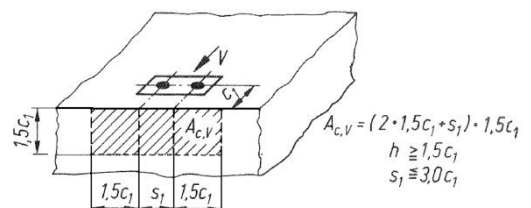


Bild A-7: Projizierte Fläche einer Zweifachbefestigung unter Querlast [Eligehausen, Mallée (2000)]

$$h = 400 \geq 1,5c_1 = 1,5 \cdot 140 = 210$$

$$s = 250 \leq 3 \cdot c_1 = 420$$

$$A_{c,V} = 140.700 \text{mm}^2$$

$$A_{c,V}^0 = 4,5 \cdot c_1$$

$$= 88.200 \text{mm}^2$$

$$V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5}$$

$$= 46,7 \text{kN}$$

$$V_{u,c} = 74,5 \text{ kN/Befestigung}$$

In den folgenden Rechnungen wird mit einer Mörtelschicht von 20 mm gerechnet.

Variante a

Stahlversagen (Querkraftbemessung mit Biegung)

$$l = e_1 + a_3 = 30 + 0,5 \cdot d$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{30}{16} = 1,88 \geq 1,0$$

$$V_{u,s} = \frac{\alpha_M M_{u,s}}{l}$$

$$\alpha_M = 1,0$$

$$M_{u,s} = M_{u,s}^0 = 1,7 \cdot W_{el} \cdot f_y$$

$$= 7,7 \cdot 402,23 \cdot 900$$

$$= 61,5 \text{kNcm}$$

$$V_{u,s} = 16,2 \text{ kN/Dübel}$$

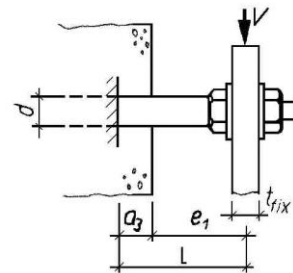


Bild A-8: Hebelarm der Querkraft bei einer Befestigung mit Abstandsmontage [Elgehausen, Mallée (2000)]

Die Querkraft kann für die Berechnung des Biegebruchmomentes vernachlässigt werden.

Das Anbauteil wird als freidrehbar angenommen.

Betonkantenbruch

$$V_{u,c} = \Psi_M \cdot \Psi_{h,V} \cdot V_{u,c}^0$$

$$\Psi_M = \frac{110-e_1}{90} = 0,89 \leq 1,0 \text{ und } \geq 0,3$$

Bedingung erfüllt

$$\Psi_{h,V} = \left(1,5 \cdot \frac{c_1}{h}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,75 \geq 1,0$$

Bedingung nicht erfüllt

$$V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5} = 16,5 \text{ kN}$$

Es wird hier mit dem
randnahen Dübel gerechnet

$$V_{u,c} = 14,7 \text{ kN/Befestigung}$$

Variante b

Stahlversagen (Querkraftbemessung mit Biegung)

$$V_{u,s} = \frac{\alpha_M M_{u,s}}{l}$$

Werte aus Variante 1

$$V_{u,s} = 16,2 \text{ kN/Dübel}$$

Betonkantenbruch

$$V_{u,c} = \Psi_M \cdot \Psi_{h,V} \cdot V_{u,c}^0$$

$$\Psi_M = \frac{110-e_1}{90} = 0,89 \leq 1,0 \text{ und } \geq 0,3$$

Bedingung erfüllt

$$\Psi_{h,V} = \left(1,5 \cdot \frac{c_1}{h}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,75 \geq 1,0$$

Bedingung nicht erfüllt

$$V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5} = 16,5 \text{ kN}$$

$$V_{u,c} = 14,7 \text{ kN/Dübel} \quad \rightarrow 29,4 \text{ kN/Befestigung}$$

Variante c

Stahlversagen (Querkraftbemessung mit Biegung)

$$V_{u,s} = \frac{\alpha_M M_{u,s}}{l}$$

Werte aus Variante 1

$$V_{u,s} = 16,2 \text{ kN/Dübel}$$

Betonkantenbruch

$$V_{u,c} = \Psi_M \cdot \Psi_{h,V} \cdot V_{u,c}^0$$

$$\Psi_M = \frac{110 - e_1}{90} = 0,89 \leq 1,0 \text{ und } \geq 0,3$$

Bedingung erfüllt

$$\Psi_{h,V} = \left(1,5 \cdot \frac{c_1}{h}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,94 \geq 1,0$$

Bedingung nicht erfüllt

$$V_{u,c}^0 = 0,9 \cdot \sqrt{d_0} \cdot \sqrt{\beta_w} \cdot \left(\frac{l_f}{d_0}\right)^{0,2} \cdot c_1^{1,5} = 46,7 \text{ kN}$$

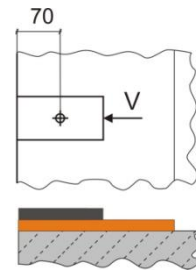
$$V_{u,c} = 41,6 \text{ kN/Befestigung} \quad \rightarrow \text{Empfehlung: } \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot V_{u,c} = 66,3 \text{ kN}$$

A.2 Versuchsprotokolle

Zu jedem Versuch wurde ein Protokoll erstellt mit Diagramm, Versuchsablauf, Abweichung zu den Rechenergebnissen und zahlreichen Bildern.

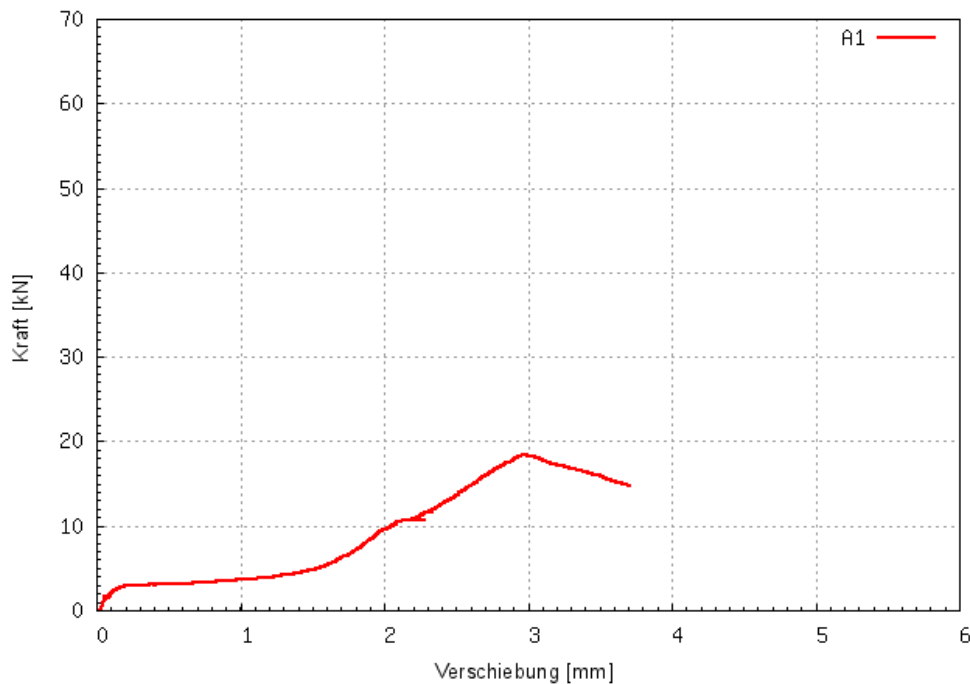
Nummer: A1

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
70x0 gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch A1: 70x0 gemörtelt



Höchstlast: 18,4 kN

Erste Mörtelrisse: 9,94 kN

Erste Betonrisse: 18,4 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

14,8kN
19,1kN
14,7kN

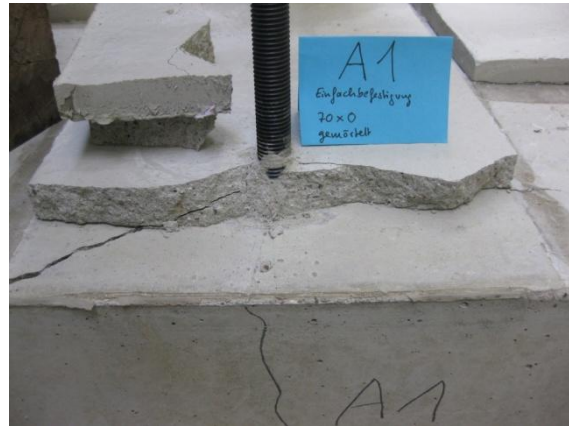
24,32
3,66
25,17

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

Zuggeschwindigkeit 0,4mm/min, ca. 0,2-1,4mm Spiel, erste Risse im Beton erst bei Höchstlast (3,65 mm Kolbenweg), Mörtelschicht hebt gegen Ende des Versuches ab

Bilder Versuchsab- und Rissverlauf

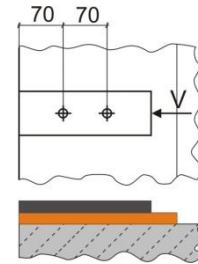


Bilder Ausbruchkörper



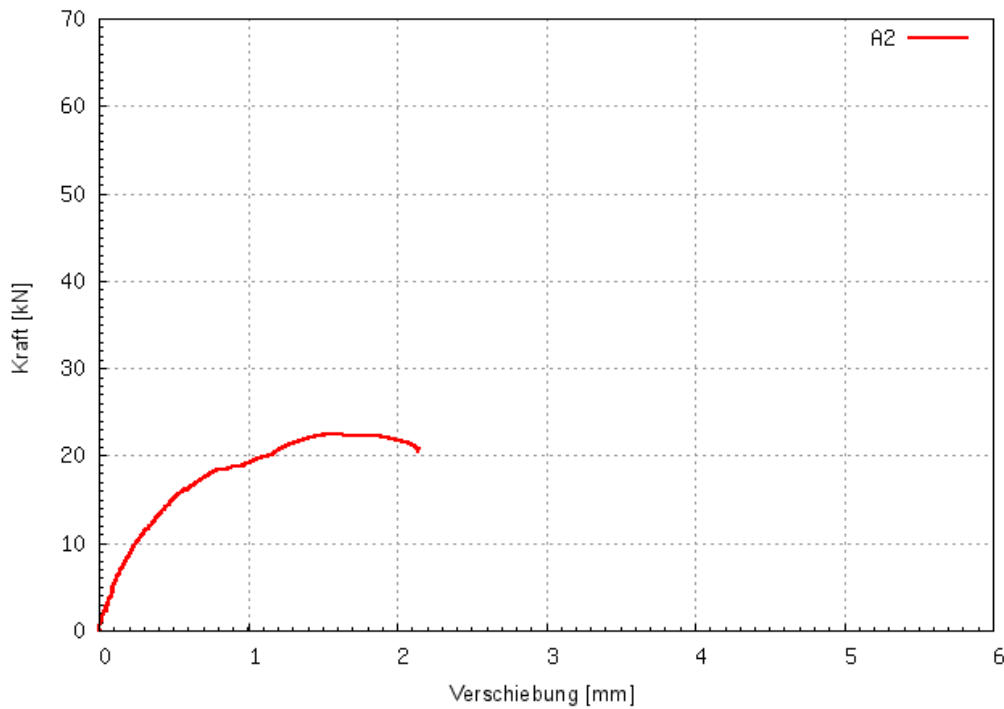
Nummer: A2

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
70x70L gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch A2: 70x70 gemörtelt



Höchstlast: 22,50 kN

Erste Mörtelrisse: 18,5 kN

Erste Betonrisse: 22,3 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

14,8kN
19,1kN
14,7kN

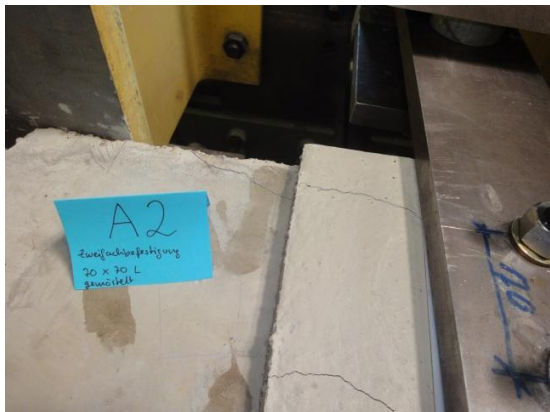
52,03
17,80
53,06

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

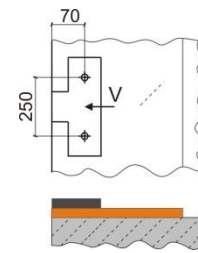
Vorschädigung des Mörtelbettes (hinterer Dübel) durch Anbringen des Zugschwertes bzw. Zurechtbiegen der Gewindestangen, erste durch Versuch herbeigeführte Risse im Mörtel bei vorderem Dübel und 18,5 kN (1,70 mm Kolbenweg), erste Risse im Beton bei 22,3 kN und 2,6 mm Kolbenweg. Vorzeitiger Abbruch direkt bei Erreichen der Höchstlast um Folgeversuche nicht zu beeinflussen.

Bilder Rissverlauf



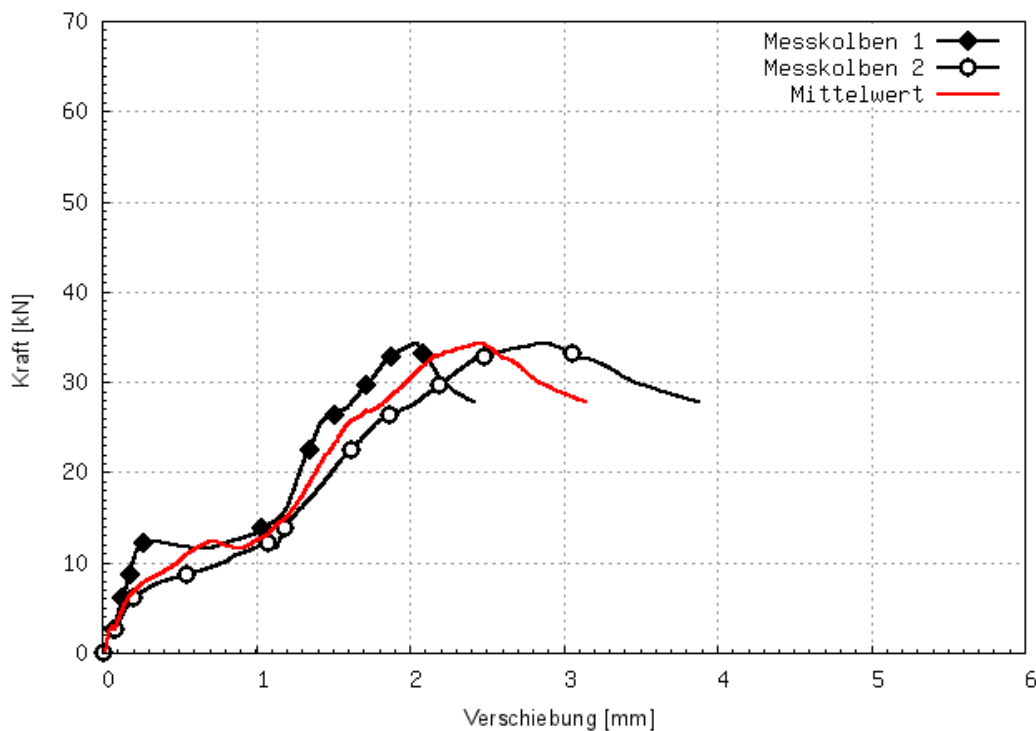
Nummer: A3

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
70x250Q gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch A3: 70x250 gemörtelt



Höchstlast: 34,6 kN	Erste Mörtelrisse: 26,6 kN	Erste Betonrisse: 34,6 kN
Erwartungswerte aus Berechnungen		Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse
Nach Norm CEN/TS 1992-4	29,6kN	16,89
Nach Berechnungsprogrammen	38,3kN	10,69
Nach Elgehausen	29,5kN	17,29

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

Erste Risse im Mörtelbett hinten bei 2,6 mm Kolbenweg, Risse im Beton erst bei Höchstlast und 3,73 mm Kolbenweg, rechter Dübel verbogen, Zuglasche dreht sich leicht, Beton auf rechter Seite platzt weit vor linker Seite ab, Betonkörper wird komplett ausgerissen.

Bilder Rissverlauf

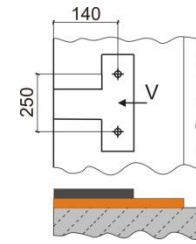


Bilder Ausbruchkörper

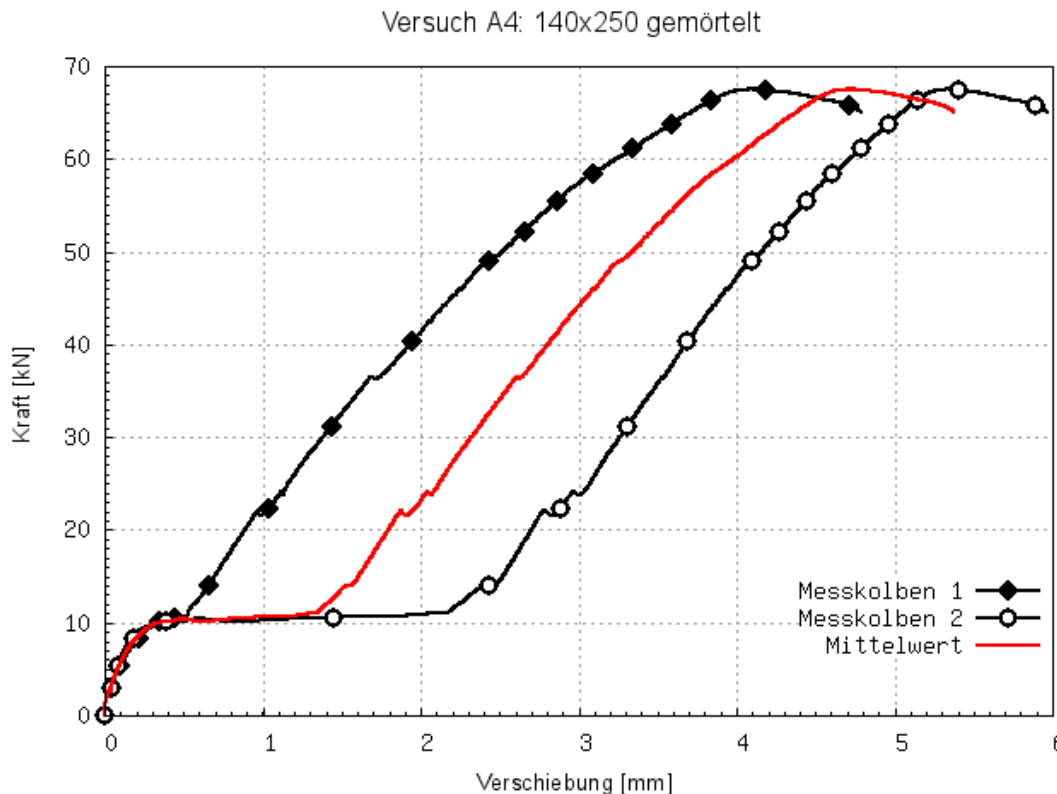


Nummer: A4

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
140x250Q gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



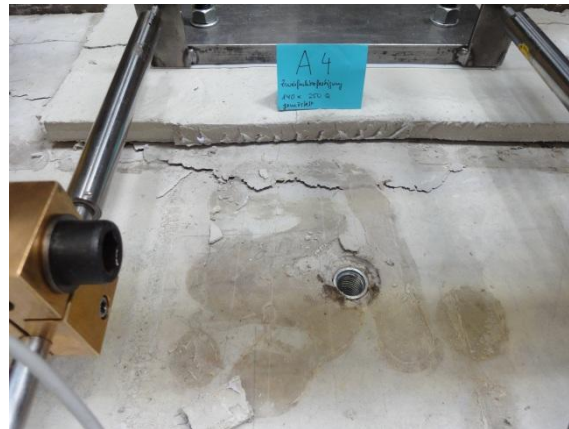
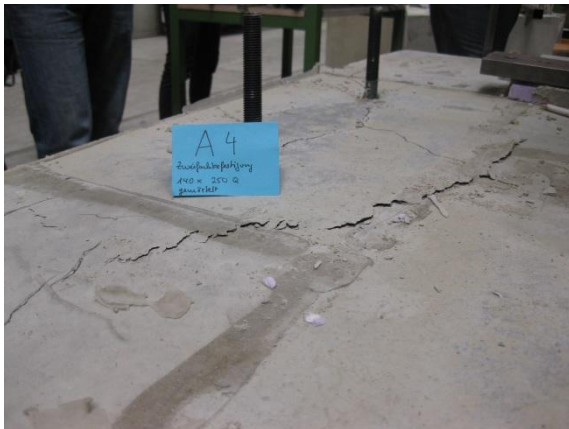
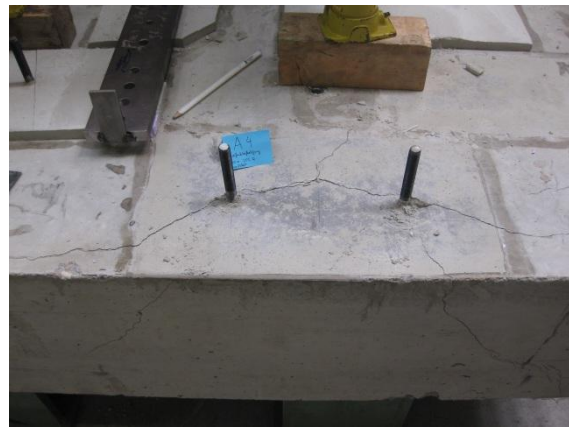
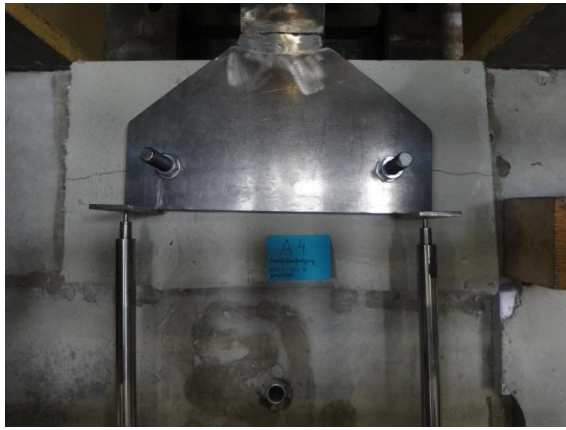
Höchstlast: 67,5 kN	Erste Mörtelrisse: 23,0 kN	Erste Betonrisse: 67,5 kN
Erwartungswerte aus Berechnungen		Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse
Nach Norm CEN/TS 1992-4	58,5kN	15,38
Nach Berechnungsprogrammen	75,9kN	12,44
Nach Elgehausen	66,3kN	1,81

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

Lochspiel ca. 0,7-1,9 mm, erste Risse im Mörtelbett hinten bei einem Kolbenweg von 3,05 mm, erste Risse im Beton erst nach Erreichen der Höchstlast, zum Teil rückwärtiger Betonausbruch als Versagensart, Zuglasche verdreht sich.

Bilder Rissverlauf

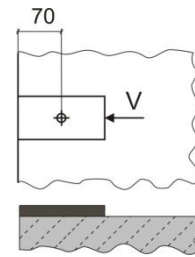


Bilder Ausbruchkörper

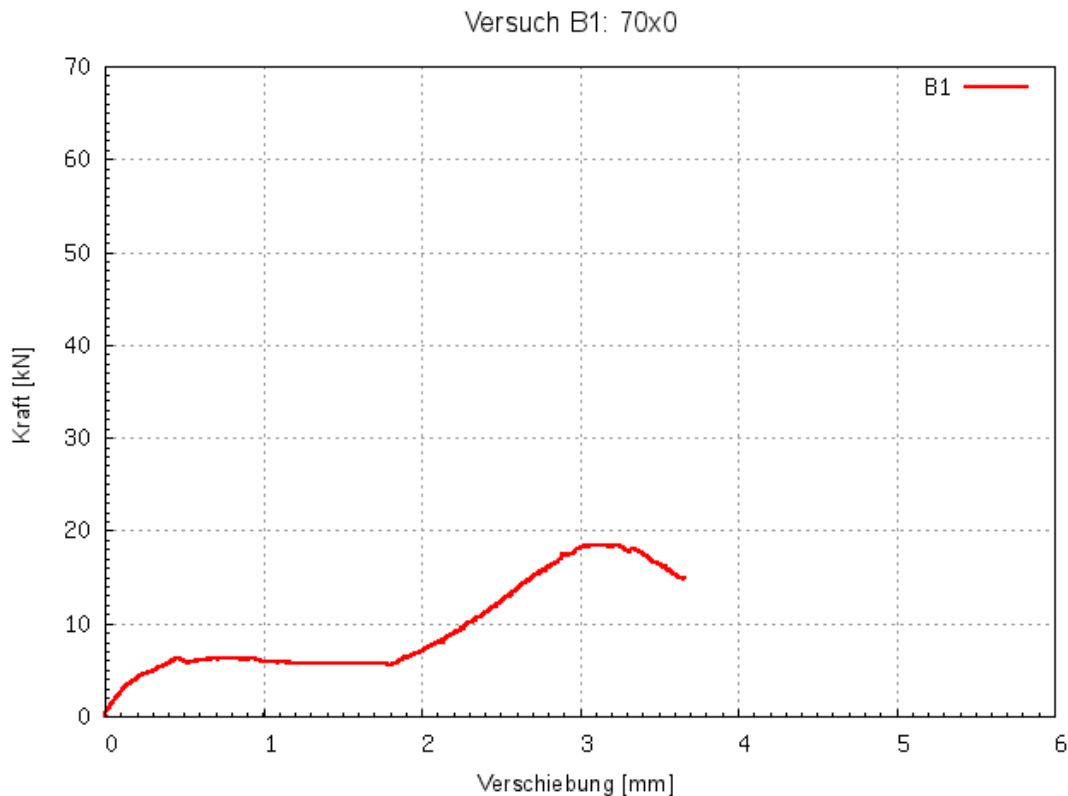


Nummer: B1

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
70x0 ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 18,4 kN

Erste Mörtelrisse:
-

Erste Betonrisse: 18,4 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

18,0kN
19,1kN
16,5kN

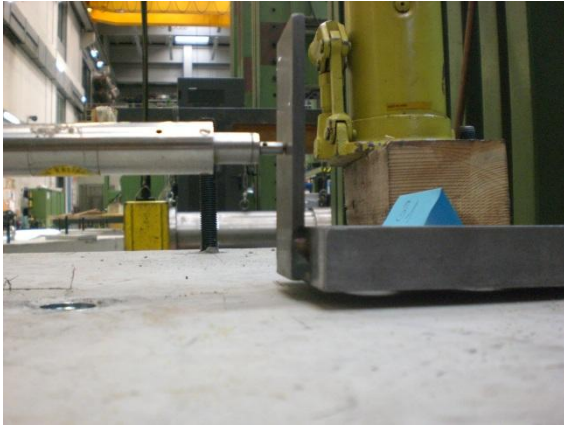
2,22
3,80
11,51

Versuchsbeschreibung:

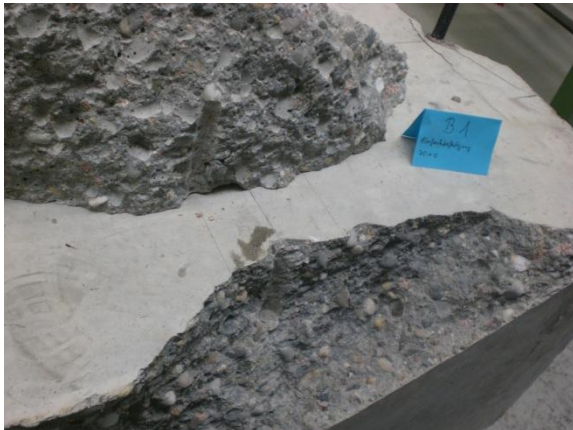
HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553

Betonplatte liegt zu Beginn des Versuchen nicht an Auflager an, Last nimmt anfangs ab, da sich Platte nach vorne schiebt (ca. 1,3 mm Spiel), Zugschwert hebt sich im Bereich des Wegaufnehmers

Bilder Versuchsab- und Rissverlauf

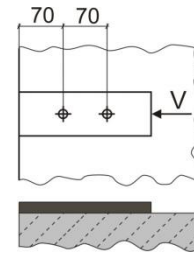


Bilder Ausbruchkörper

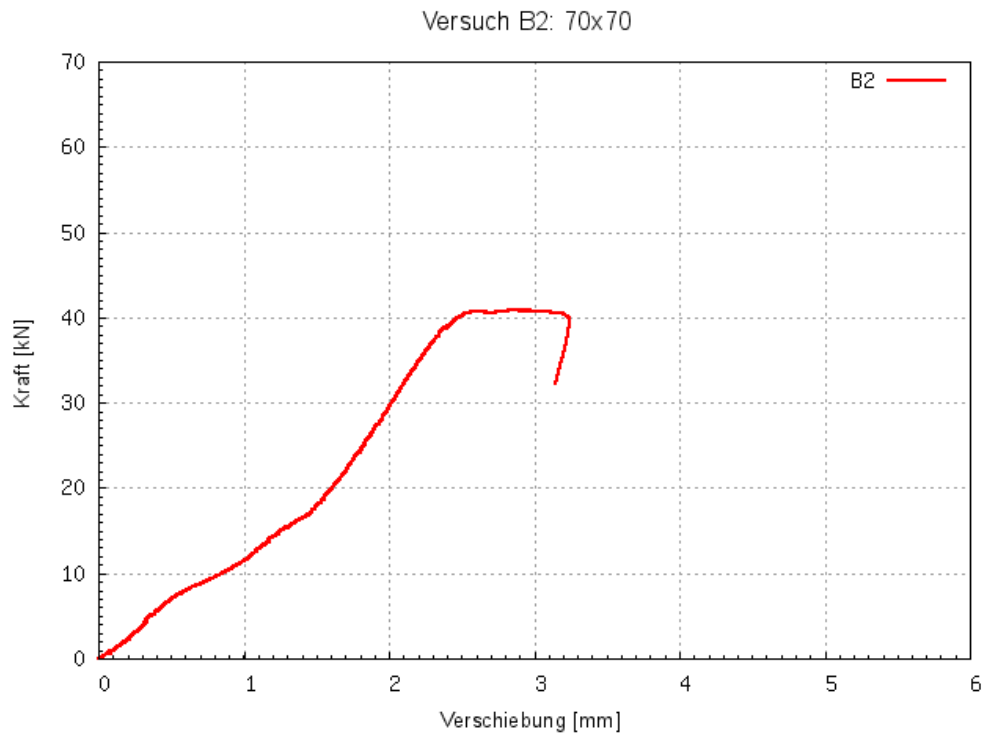


Nummer: B2

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
70x70L ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 40,7 kN

Erste Mörtelrisse: -

Erste Betonrisse: 37,6 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

18,0kN
19,1kN
16,5kN

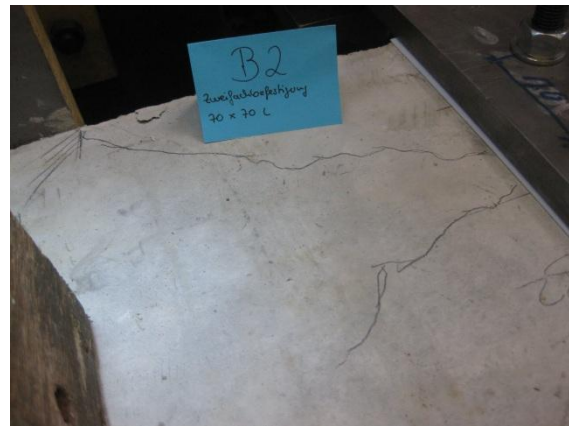
126,11
113,09
146,67

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553

Zugschwert hebt sich im Bereich des Wegaufnehmers, erste Betonrisse bei 4,17mm Kolbenweg, Risse gehen zuerst und fast ausschließlich von hinten aus.

Bilder Versuchsab- und Rissverlauf

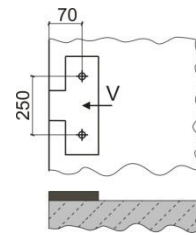


Bilder Ausbruchkörper



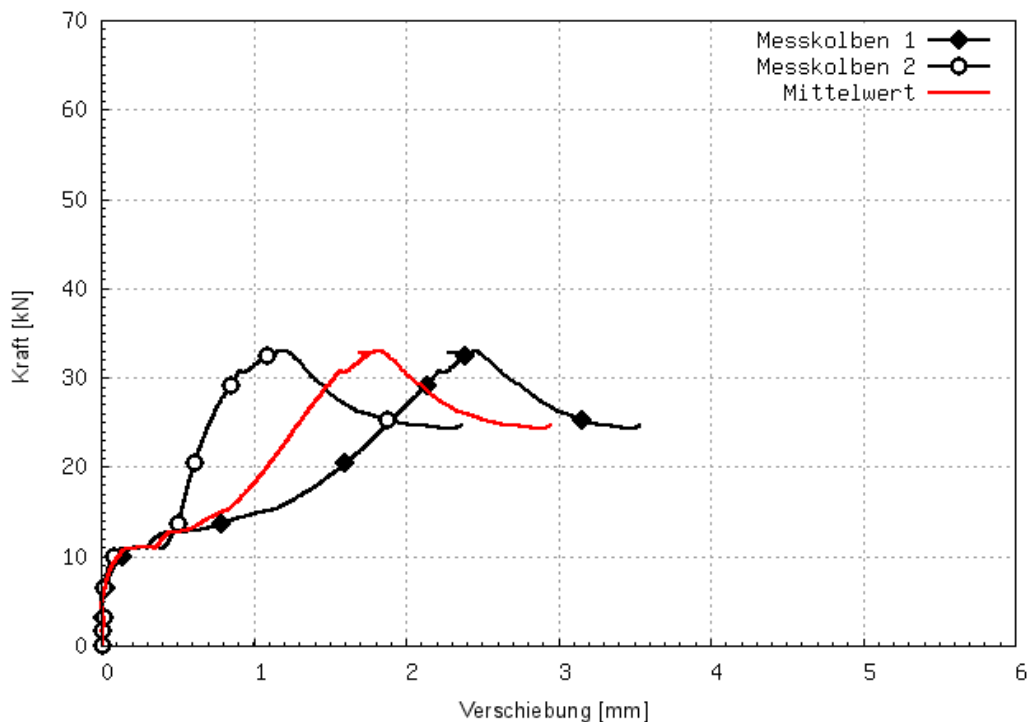
Nummer: B3

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
70x250Q ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch B3: 70x250



Höchstlast: 33,0 kN

Erste Mörtelrisse:
-

Erste Betonrisse: 25,00 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

36,0kN
38,3kN
33,0kN

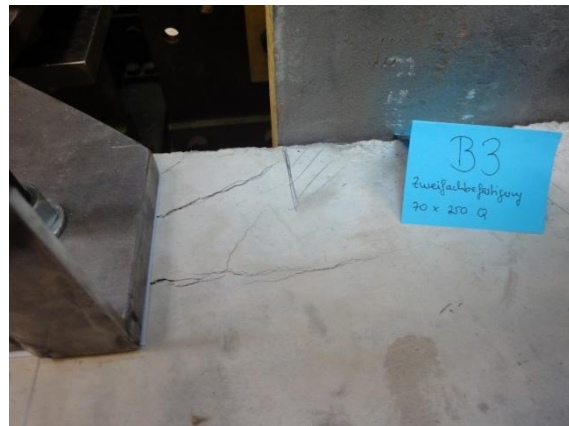
9,09
16,06
0,00

Versuchsbeschreibung:

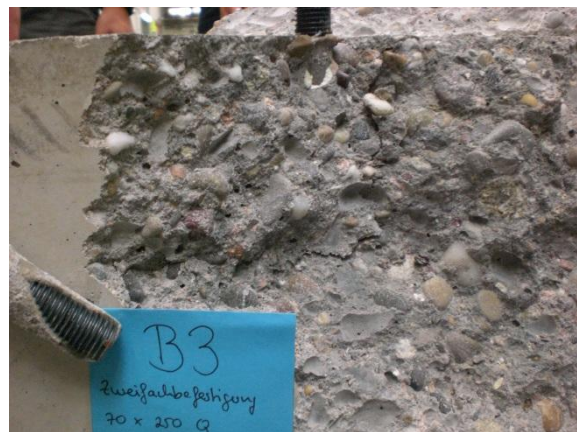
HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240;
Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm;
Vergussmörtel SikaGrout-553

Eventuell Rissüberlappung aus Vorversuch B2

Bilder Rissverlauf

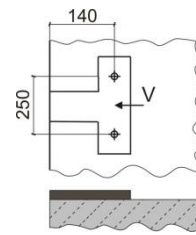


Bilder Ausbruchkörper

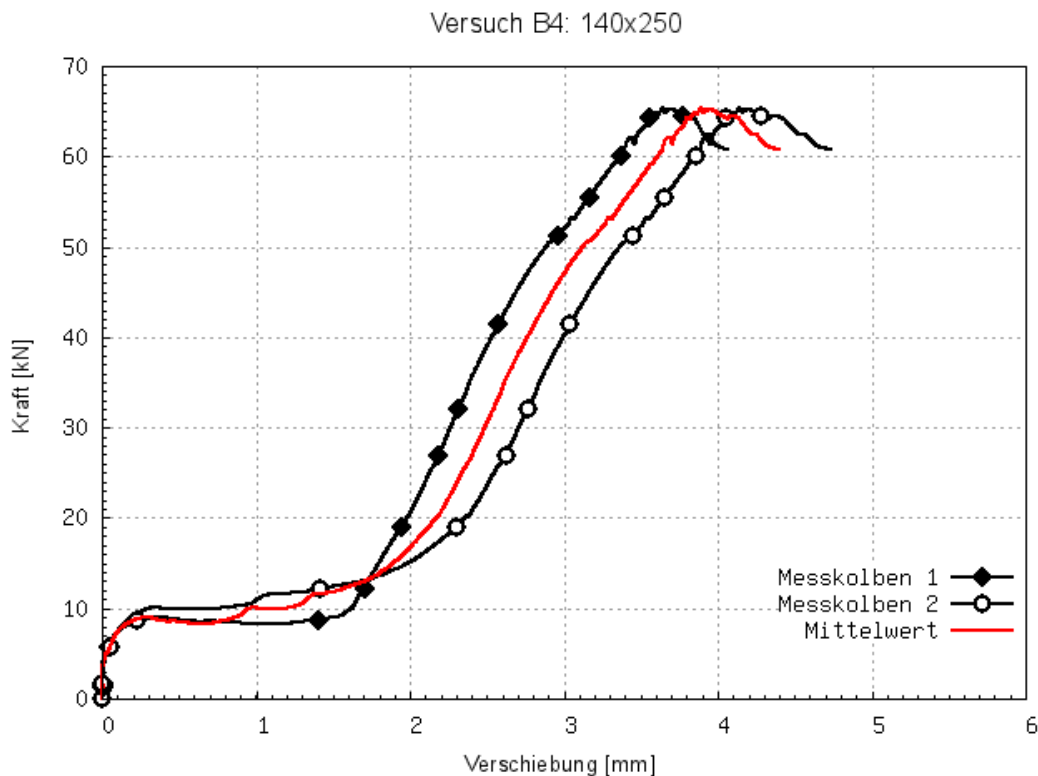


Nummer: B4

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
140x250Q ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 66,0 kN

Erste Mörtelrisse:
-

Erste Betonrisse: 64,2 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

71,4kN
75,9kN
74,5kN

8,18
15,0
12,87

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553

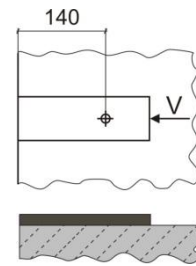
Deutlich vernehmbares Knacken bei 11,5 kN → Schlupf, Betonplatte zieht sich heran.

Bilder Rissverlauf

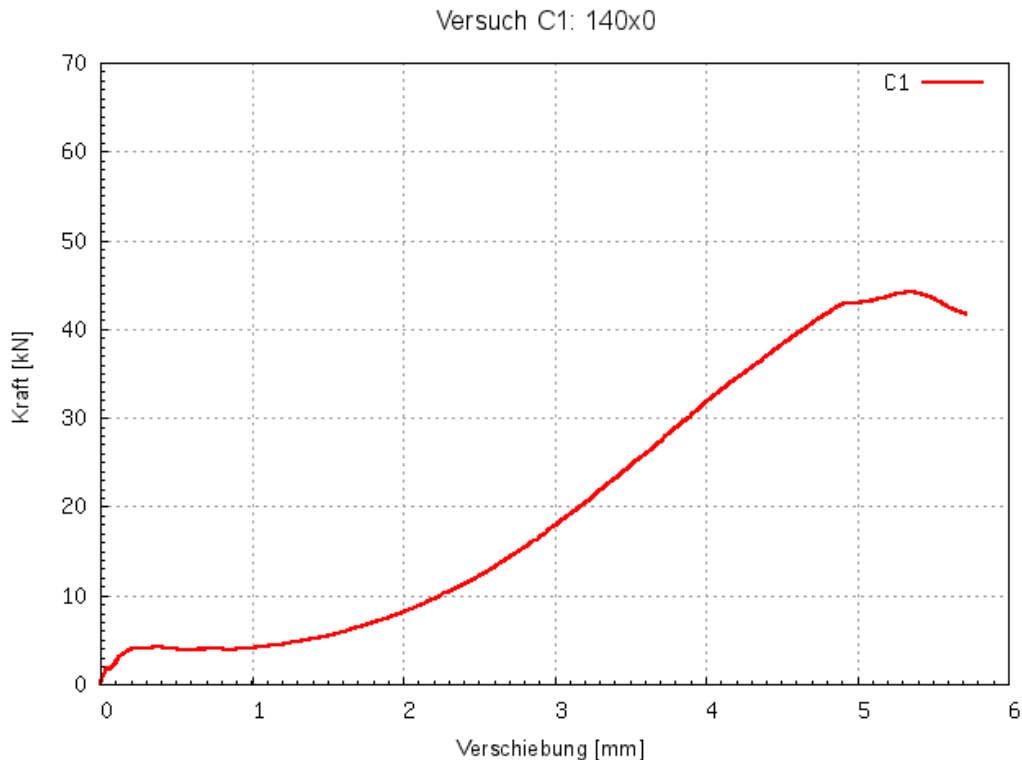


Nummer: C1

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
140x0 ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 44,2 kN

Erste Mörtelrisse:
-

Erste Betonrisse: 41,0 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Eligehausen

44,8kN
47,6kN
46,7kN

1,36
7,69
5,66

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553

Betonkörper bricht zuerst auf linker Seite aus, auf der auch zuerst die Risse kamen.

Bilder Rissverlauf

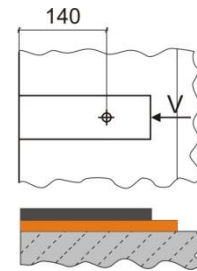


Bilder Ausbruchkörper



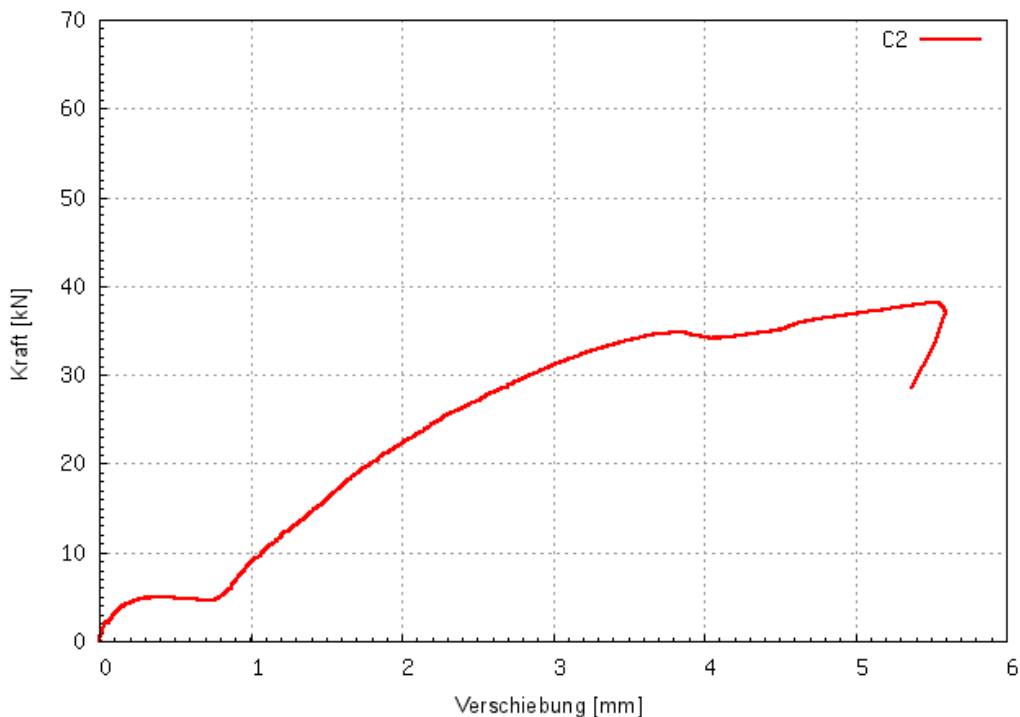
Nummer: C2

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
140x0 gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch C2: 140x0 gemörtelt



Höchstlast: 38,0 kN

Erste Mörtelrisse: 2,0 kN

Erste Betonrisse: 34,5 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

36,7kN
47,6kN
41,6kN

3,54
25,26
9,47

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

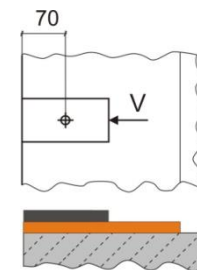
Risse im Mörtel ab 2 kN, Mörtelbett bei 16,0 kN komplett durchgerissen, Mörtelbett schiebt sich nach vorne, hierdurch entsteht ein zusätzlicher Reibanteil, vorzeitiger Abbruch des Versuches um Folgeversuche nicht zu beeinflussen.

Bilder Rissverlauf

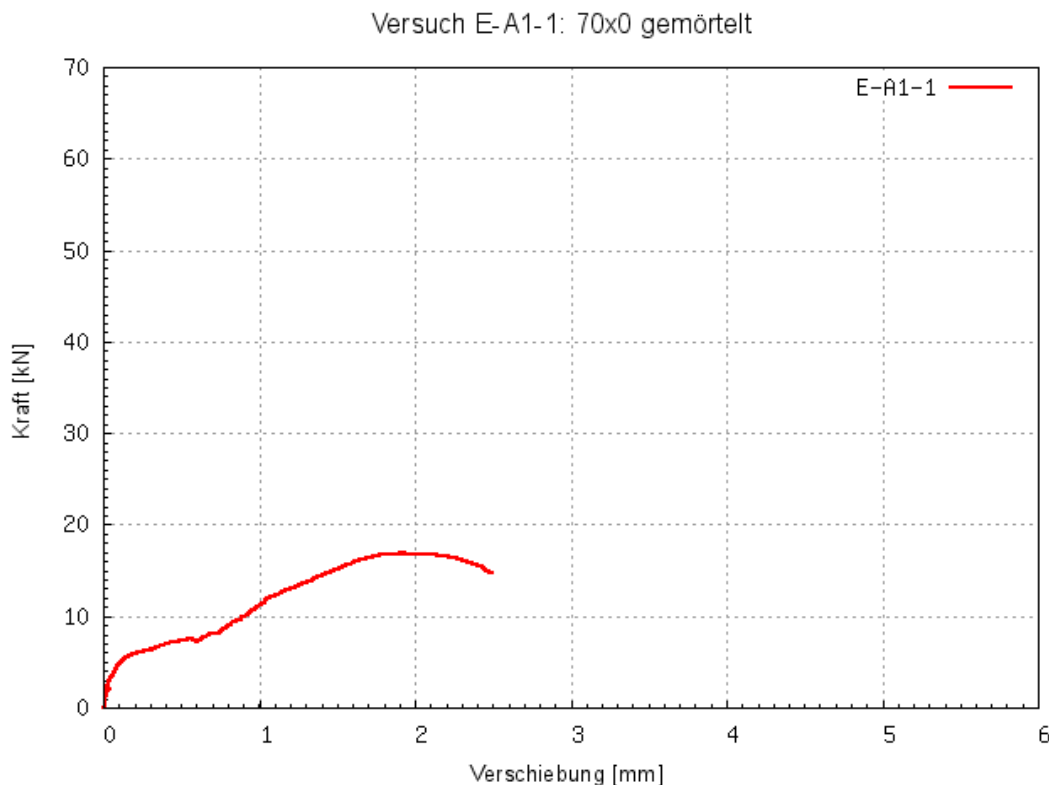


Nummer: E-A1-1

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
70x0 gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 16,8 kN

Erste Mörtelrisse:
3,3 kN

Erste Betonrisse: 16,5 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

14,8kN
19,1kN
14,7kN

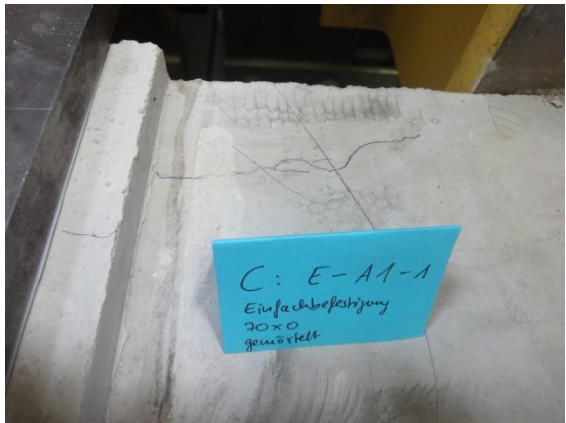
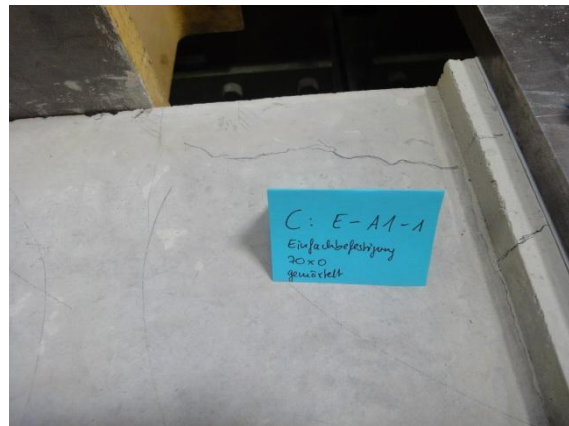
13,51
13,69
14,29

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

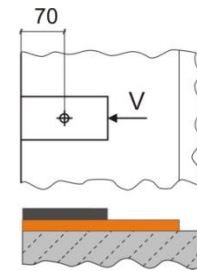
Vorzeitig abgebrochen um folgende Versuche nicht zu beeinflussen.

Bilder Rissverlauf



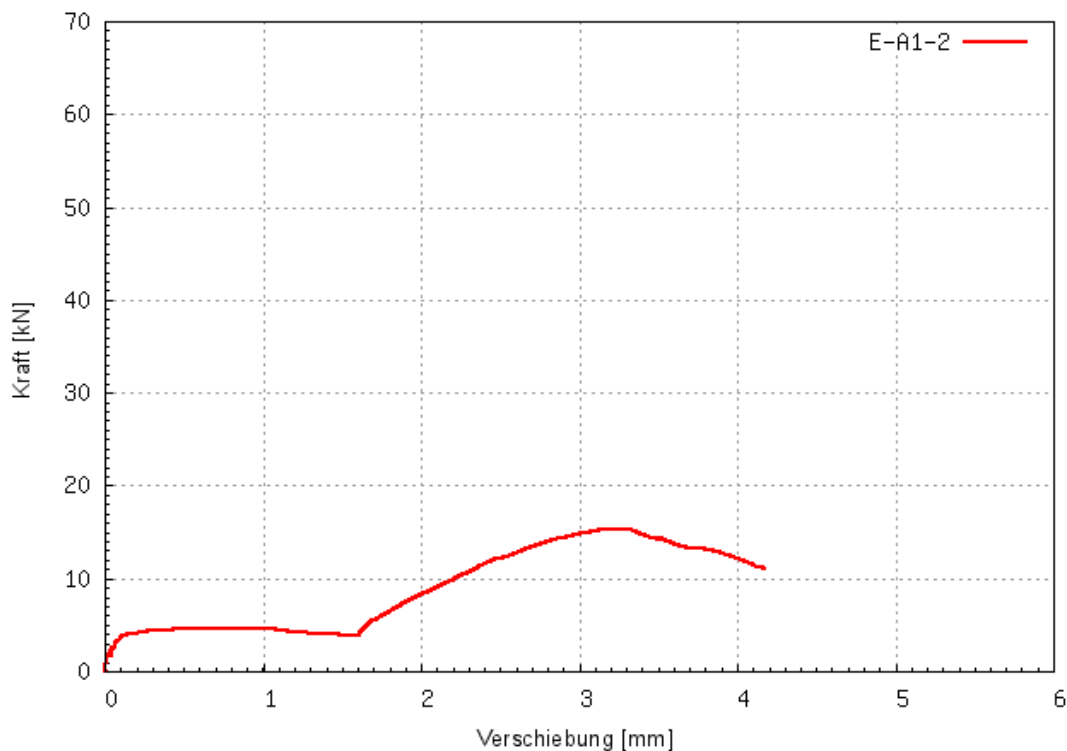
Nummer: E-A1-2

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
70x0 gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch E-A1-2: 70x0 gemörtelt



Höchstlast: 15,3 kN

Erste Mörtelrisse:
3,0 kN

Erste Betonrisse: 15,3 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

14,8kN
19,1kN
14,7kN

3,38
24,84
4,08

Versuchsbeschreibung:

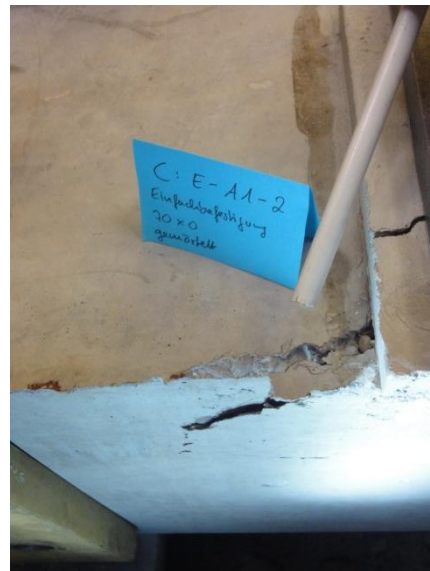
HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

Erste Risse im Beton erst bei Erreichen der Höchstlast

Bilder Rissverlauf

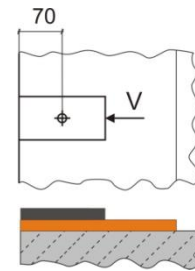


Bilder Ausbruchkörper

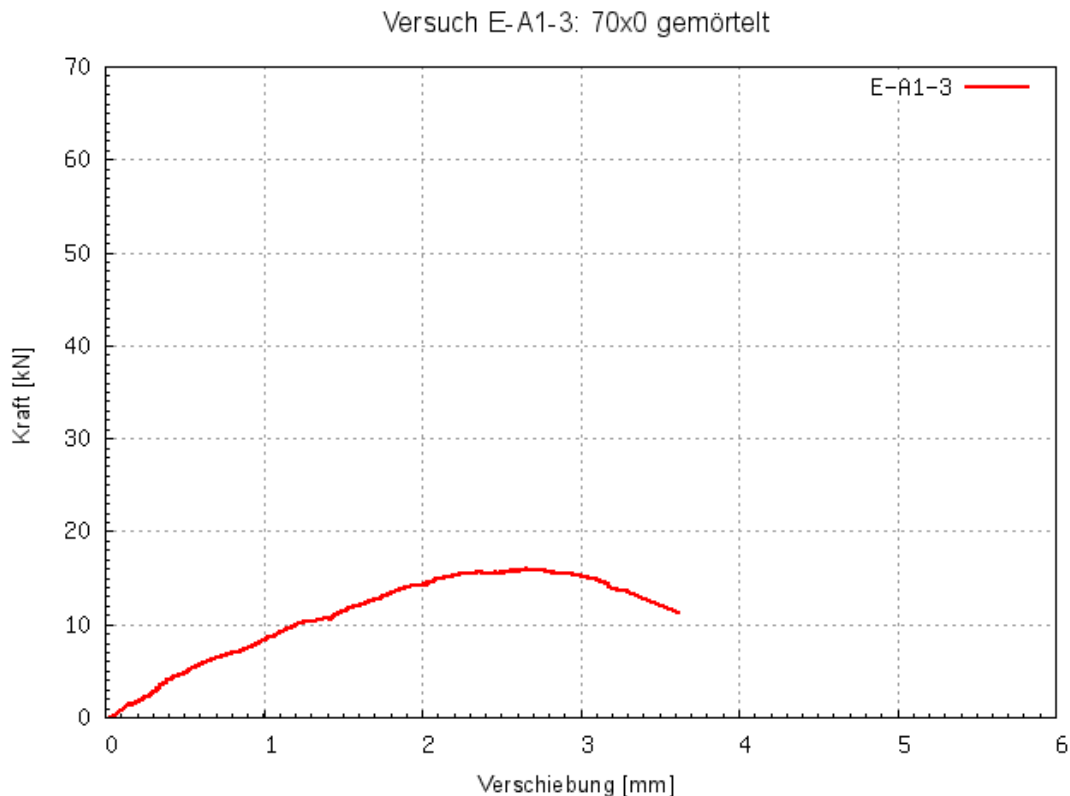


Nummer: E-A1-3

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
70x0 gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 16,0 kN

Erste Mörtelrisse:
14,4 kN

Erste Betonrisse: 15,6 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

14,8kN
19,1kN
14,7kN

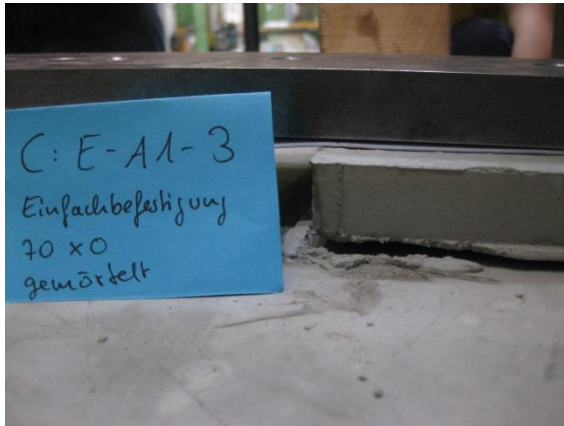
8,11
19,38
8,84

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

Mörtelbett hebt sich ab und schiebt sich vor, Asymmetrischer Ausbruchkörper

Bilder Rissverlauf

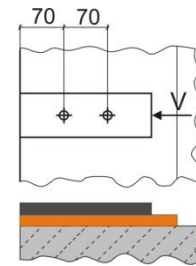


Bilder Ausbruchkörper



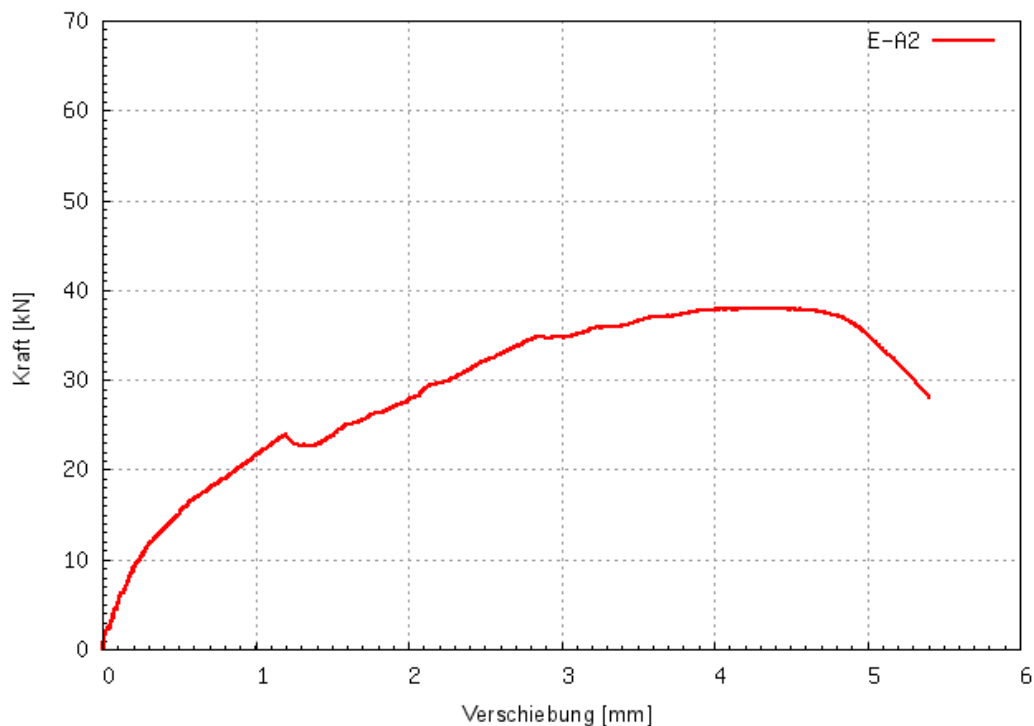
Nummer: E-A2

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
70x70L gemörtelt



Last-Verschiebungskurve:

Versuch E-A2: 70x70 gemörtelt



Höchstlast: 38,0 kN

**Erste Mörtelrisse:
23,9 kN**

Erste Betonrisse: 34,9 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

**Abweichung [%] zu
Versuchsergebnisse**

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

14,8kN
19,1kN
14,7kN

156,76
98,95
158,50

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553; Mörtelschicht 20 mm

Vorschädigung des Mörtelbettes durch Schwindrisse, Erste Risse im Mörtel bei vorderem Dübel bei 23,9 kN und 2,10 mm Weg, bei 33 kN beginnt Mörtelbett sich abzuheben, erste Betonrisse bei 4,1 mm Weg (vorderer Dübel), bei 37,8 kN und 5,48 mm Weg zweite Risse bei hinterem Dübel, Rückwärtiger Betonausbruch sichtbar, daraufhin Versuch vorzeitig abgebrochen

Bilder Rissverlauf

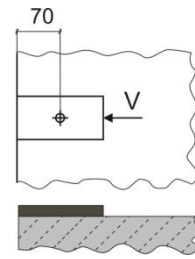


Bilder Ausbruchkörper

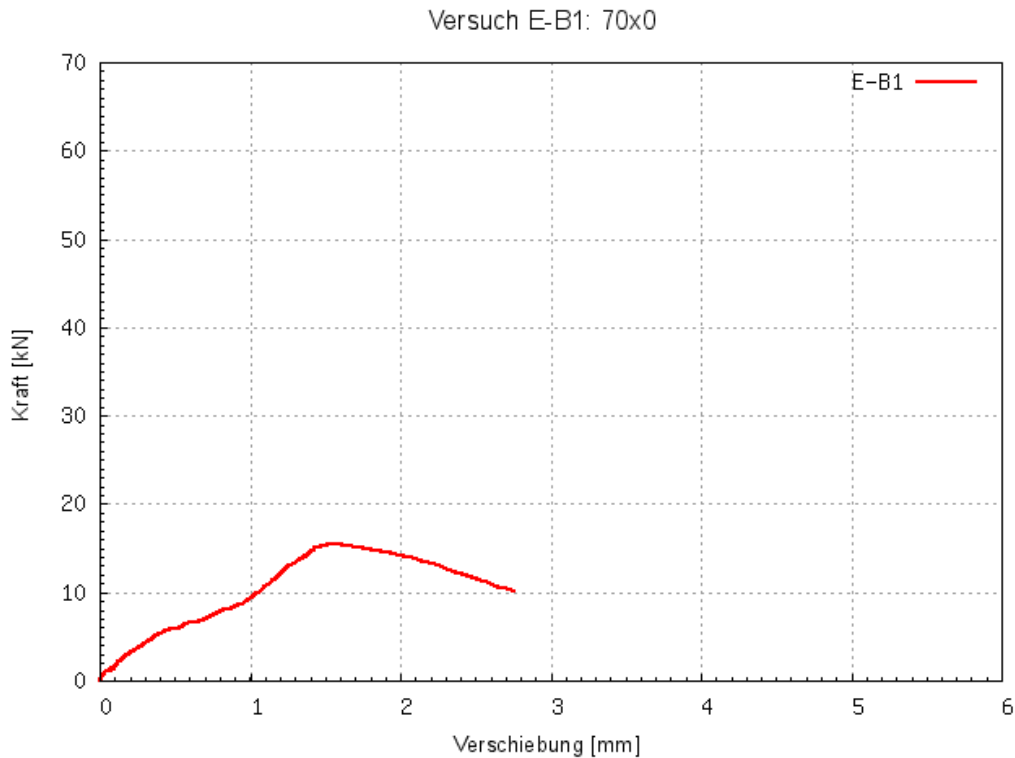


Nummer: E-B1

Bezeichnung:
Einfachbefestigung
70x0 ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 15,5 kN

Erste Mörtelrisse:
-

Erste Betonrisse: 14,0 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

18,0kN
19,1kN
16,5kN

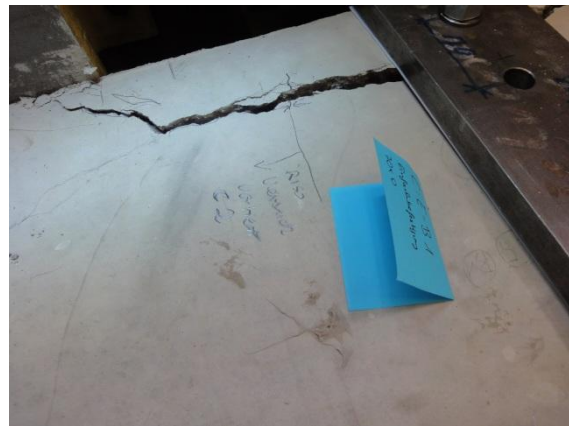
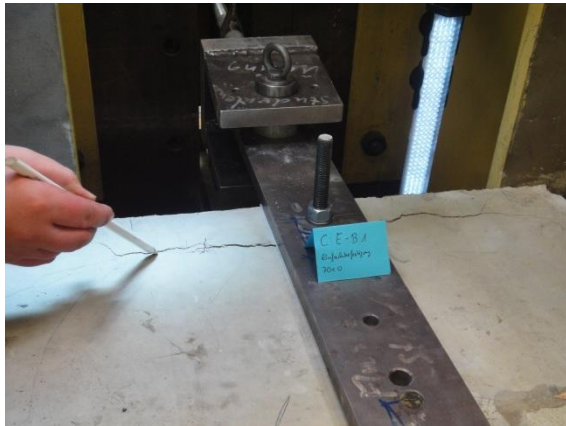
16,13
23,23
6,45

Versuchsbeschreibung:

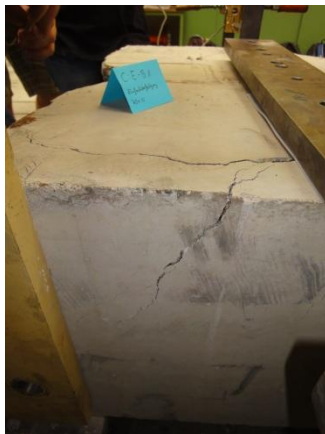
HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553

Nur ein Wagenheber zum Fixieren verwendet, Evtl. Rissüberlagerung mit Vorversuch C2

Bilder Rissverlauf

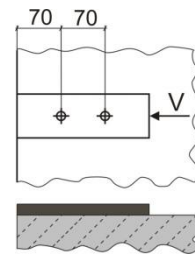


Bilder Ausbruchkörper

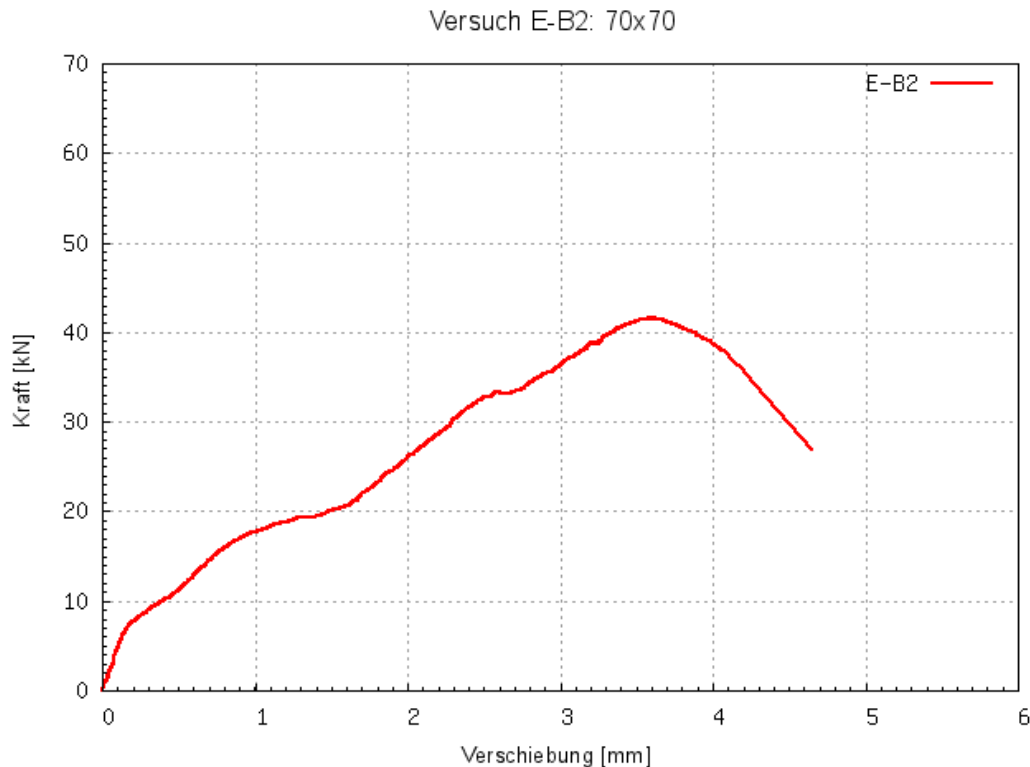


Nummer: E-B2

Bezeichnung:
Zweifachbefestigung
70x70L ungemörtelt



Last-Verschiebungskurve:



Höchstlast: 41,5 kN

Erste Mörtelrisse:
-

Erste Betonrisse: 32,3 kN

Erwartungswerte aus Berechnungen

Abweichung [%] zu Versuchsergebnisse

Nach Norm CEN/TS 1992-4
Nach Berechnungsprogrammen
Nach Elgehausen

18,0kN
19,1kN
16,5kN

130,56
117,28
151,52

Versuchsbeschreibung:

HILTI TE 55; Durchmesser Bohraufsatz 18,5 mm; Ausblasgerät TAB 240; Verbundmörtel WIT-VM 200; Gewindestange M16 10.9; Einbindetiefe 80mm; Vergussmörtel SikaGrout-553

Eventuell Rissüberlappung aus Vorversuch B3, erste Betonrisse gehen von vorderem Dübel aus, bei 41,5 kN auch Riss von hinterem Dübel ausgehend.

Bilder Rissverlauf

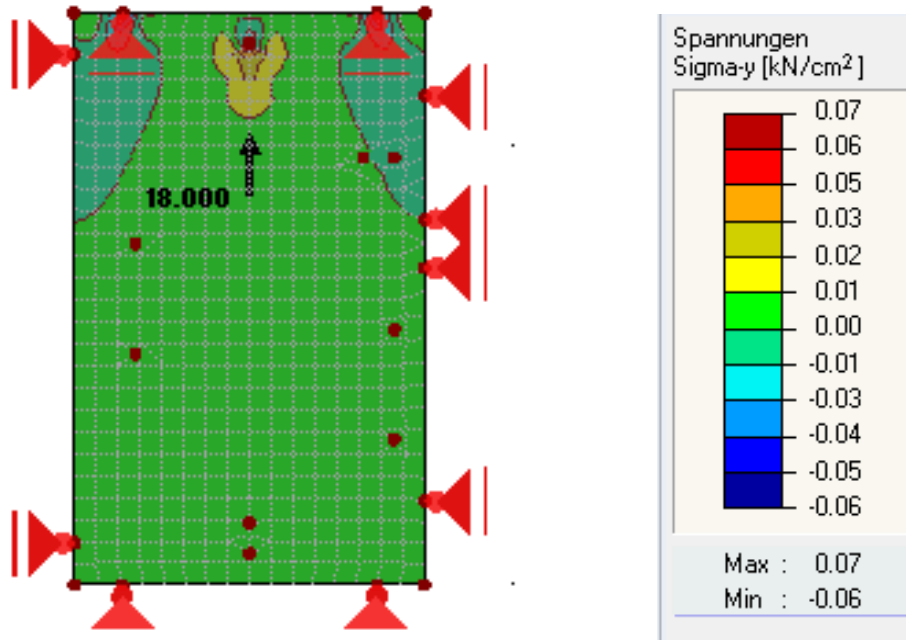


Bilder Ausbruchkörper

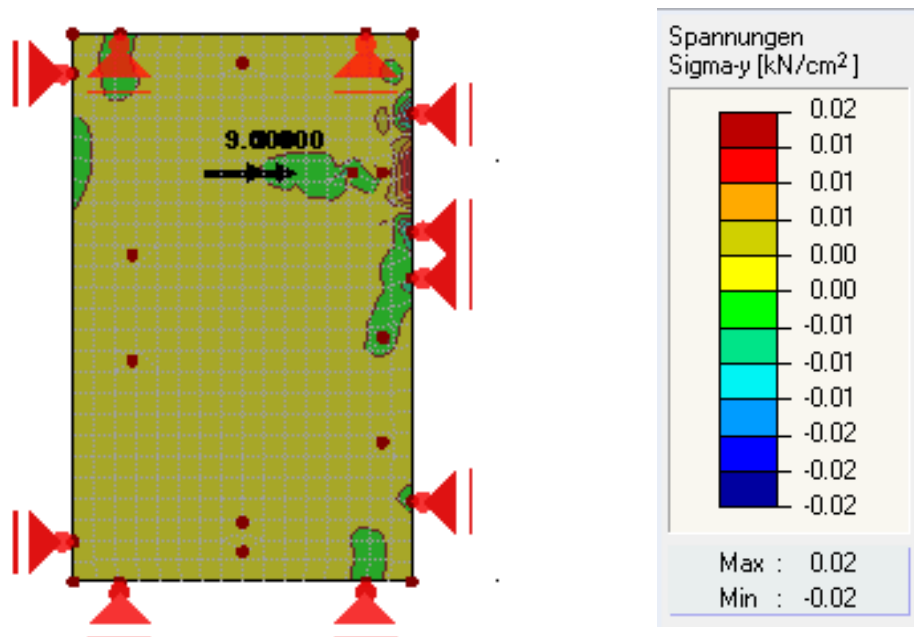


A.3 Spaltnachweis der Betonplatte

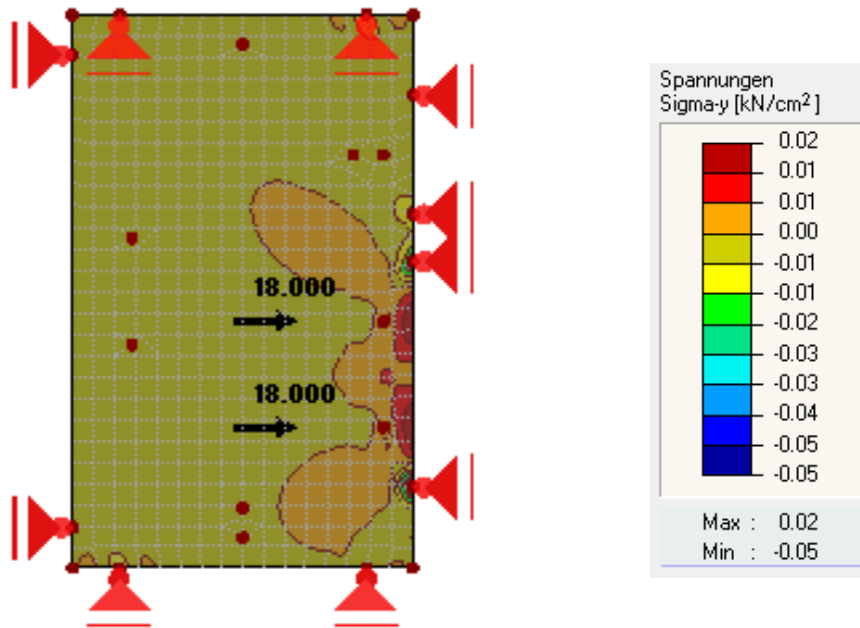
- Einzelbefestigung 70x0



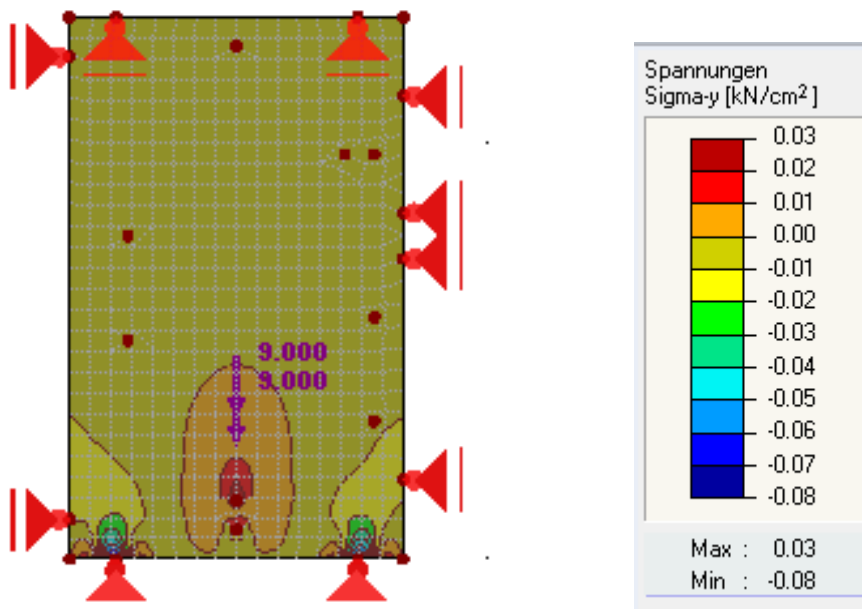
- Zweifachbefestigung 70x70



- Zweifachbefestigung 70x250



- Zweifachbefestigung 70x70



Bei jeder Befestigung sind die Spannungen minimal.

A.4 Agendas

Agenda 3. Mai 2012:

1. Berechnungsergebnisse
 - a. Programme (Roman, Sebastian)
 - b. Rechnung nach Norm (Philipp, Marc, Mirka, Andreas)
 - c. Rechnung nach Eilighausen (Patrick, Susanne, Guzman, Finkbeiner)
 2. Versuchsplanung
 - a. Dübel
 - b. Betonplatten
 - c. Versuchsanordnung
 3. Aktualisierung Projektplan, Terminabsprachen
 4. Sonstiges
-

Agenda 9. Mai 2012:

1. Rechenergebnisse grafische Darstellung (Sebastian)
 2. Versuchsdurchführung:
 - a. Versuchsanordnung auf den Betonplatten (Andreas, Philipp, Mirka)
 - b. Versuchsmatrix (Andreas, Philipp, Mirka)
 - c. Spaltberechnung (Marc)
 - d. Mörtelauswahl (Susanne)
 - e. Mörtelanordnung (Philipp)
 - f. Aufgabenverteilung am Versuchstag (Fotos, Ergebnisdokumentation, Dübel setzen, etc)
 3. Aktualisierung Projektplan
 4. Sonstiges
-

Agenda 23. Mai 2012:

1. Versuchsdurchführung
 - a. Versuchstermine: Einteilung der Gruppe für Freitag und ggf. Montag
 - b. Aktualisierte Versuchsanordnung der Betonplatten#
 - c. Stand der Betonierten Platten
 - d. Umbau der Versuchsplatten möglich?
 - e. Materialbeschaffung
 - i. MPA
 - ii. Fließmörtel
 - f. Versuchsprotokollierung
 - i. Fotos
 - ii. Schilder
 - iii. Messungen
 - iv. Etc
 - g. Versuchsergebnisse live Abgleich: Excel-Tabelle; % Abweichung, ab wann Wiederholung?
2. Dokumentation des Projektes
 - a. Aufteilung der einzelnen Kapitel und Unterkapitel
3. Berechnungen
 - a. Aktualisierung der Eilighausen Ergebnisse
4. Aktualisierung des Projektplans mit neuen Versuchsterminen
5. Sonstiges

Agenda 13. Juni 2012:

1. Versuchsdurchführung
 - a. Freitag:
 - i. Reihenfolge Mörtel, Bohrungen
 - ii. Setzwerkzeug vorhanden, Bürsten?
 - iii. Material vorhanden?
 - iv. Aufgabenverteilung / Anwesenheit
 - v. Treffpunkt
 - b. Montag
 - i. Versuchsdurchführung
 - ii. Versuchsprotokolle
 - iii. Versuchsablaufplan
 - iv. Aufgabenverteilung / Anwesenheit
 - v. Wiederholung eines Versuches
 - vi. Ergebniserfassung
 - vii. Versuchsergebnisse: live Abgleich
2. Dokumentation des Projektes
 - a. Aktueller Stand
 - b. Aufteilung der nächsten Kapitel
3. Berechnungen
 - a. Aktualisierung der Eilighausen Ergebnisse
4. Aktualisierung des Projektplans mit neuen Versuchsterminen
5. Besprechungstermine nach den Versuchen
6. Termin Kolloquium
7. Sonstiges

Agenda 20. Juni 2012:

1. Versuche
 - a. Versuchsdaten
 - b. Fotos
2. Dokumentation des Projektes
 - a. Aktueller Stand
 - b. Aufteilung der nächsten Kapitel
3. Berechnungen
 - a. Aktualisierung der Ergebnisse auf neue Betonfestigkeit
4. Besprechungstermine in den nächsten Wochen
5. Kolloquium
 - a. Termin: 18.6.2012
 - b. Vortrag
6. Sonstiges

Agenda 13. Juni 2012:

1. Fehlende Versuchsinformationen (Termin im Labor zu Nachbereitung, falls notwendig)
 - a. Fotos
 - b. Maße
2. Endergebnisse Berechnungen
 - a. Präsentation der endgültigen Werte
3. Dokumentation des Projektes
 - a. Aktueller Stand der einzelnen Kapitel, Reklamationen
 - b. Präsentation und Diskussion der Versuchs-Diagramme
 - c. Themen für Vergleich der Versuchsergebnisse
 - d. Überlagerung der zu vergleichenden Diagramme
 - e. Themen für den Anhang
 - f. Versuchsprotokolle
4. Vortragsthemen
5. Sonstiges

Agenda 4. Juli 2012:

1. Dokumentation des Projektes
 - a. Fehlende Infos/Fotos für Ausarbeitung
 - b. Endergebnisse aller Berechnungen
 - c. Erstellung Diagramme
 - i. Ordnerstruktur
 - ii. Deathline
 - d. Versuchsprotokolle
 - e. Interpretation der Versuchsergebnisse
 - i. Präsentation der bisherigen Ergebnisse
 - ii. Gemeinsame Diskussion über Versuchsergebnisse
 - iii. Sammlung weitere Themenideen
 - f. Korrektur der Ausarbeitung
 - g. Drucktermin
2. Vortragsthemen
3. Druck der Ausarbeitung
4. Termin Kolloquium, Zeitfenster
5. Sonstiges

Agenda 11. Juli 2012:

1. Stand der Ausarbeitung
2. Regeln der Formatierung/Ordnung Dropbox
3. Literaturverzeichnis
4. Stichwortsammlung Fazit
5. Themen der Präsentation /Termin Fertigstellung
6. Druck

A.5 Werkstoffe

Anbei die Datenblätter der Werkstoffe des Betons, des Vergussmörtels und die Montageanleitung.

Zusätzliche Datenblätter und weitere Informationen finden Sie auf der CD-ROM.