

**Tragverhalten von Verbunddübeln
unter zentrischer Belastung im ungerissenen Beton –
Gruppenbefestigungen und Befestigungen am Bauteilrand**

Von der Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Bernhard Lehr
aus Freiburg im Breisgau

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen
Mitberichter: o. Univ.-Prof. Dipl. Ing. DDr. K. Bergmeister
Tag der mündlichen Prüfung: 8. Februar 2002

Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart

2003

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart und wurde in dankenswerter Weise von den Firmen fischerwerke, Waldachtal, Hilti AG, Schaan/Liechtenstein und Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau gefördert.

Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen gilt mein herzlicher Dank für die Betreuung dieser Arbeit, seine wertvollen Ratschläge und Anregungen sowie die Übernahme des Hauptberichtes.

Prof. DDr.-Ing. K. Bergmeister danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Mitberichtes.

Weiterhin danke ich Dr.-Ing. Y. Li und Prof. Dr.-Ing. habil J. Ozbolt für die Unterstützung bei der Durchführung der numerischen Untersuchungen. Dipl.-Ing. B. M. Schlottke und Herrn D. Wiedemann sowie Dipl.-Ing. J. Hilt, Dipl.-Ing. A. Kummerow, Dipl.-Ing. M. Opferkuch und Dipl.-Ing. S. Wagner danke ich für die Unterstützung bei den experimentellen Untersuchungen. Meinen Kollegen Dr.-Ing. J. Asmus und Dr.-Ing. J. Meszaros danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Schließlich danke ich meiner Frau Lisa für ihre Geduld während der Fertigstellung dieser Arbeit in den vergangenen Jahren.

Freiburg, im Mai 2003

Bernhard Lehr

INHALT

1	EINLEITUNG	1
2	STAND DER KENNTNISSE	2
2.1	Verbunddübelssysteme	2
2.1.1	Allgemeines	2
2.1.2	Patronensysteme	6
2.1.3	Injektionssysteme	8
2.1.4	Installation von Verbunddübeln	10
2.1.4.1	Herstellung des Bohrloches	10
2.1.4.2	Reinigung des Bohrloches	11
2.1.4.3	Setzen der Ankerstange	13
2.2	Tragverhalten von Verbunddübeln	15
2.2.1	Verbundfestigkeit	15
2.2.2	Versagen von Verbunddübeln	16
2.2.2.1	Einzeldübel mit großem Randabstand	16
2.2.2.2	Einzeldübel am Bauteilrand	17
2.2.2.3	Gruppenbefestigungen	18
2.2.3	Last-Verschiebungsverhalten	18
2.2.3.1	Last-Verschiebungsverhalten von Einzeldübeln	18
2.2.3.2	Verschiebungsverhalten unter Dauerlast	19
2.2.4	Einflüsse auf das Tragverhalten von Verbunddübeln	20
2.2.4.1	Einfluß der Mörtelart	20
2.2.4.2	Einfluß der Ankergeometrie	21
2.2.4.3	Einfluß der Betonfestigkeit	21
2.2.4.4	Einfluß der Temperatur	22

2.3	Tragverhalten von Einzeldübeln	24
2.3.1	Vorhandene numerische Untersuchungen an Einzelverbunddübeln	24
2.3.1.1	Untersuchungen von McVay, Cook und Krishnamurthy	24
2.3.1.2	FE-Simulationen von Pukl, Ozbolt (1997)	27
2.3.1.3	Finite-Elemente-Analysen von Meszaros, Ozbolt, Jebera (1999)	29
2.3.1.4	FE-Untersuchungen von Unterweger und Bergmeister	30
2.3.2	Vorhandene experimentelle Untersuchungen mit Einzeldübeln	32
2.3.2.1	Versuche mit Einzeldübeln in der Bauteilfläche	32
2.3.2.2	Versuche mit Einzeldübeln am Bauteilrand	33
2.3.2.3	Einzelbefestigungen an einem Bauteilrand	33
2.3.2.4	Einzelbefestigungen in der Bauteilecke	33
2.3.2.5	Auswertung der vorhandenen experimentellen Untersuchungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand	33
2.4	Tragverhalten von Gruppenbefestigungen	35
2.4.1	Bruchmechanische Analyse von Verbunddübelgruppen von Schou, Christiansen, Andersen (1996)	35
2.4.1.1	Durchgeführte Berechnungen	35
2.4.1.2	Vergleich der Ergebnisse der numerischen mit den experimentellen Untersuchungen	36
2.4.1.2.1	Versagensarten	36
2.4.1.2.2	Last-Verschiebungsverhalten	38
2.4.1.2.3	Versagenslasten	38
2.4.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der FE-Untersuchungen von Schou, Christiansen, Andersen (1996)	41
2.4.2	Vorhandene experimentelle Untersuchungen mit Verbunddübelgruppen	41
2.4.2.1	Vierfachbefestigungen	41
2.4.2.2	Zweifachbefestigungen	42
2.4.2.3	Auswertung der vorhandenen experimentellen Untersuchungen an Verbunddübelgruppen	43
2.5	Vorhandene Bemessungsmodelle	46
2.5.1	Allgemeines	46

2.5.2	Rehm, Eligehausen, Mallée	46
2.5.3	CC-Methode	49
2.5.4	Kunz, Cook, Fuchs, Spieth (1998)	50
2.5.5	EOTA	52
2.5.6	SIA 179	53
3	NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN	55
3.1	Allgemeines	55
3.2	Verwendetes FE-Programm	55
3.3	Materialparameter	56
3.4	FE-Netze	59
3.5	Durchgeführte Berechnungen	61
3.5.1	Einzeldübel	61
3.5.2	Gruppenbefestigungen	61
3.6	Ergebnisse der FE-Berechnungen	63
3.6.1	Einzeldübel	63
3.6.1.1	Brucharten	63
3.6.1.2	Last-Verschiebungsverhalten	64
3.6.1.3	Bruchlasten	65
3.6.2	Gruppenbefestigungen	66
3.6.2.1	Brucharten	66
3.6.2.2	Last-Verschiebungsverhalten	72
3.6.2.3	Bruchlasten	74
3.7	Auswertung der numerischen Untersuchungen	76
3.8	Zusammenfassung von Abschnitt 3	79

4	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	79
4.1	Allgemeines	79
4.2	Durchgeführte Versuche	80
4.2.1	Versuche mit Einzeldübeln	80
4.2.2	Versuche mit Gruppenbefestigungen	81
4.2.3	Versuche am Bauteilrand und in der Bauteilecke	84
4.3	Versuchsdurchführung	85
4.4	Versuchsergebnisse	90
4.4.1	Allgemeines	90
4.4.2	Einzeldübel in der Bauteilfläche	91
4.4.2.1	Versagensarten	91
4.4.2.2	Last-Verschiebungsverhalten	92
4.4.2.3	Versagenslasten	95
4.4.2.4	Auswertung	98
4.4.2.4.1	Einfluß der geometrischen Parameter auf die Verbundfestigkeit τ_u	98
4.4.2.4.2	Einfluß der Betonfestigkeit auf die Verbundfestigkeit τ_u	103
4.4.2.4.3	Weitere Einflußfaktoren auf die Verbundfestigkeit τ_u	105
4.4.2.5	Vergleich mit numerischen Untersuchungen	106
4.4.2.5.1	Brucharten	106
4.4.2.5.2	Last-Verschiebungsverhalten	107
4.4.2.5.3	Versagenslasten	108
4.4.2.5.4	Abhängigkeit der Verbundfestigkeit τ_u von der Dübelgeometrie	109
4.4.3	Gruppenbefestigungen	110
4.4.3.1	Versagensarten	110
4.4.3.2	Last-Verschiebungsverhalten	118
4.4.3.3	Versagenslasten	123
4.4.3.4	Auswertung	127
4.4.3.4.1	Einfluß des Achsabstandes s	127
4.4.3.4.2	Einfluß der Betonfestigkeit	129

4.4.3.5	Vergleich mit numerischen Untersuchungen	131
4.4.3.5.1	Brucharten	131
4.4.3.5.2	Last-Verschiebungsverhalten	132
4.4.3.5.3	Versagenslasten	133
4.4.3.5.4	Verhältnis der Traglast von Gruppenbefestigungen zur Traglast von Einzelbefestigungen	134
4.4.4	Einzelbefestigungen am Bauteilrand	135
4.4.4.1	Versagensarten	135
4.4.4.2	Last-Verschiebungsverhalten	137
4.4.4.3	Versagenslasten	139
4.4.4.4	Einfluß des Randabstandes c	141
4.4.5	Einzelbefestigungen in der Bauteilecke	142
4.4.5.1	Versagensarten	142
4.4.5.2	Last-Verschiebungsverhalten	142
4.4.5.3	Versagenslasten	143
4.4.5.4	Einfluß des Eckabstandes c	144
4.5	Zusammenfassung der experimentellen Untersuchungen	145
5	VERGLEICH DER GEMESSENEN HÖCHSTLASTEN MIT BISHERIGEN BEMESSUNGSMODELLEN	148
5.1	Allgemeines	148
5.2	Rehm, Elgehausen, Mallée	148
5.3	CC-Methode	153
5.4	SIA 179	157
5.5	Vergleich der ausgewerteten Berechnungsmodelle	162
6	VORSCHLAG FÜR DAS BEMESSEN VON BEFESTIGUNGEN MIT VERBUNDDÜBELN	163
6.1	Berechnung der mittleren Bruchlast	163
6.2	Grenzen des Bemessungskonzeptes	168
6.2.1	Stahlfestigkeit	168

6.2.2	Betont tragfähigkeit	168
6.2.3	Experimenteller Vergleich der Verbund- und der Betont ragfähigkeit	170
7	ZUSAMMENFASSUNG	173
8	OFFENE FRAGEN	174
9	ENGLISCHE KURZFASSUNG	175
9.1	Introduction	175
9.2	Numerical simulation of quadruple anchor groups	175
9.3	Experimental studies	177
9.4	Model for the design of bonded anchors in non-cracked concrete	177
9.5	Conclusions	178
10	LITERATUR	179

Anhang A

Anhang B

Anhang C

Anhang D

BEZEICHNUNGEN

Großbuchstaben:

E_c	Elastizitätsmodul des Betons
E_s	Elastizitätsmodul des Stahls
G_f	Bruchenergie
N	Normalkraft
N_u	Bruchlast
$N_{u,bond}$	Bruchlast bei der Versagensart Herausziehen
$N_{u,conc}$	Bruchlast bei der Versagensart Betonausbruch
$N_{u,s}$	Bruchlast bei der Versagensart Stahlversagen

$N_{u,corner}$	Versagenslast einer Befestigung am Bauteilrand
$N_{u,edge}$	Versagenslast einer Befestigung an der Bauteilecke
$N_{u,group}$	Versagenslast einer Gruppenbefestigung
$N_{u,single}$	Versagenslast eines Einzeldübels in der Bauteilfläche

Kleinbuchstaben

c	Randabstand
$c_{cr,N}$	charakteristischer Randabstand unter Zuglast
d	Ankerstangendurchmesser
d_{nom}	Nenndurchmesser
d_0	Bohrlochdurchmesser
d_{cut}	Schneideneckmaß
d_{cone}	Durchmesser des Ausbruchkegels
f_c	Betondruckfestigkeit, gemessen an Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Höhe
f_{cc}	Betondruckfestigkeit, gemessen an Würfeln mit 200 mm Kantenlänge
f_{ct}	zentrische Zugfestigkeit des Betons
f_{yt}	Stahlzugfestigkeit des Stahls
f_y	Streckgrenze des Stahls
h_{conc}	Bauteilhöhe
h_{ef}	Verankerungstiefe
l_{ch}	Charakteristische Länge
s	Achsabstand
s_{cr}	Achsabstand ohne Beeinflussung durch benachbarte Anker
t_{cone}	Tiefe des Ausbruchkegels
v	Verschiebung
v_u	Verschiebung beim Versagen

Griechische Buchstaben

ε	Dehnung
ν	Querdehnungszahl
ρ_i	Verhältnis Ringspalt zu Ankerstangendurchmesser
τ	Verbundspannung
τ_u	Verbundspannung bei Bruchlast
τ_{con}	Verbundspannung bei enger Abstützung
τ_{uncon}	Verbundspannung bei weiter Abstützung

Es wurden durchgehend SI-Einheiten verwendet.

In massive Bauteile werden häufig äußere Lasten eingeleitet. Es kann sich dabei um Dauer- oder Verkehrslasten handeln. Erfolgt die Lasteinleitung über Druck oder über Zug, ist eine sichere Verbindung für die Einleitung und Weiterleitung der Zugkräfte in die massiven Bauteile gefordert.

Ist der genaue Ort der Lasteinleitung bzw. der anzuschließenden Konstruktion während der Planungsphase schon bekannt, werden häufig Einlegeteile zur Lasteinleitung verwendet. Ist der genaue Ort der Lasteinleitung während der Planungsphase noch nicht bekannt oder wird eine Lasteinleitung erst nach der Herstellung des Massivbauteils erforderlich, erfolgt die Verbindung durch Dübel. Dabei kommen vor allem Spreiz-, Hinterschnitt- und Verbunddübel zum Einsatz.

Während Spreiz- und Hinterschnittdübel schon lange Zeit in vielen Anwendungsfällen eingesetzt werden, erlangen Verbunddübel erst in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung im Bauwesen. Dies ist begründet durch die verhältnismäßig geringen Kosten und die vielseitige Einsetzbarkeit dieser Dübel.

Während für Befestigungen mit Metallspreizdübel und Hinterschnittdübel bereits Bemessungsmodelle (CEB (1994), Deutsches Institut für Bautechnik (1993)) zur Verfügung stehen, soll für Verbunddübel ebenfalls ein Bemessungsmodell entwickelt werden.

In dieser Arbeit wird das Tragverhalten von Gruppenbefestigungen und Befestigungen am Bauteilrand mit Verbunddübeln im ungerissenen Beton unter zentrischer Zugbeanspruchung untersucht und ein Modell zur Bemessung solcher Befestigungen vorgeschlagen. Dazu werden numerische und umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Befestigungen im gerissenen Beton werden nicht behandelt.

2 STAND DER KENNTNISSE

2.1 Verbunddübelssysteme

2.1.1 Allgemeines

Die Verbunddübeltechnik kommt aus dem Bergbau und wurde dort bereits vor ungefähr 50 Jahren angewandt. Unter Tage wurde die Sicherung der Stollen durch Rückverankerungen in den Fels mit Verbunddübeln Material- und Platz- sparend durchgeführt (Jänicke (1997)).

Anfang der 60er-Jahre wurden die ersten Verbunddübel für Anwendungen in massiven Bauteilen entwickelt und produziert. Es handelte sich dabei um sogenannte Patronensysteme. Mittlerweile sollen mit Verbunddübeln etwa ein Drittel aller Befestigungen in massiven Bauteilen aus Beton und Mauerwerk durchgeführt werden. Die vielseitige Anwendung von Verbunddübeln wird wesentlich durch das günstige Preis-Leistungsverhältnis dieser Befestigungsart gefördert (Hofmann (1996)).

Verbunddübel bestehen aus Ankerstange, Unterlegscheibe und Mutter sowie Verbundmörtel. Die Ankerstange wird in einem zylindrischen Bohrloch vermörtelt.

Verbunddübel werden als Patronensysteme und Injektionssysteme geliefert. In der Regel sind die Liefereinheiten so dimensioniert, daß ein Mischen auf der Baustelle nicht notwendig ist, sondern das Mischen beim Setzen bzw. durch das Setzen erfolgt. Bild 2.1 gibt einen Überblick über beide Systeme und ihre Bestandteile. Nachfolgend werden die beiden Systeme näher beschrieben.

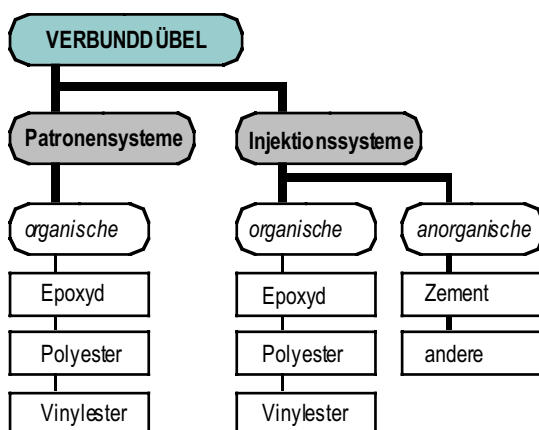


Bild 2.1: Einteilung der Verbunddübel

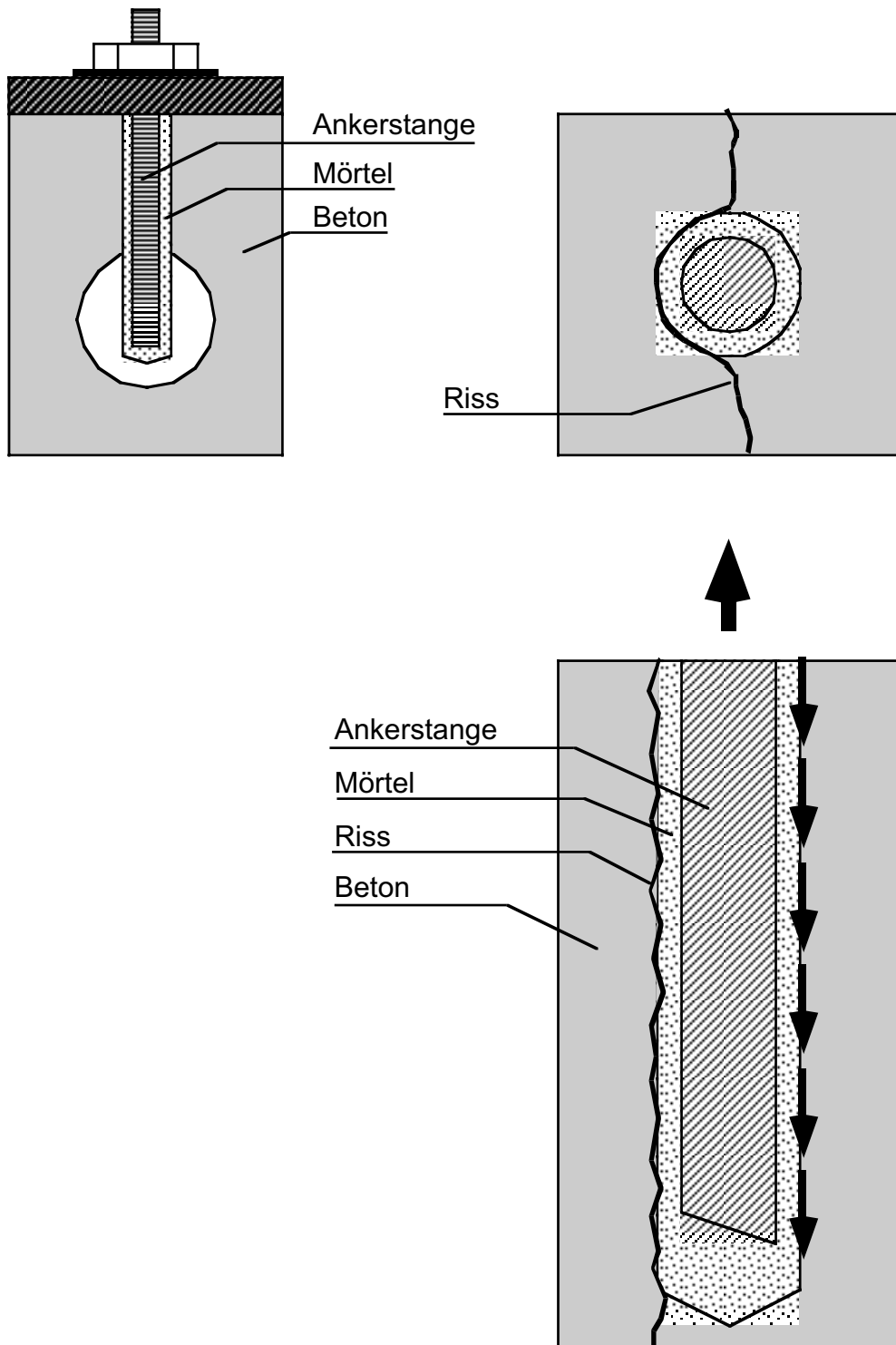


Bild 2.2: Störung des Verbundes zwischen Mörtel und Beton im gerissenen Beton

Verbunddübel übertragen eine an der Ankerstange angreifende Kraft über den Verbundmörtel in den Ankergrund. Liegt ein Verbunddübel im Riss, wird seine Bruchlast durch das Öffnen des Risses wesentlich reduziert. Der Riss verläuft wie in Bild 2.2 dargestellt wegen der hohen Zugfestigkeit des Verbundmörtels zwischen Bohrlochwand und Verbundmörtel. Der Verbund zwischen Bohrlochwand und Verbundmörtel ist dann auf einer Seite gestört. Bei dem in Bild 2.2 angenommenen Rissverlauf, der sich über die gesamte Verankerungstiefe erstreckt, wird die Bruchlast um ungefähr 50 % reduziert gegenüber der Herausziehlast im ungerissenen Beton. Zusätzlich entstehen im oberflächennahen Bereich aufgrund der Exzentrizität zwischen Zuglast und resultierende Verbundkraft senkrecht zur Verbundfläche Zugspannungen. Dadurch wird die Herausziehlast weiter reduziert.

Verbunddübel sind also in gerissenem Beton zur Übertragung von Zuglasten wenig geeignet. Für diesen Anwendungsfall wurden Verbund-Spreizdübel und Verbund-Hinterschnittdübel entwickelt.

Beim Verbund-Hinterschnittdübel (Bild 2.3) wird der Verbund im Bereich des zylindrischen Bohrloches im gerissenen Beton zerstört. Eine Übertragung der Zugkraft erfolgt dann überwiegend im Bereich des Hinterschnittes durch mechanische Verzahnung.

Beim Verbund-Spreizdübel (Bild 2.4) ziehen sich auf der Ankerstange befindliche Konen in den Mörtel, der dann als Spreizschale wirkt. Um einen Verbund zwischen den Konen auf der Ankerstange und dem Mörtel zu verhindern, ist auf den Konen eine Beschichtung aufgetragen, die durch eine Siebhülse geschützt wird. Bei einem anderen System werden Konen und Siebhülse durch eine strukturierte Polyamid-Ummantelung ersetzt. Diese hat ebenfalls die Aufgabe, den Verbund zwischen Ankerstange und Mörtel zu unterbrechen und so ein Nachrutschen der Ankerstange in den Mörtel zu gewährleisten. Bei neueren Systemen wird durch Verwendung einer besonders harten und glatten Oberfläche der Ankerstange auf eine Siebhülse bzw. eine Polyamid-Ummantelung verzichtet.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Befestigungen in ungerissenem Beton, weswegen risstaugliche Verbunddübel hier nicht weiter behandelt werden.

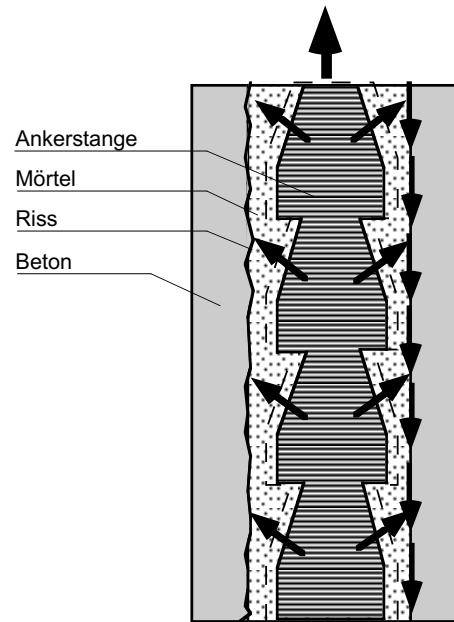
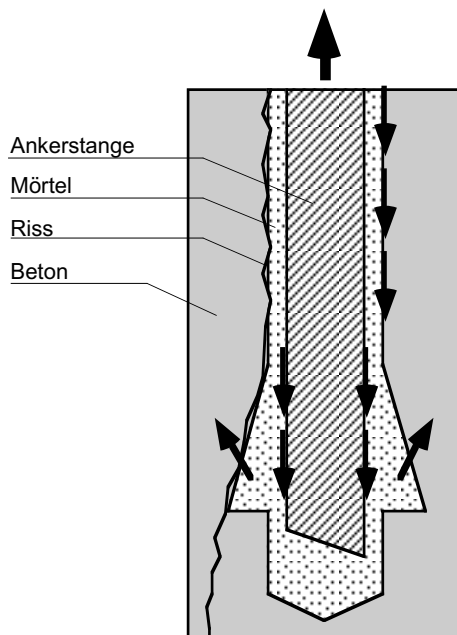
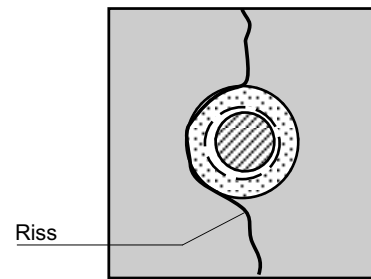
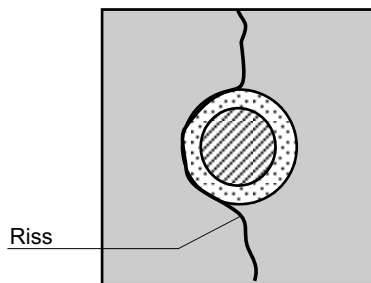
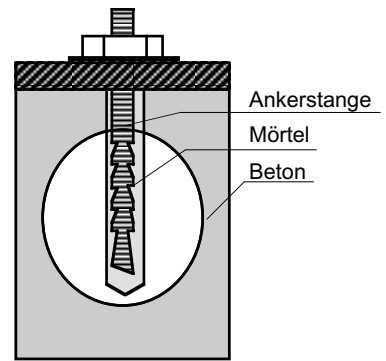
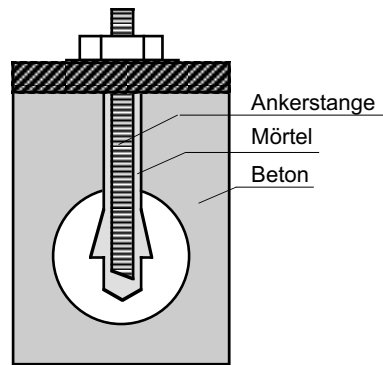


Bild 2.3: Verbund-Hinterschnittdübel und dessen Wirkungsweise in gerissenem Beton

Bild 2.4: Verbund-Spreizdübel mit Siebhülse und dessen Wirkungsweise in gerissenem Beton

2.1.2 Patronensysteme

Bei Patronensystemen besteht der Verbunddübel aus Gewindestange und einer Patrone aus Glas oder Kunststoff. Patrone und Gewindestange sind in ihren Abmessungen aufeinander abgestimmt. Es kommt normalerweise pro Befestigungspunkt eine Patrone mit einer Gewindestange zum Einsatz.

Die Patrone ist in der Regel als Zweikammerpatrone aus Glas ausgeführt. Im Patroneninnenrohr befinden sich Härter und Füllstoff, im Patronenaussenrohr ein Harz. Als Harze werden meist ungesättigte Polyesterharze bzw. Epoxyacrylatharze eingesetzt. Als Füllstoff wird Quarzsand verwendet.

Die zugehörigen Gewindestangen werden im allgemeinen in galvanisch verzinkter Ausführung als Stahl 5.8 oder als A4-Stahl der Festigkeitsklasse 70 in den Größen M8 bis M30 angeboten.

Für die Montage eines Verbunddübels ist das Herstellen eines zylindrischen Bohrloches mit einer vom Ankerdurchmesser abhängigen Bohrlochtiefe notwendig. Die Montagekennwerte für handelsübliche Verbunddübel können Tabelle 2.1 entnommen werden.

Nachdem das Bohrloch entsprechend Herstellerangabe gesäubert ist, wird die Patrone eingebracht und die Gewindestange drehend und schlagend einvibriert, bis der Verbundmörtel an der Oberfläche aus dem Bohrloch austritt. Hierzu wird ein Setzwerkzeug zum Aufsetzen auf die Gewindestange bzw. Einsetzen in einen Bohrhammer verwendet.

Die Qualität der Reinigung des Bohrloches hat einen großen Einfluß auf das Tragverhalten des gesetzten Dübels. Ebenfalls wichtig ist, daß die Ankerstange nicht nur schlagend eingesetzt wird, sondern zusätzlich eine Drehbewegung aufgebracht wird. Hierdurch wird die richtige Durchmischung von Härter, Harz und Füllstoff gewährleistet.

Da die Aushärtezeit der Harze mit sinkender Temperatur abnimmt, sind vorgeschriebene temperaturabhängige Wartezeiten zwischen ca. 30 Minuten ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) und 5 Stunden ($\sim 5^{\circ}\text{C}$) vor dem Belasten des Dübels einzuhalten. Ein Setzen unter 5°C Bauteiltemperatur wird nicht empfohlen.

DÜBELGRÖSSE	BOHRLOCHDURCHMESSER	BOHRLOCHTIEFE	VERANKERUNGSTIEFE h_{ef}
-----	mm	mm	mm
M 8	10	80	80
M 10	12	90	90
M 12	14	110	110
M16	18	125	125
M 20	25	170	170
M 24	28	210	210
M 27	32	250	250
M 30	35	280	280

Tabelle 2.1: Montagekennwerte für handelsübliche Verbunddübel

Bild 2.5 zeigt Patrone und Gewindestange eines Verbunddübels M12.



Bild 2.5: Patrone und Gewindestange eines Verbunddübels M12

Neuerdings werden die Glaspatronen durch Folienverpackungen ersetzt. Dies hat vor allem Vorteile bei Transport und Lagerung, da keine Bruchgefahr mehr besteht. Durch die weniger aufwendige Verpackung kann zusätzlich erhebliches Transportvolumen gespart werden. Nachteilig ist, daß die Folie den Verbund zwischen Mörtel und Bohrlochwand beeinträchtigen kann, wenn sie beim Setzen nicht genügend zerkleinert wird.

Die Verwendung von Folienverpackungen ist vor allem deswegen möglich geworden, weil das bisher verwendete Lösungsmittel Styrol, das als gesundheitsschädlich eingestuft wird, durch andere Lösungsmittel ersetzt werden kann.

2.1.3 Injektionssysteme

Bei Injektionsdübeln ist der Mörtel in Kartuschen (Bild 2.6) oder Foliengebinden (Bild 2.7) abgepackt. Eine Packung reicht abhängig vom Ankerstangendurchmesser und der Setztiefe für ca. 5 bis 10 Dübel aus.



Bild 2.6: Injektionsmörtel-Kartusche



Bild 2.7: Injektionsmörtel-Foliengebinde mit Ankerstange M12

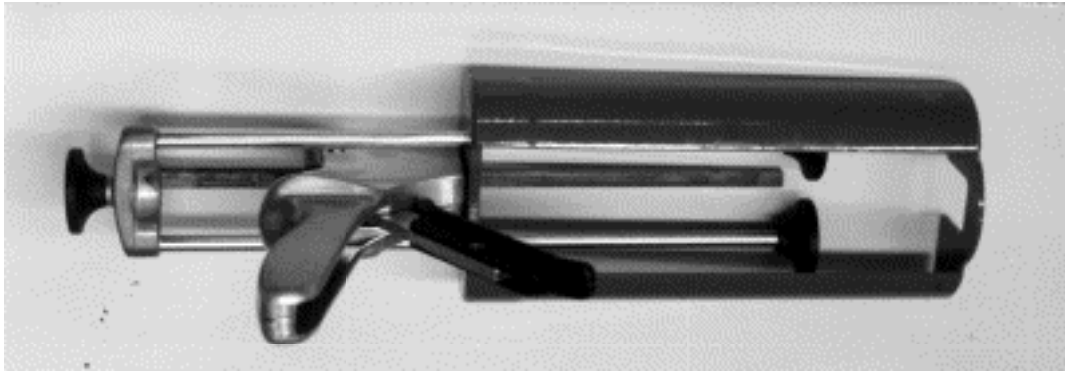


Bild 2.8: Auspresspistole für Injektionsmörtelkartuschen

Zum Auspressen der Injektionsmasse werden hand- oder druckluftbetriebene Auspressgeräte eingesetzt (Bild 2.8). Das Mischen der Komponenten Mörtel und Härter wird mittels eines in der Kartusche befindlichen Handmischers oder automatisch durch einen auf die Kartusche bzw. das Foliengebinde aufgeschraubten Statikmischer durchgeführt.

Es ist auch möglich, die zwei Komponenten aus verschiedenen Gebinden auf der Baustelle mittels Rührwerk zu mischen. Dosierung sowie Durchmischung sind jedoch dann dem Anwender überlassen und daher als unsicher anzusehen. Daher kommt diese Methode des Mischens im mitteleuropäischen Raum nahezu nicht zum Einsatz.

Als Mörtel werden die gleichen Harze wie in Bild 2.1 eingesetzt. Neuerdings kommen auch sogenannte Hybridmörtel aus anorganischen Bestandteilen zum Einsatz, da diese mit umweltverträglicheren Härtern auskommen.

Die zu verwendenden Ankerstangen sind wie bei Patronensystemen in galvanisch verzinkter Ausführung als Stahl 5.8 oder als A4-Stahl lieferbar.

Injektionsdübel werden in gereinigte zylindrische Bohrlöcher eingesetzt, die prinzipiell für beliebige Verankerungstiefen hergestellt werden können. Es werden jedoch häufig die in Tabelle 2.1 angegebenen Bohrlochtiefen verwendet. Das Bohrloch wird vom Bohrlochgrund aus mit Injektionsmasse bis zum oberen Bohrlochrand gefüllt. Anschließend wird die Ankerstange eingesteckt. Sie darf erst nach einer von der Umgebungs- bzw. Ankergrundtemperatur abhängigen Aushärtezeit belastet werden. Diese beträgt in der Regel ungefähr zwischen 40

Minuten bei 35°C und 3 Stunden bei 5°C. Es gibt auch Systeme, bei denen der Dübel erst nach 24 Stunden Aushärtezeit belastet werden darf.

Bei den Injektionssystemen mit Handmischern bzw. beim Mischen von Hand müssen Offenzeiten beachtet werden. Diese sind ebenfalls von der Temperatur abhängig und betragen ungefähr zwischen 20 Minuten bei 5°C und 2 Minuten bei 35°C. Innerhalb der Offenzeit muß das Bohrloch injiziert und die Ankerstange gesetzt werden. Bei Systemen mit Statikmischern muß bei längeren Verarbeitungszeiten gegebenenfalls der Statikmischer gewechselt werden. Durch die Möglichkeit, den Statikmischer zu wechseln, sind solche Systeme auch beliebig oft bis zum Erreichen des Verfalldatums wieder zu benutzen.

2.1.4 Installation von Verbunddübeln

2.1.4.1 Herstellung des Bohrloches

Die zylindrischen Bohrlöcher werden in der Regel mit Hammerbohrern hergestellt. Hierbei entstehen nahezu runde Bohrlöcher, deren Bohrlochwandung wellig ist. In hochfestem Beton ergeben sich glattere Bohrlochwandungen als in niederfestem Beton.

Bei größeren Durchmessern ist die Herstellung der Bohrlöcher auch mit Kernbohrgeräten möglich. Dabei wird mit einem mit Diamantschneiden besetzten Kernbohrer ein Bohrkern entnommen. Zur Kühlung und Schmierung des Schneidwerkzeuges wird Wasser verwendet. Die so hergestellten Bohrlöcher haben eine glattere Oberfläche als mit Hammerbohrern hergestellte Bohrlöcher. Die Bohrlochwandung ist unmittelbar nach der Herstellung des Bohrloches feucht, wodurch die Tragfähigkeit der Befestigung beeinflusst werden kann. Es ist daher mit dem Setzen des Dübels u. U. bis zur Austrocknung des Bohrloches zu warten.

In Bild 2.9 ist das Verhältnis der Verbundfestigkeit solcher Ausziehversuche von Verbunddübeln, bei denen die Bohrlöcher mit Diamant-Kernbohrern hergestellt wurden, und solchen, bei denen die Bohrlöcher mit Hammerbohrern erstellt wurden, aufgetragen (HEG (1993)). Für das hier dargestellte Injektionssystem ergeben sich bei Verbunddübel M16 bis zu ca. 15% höhere Verbundfestigkeiten bei der Herstellung des Bohrloches mittels Kernbohrgerät.

Von Unterwerger (1999/1) wurde der Einfluß der Bohrlochherstellung auf die Ausziehlast ebenfalls untersucht. Er stellt fest, daß die mittleren Versagenslasten bei Injektionsdübeln, deren Bohrlöcher durch Hammerbohren hergestellt wurden, um ca. 15% größer sind als bei Injektionsdübeln, deren Bohrlöcher durch Diamantbohren hergestellt sind.

Die Untersuchungen von HEG (1993) und Unterwerger (1999/1) wurden mit ähnlichen Systemen durchgeführt. Bei Injektionsystemen aus Epoxyd kann sich die Herstellungsmethode des Bohrloches u. U. anders auswirken.

2.1.4.2 Reinigung des Bohrloches

Beim Einbau von Verbunddübeln ist auf eine gründliche Reinigung des Bohrloches zu achten. Je nach Mörteltyp können bei schlechter Reinigung Traglastverluste bis ca. 60% auftreten.

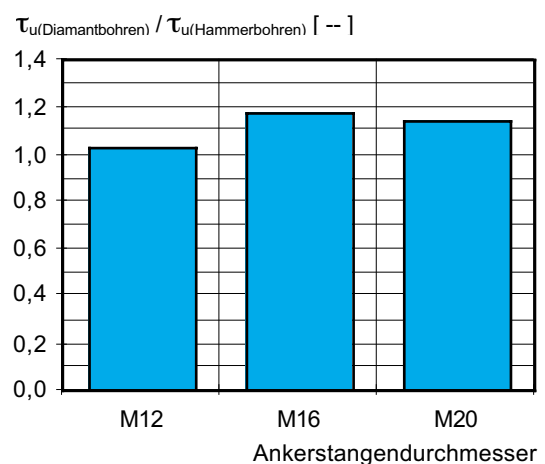


Bild 2.9: Verhältnis der Verbundfestigkeiten τ_u in mit Diamant-Kernbohrern hergestellten Bohrlöchern zu den Verbundspannungen τ_u in mit Hammerbohrern hergestellten Bohrlöchern, Injektionssystem (HEG (1993))

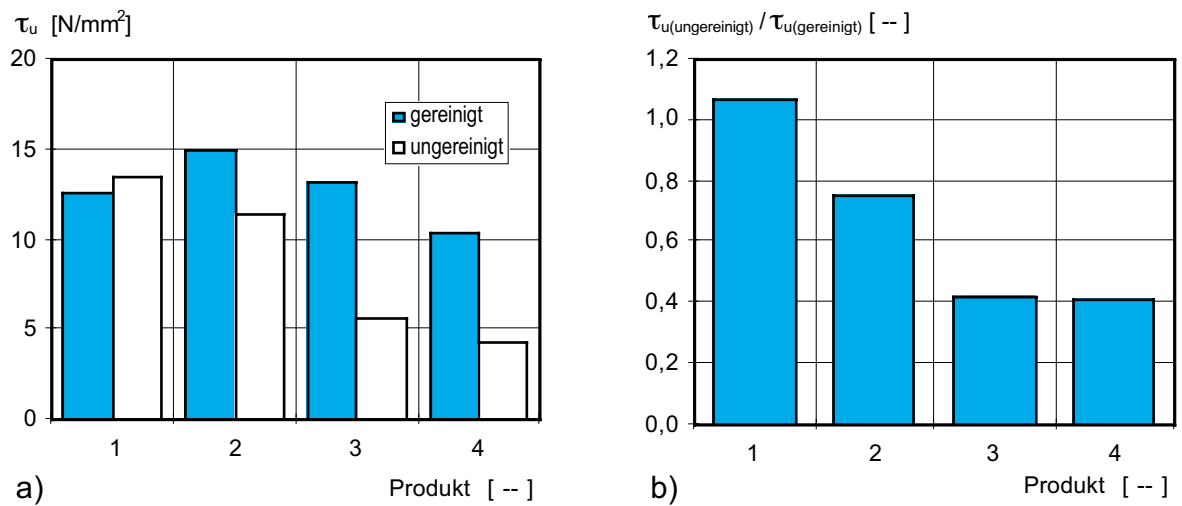


Bild 2.10: Einfluß der Reinigung von Bohrlöchern auf das Tragverhalten von Verbunddübeln (Meszaros, Eligehausen (1996))

- a) Verbundfestigkeit τ_U in gereinigtem und ungereinigtem Bohrloch
- b) Verhältnis der Verbundfestigkeit τ_U in ungereinigtem Bohrloch zur Verbundfestigkeit τ_U in gereinigtem Bohrloch

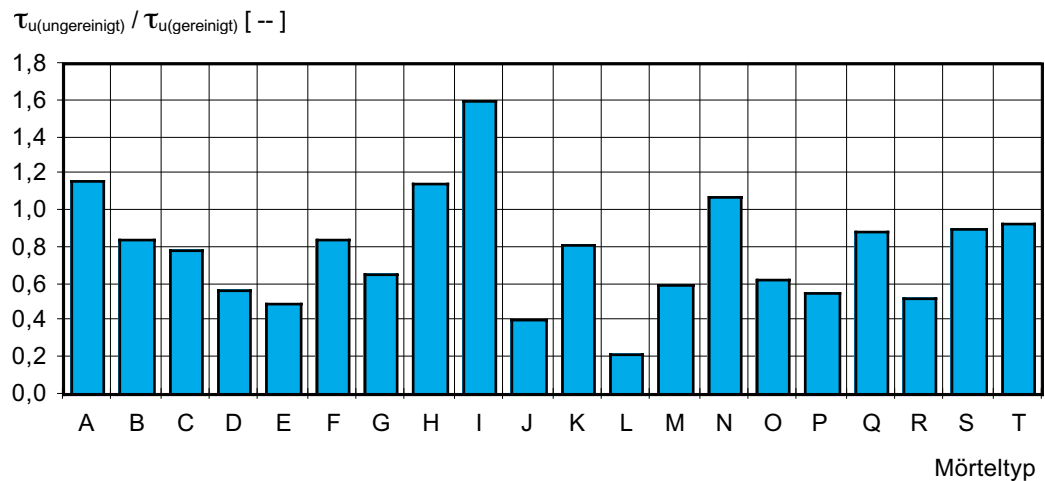


Bild 2.11: Einfluß der Reinigung von Bohrlöchern auf das Tragverhalten von Verbunddübeln: Verhältnis der Verbundfestigkeit τ_U in ungereinigtem Bohrloch zur Verbundfestigkeit τ_U in gereinigtem Bohrloch (Cook (1994))

Bild 2.10 zeigt das Verhältnis der Verbundfestigkeit τ_U von Dübeln, die in gereinigten und in nicht gereinigten Bohrlöchern gesetzt wurden. Bei den von Meszaros, Eligehausen (1996) durchgeführten Versuchen wurden sowohl ein

Patronen-system (Produkt 1) als auch Injektionssysteme eingesetzt (Produkt 2, 3 und 4). Auch die Untersuchungen von Cook (1994) zeigen, daß der Einfluß der Bohrlochreinigung produktabhängig ist (Bild 2.11).

2.1.4.3 Setzen der Ankerstange

Bei Patronensystemen wird die Ankerstange mit Hilfe eines Bohrhammers schlagend drehend eingetrieben. Die Verbindung zwischen Maschine und Gewindestange erfolgt mit speziellen Adaptern, die auf den Kopf der Gewindestange abgestimmt sind. Die axialen und radialen Bewegungen bei der Installation sind notwendig, um die Patrone zu zerstören und eine ausreichende Durchmischung von Harz und Härter zu erreichen.

Bei Injektionssystemen erfolgt das Einbringen der Ankerstange von Hand. Die Ankerstangen sollen dabei leicht gedreht werden. Es ist darauf zu achten, daß in der Mörtelmasse eingeschlossene Luftblasen austreten können. Weiterhin soll sich die Ankerstange in der Mitte des Bohrloches parallel zur Bohrlochwand befinden, um einen problemlosen Anschluß der Anbauteile zu gewährleisten. Von Rössle, Meszaros (1998) wurde der Einfluß der Lage der Ankerstange im Bohrloch auf die Bruchlast untersucht.

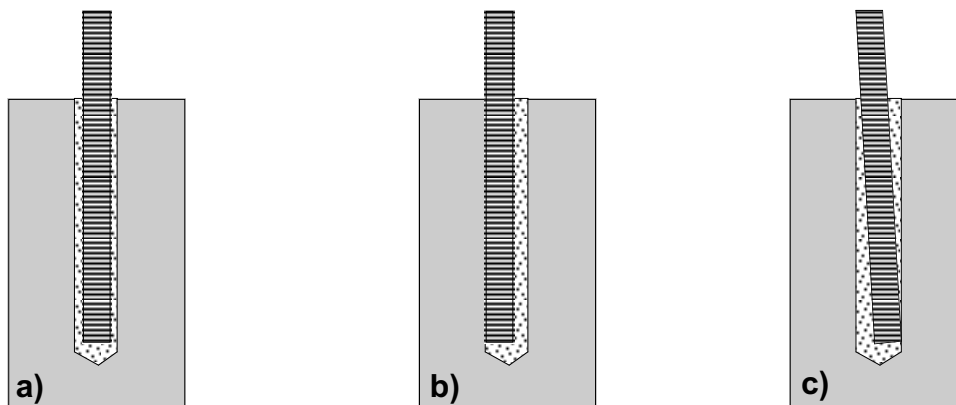


Bild 2.12: Lage der Ankerstange im Bohrloch

- a) ideale Lage: Ankerstange zentrisch im Bohrloch
- b) Fehlerhafte Lage: Ankerstange liegt auf einer Seite an der Bohrlochwandung an
- Fehlerhafte Lage: Ankerstange sitzt schief im Bohrloch

In Bild 2.13 sind die Verhältniszerte der von Rößle, Meszaros (1998) ermittelten Ausziehlasten von Versuchen, bei denen die Ankerstangen zentrisch in das Bohrloch eingeführt wurden (Bild 2.12a), und der Ausziehlasten von Versuchen, bei denen die Ankerstange so gesetzt war, daß ein Anliegen derselben an der Bohrlochwand zu erwarten war (Bild 2.12b). Der Einfluß der Lage der Ankerstange auf die Bruchlast ist gering. Vermutlich ist es allerdings gar nicht möglich, die Ankerstange im Bohrloch wie in Bild 2.12b dargestellt zu plazieren, da diese durch die Zähigkeit des Mörtels von der Bohrlochwand abgedrückt wird.

Auch die Erfahrung des Monteurs trägt zum Tragverhalten eines Verbunddübels bei. Gezielte Untersuchungen von Rößle, Meszaros (1998) zeigen, daß zwischen den Ausziehlasten von Injektionsdübeln, die von zwei erfahrenen Anwendern gesetzt waren, ein sehr geringer Unterschied besteht. Beim Setzen durch unerfahrene Monteure war jedoch ein Abfall der Ausziehlasten gegenüber den Ausziehlasten von durch erfahrene Anwender gesetzten Dübeln von ungefähr 10 Prozent festzustellen.

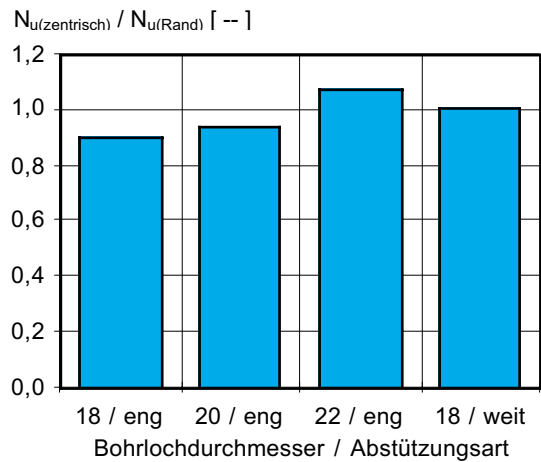


Bild 2.13: Verhältnis der Traglasten von Verbunddübeln, die zentrisch nach Bild 2.12a gesetzt waren und von Verbunddübeln, die nahe der Bohrlochwand nach Bild 2.12b gesetzt waren

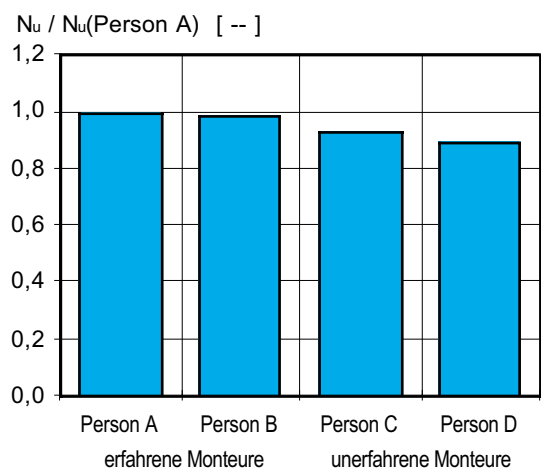


Bild 2.14: Einfluß des Anwenders auf das Tragverhalten von Verbunddübeln, bezogen auf Person A, nach Rößle, Meszaros (1998)

2.2 Tragverhalten von Verbunddübeln

2.2.1 Verbundfestigkeit

In der Ankerstange angreifende Zuglasten werden an der Fläche zwischen Gewinde der Ankerstange und dem Verbundmörtel durch Verzahnung in den Mörtel übertragen. An der Grenzfläche zwischen Mörtel und Beton werden die Kräfte in geringem Masse ebenfalls über Verzahnung, die durch die Unebenheit und Rauigkeit der Bohrlochwandung zustande kommt, übertragen. Hauptsächlich aber bewirken Adhäsions- und Kapillarkräfte eine Übertragung der Lasten in den Ankergrund.

Der Widerstand des Mörtels zwischen Ankerstange und Bohrlochwandung wird als Verbundfestigkeit τ_u bezeichnet. Bei der Berechnung der Verbundfestigkeit wird im allgemeinen eine über die Verankerungstiefe h_{ef} gleichmäßig verteilte Verbundspannung angenommen. Dieser Ansatz ist nach Cook, Kunz, Fuchs, Konz (1998) und Meszaros (2002) genügend genau.

Unter dieser Annahme ergibt sich τ_u nach Gl. (2.1):

a) Verbundfestigkeit zwischen Mörtel und Gewindestange:

$$\tau_u = N_u / (\pi \cdot d \cdot h_{ef}) \quad (2.1 a)$$

b) Verbundfestigkeit zwischen Mörtel und Bohrlochwand:

$$\tau_u = N_u / (\pi \cdot d_0 \cdot h_{ef}) \quad (2.1b)$$

Nach Sell (1973) beträgt die Verbundfestigkeit für Reaktionsharzmörtel für die Fuge zwischen Bohrlochwandung und Mörtel $\tau_u \sim 8 \text{ N/mm}^2$. Dieser Wert wurde für Patronensysteme, bei denen die Ankerstangen schlagend / drehend gesetzt wurden, ermittelt. Nach Cook (1994) liegt bei Injektionsdübeln die Verbundfestigkeit berechnet nach Gl. (2.1a) zwischen $\tau_u \sim 5$ bis 20 N/mm^2 .

2.2.2 Versagen von Verbunddübeln

2.2.2.1 Einzeldübel mit großem Randabstand

Folgende Versagensarten werden bei Einzelbefestigungen mit Verbundankern beobachtet:

- Betonausbruch (Bild 2.15a)
- Herausziehen (Bild 2.15b)
- Herausziehen mit Betonausbruch (Bild 2.15c)
- Stahlversagen (Bild 2.15d)
- Spalten des Betons (Bild 2.16)

Bei Verankerungstiefen bis $h_{ef} \leq 4d$ tritt häufig Betonausbruch auf (Bild 2.15a). Bei Verankerungstiefen bis $h_{ef} < 12d$ stellt sich meist ein kombiniertes Versagen ein (Bild 2.15c). Im oberflächennahen Bereich bildet sich ein Betonkegel aus, während im unteren Bereich der Verbund versagt. Bei der Versagensart Herausziehen wird der Verbund zerstört. Das Verbundversagen kann entweder zwischen Ankerstange und Mörtel oder zwischen Bohrlochwand und Mörtel auftreten (Bild 2.17). Auch ist ein Versagen zwischen Mörtel und Ankerstange im unteren Bereich und zwischen Mörtel und Bohrlochwand im oberen Bereich möglich. Bei geringer Stahlfestigkeit der Ankerstange bzw. bei großer Verbundfestigkeit infolge eines steifen Verbundmörtels oder einer großen Verankerungstiefe ist ein Versagen der Ankerstange möglich.

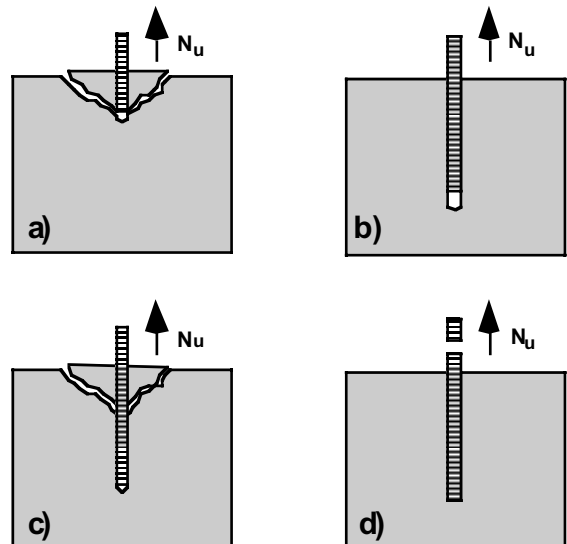


Bild 2.15: Versagensarten bei Verbunddübeln

- a) Betonversagen
- b) Verbundversagen
- c) Kombiniertes Verbund- und Betonversagen
- d) Stahlversagen

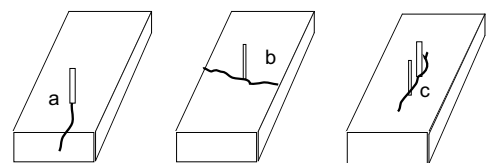


Bild 2.16: Versagensart Spalten

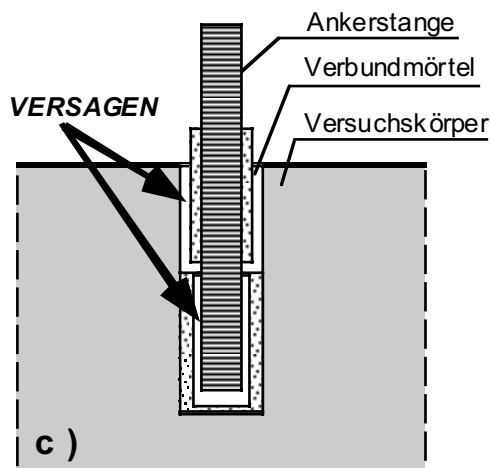
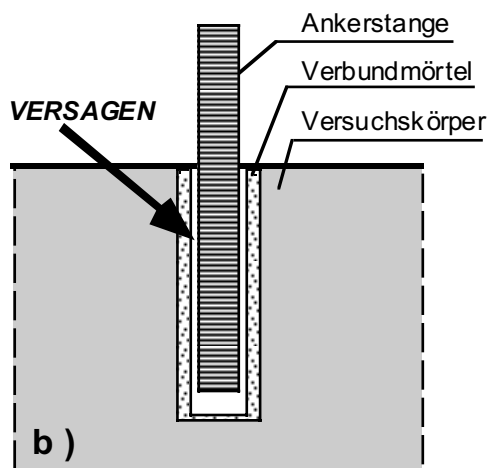
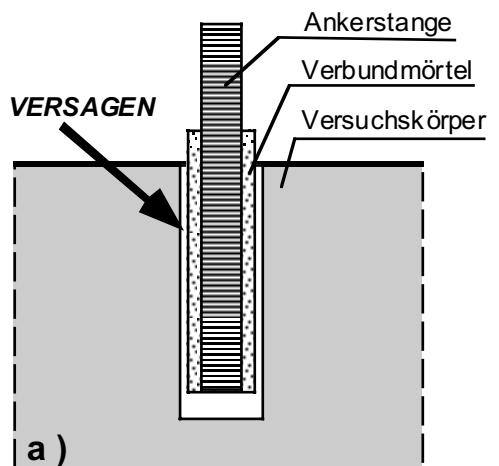


Bild 2.17: Versagensarten Herausziehen

- a) Versagen zwischen Bohrlochwand und Mörtel
- b) Versagen zwischen Ankerstange und Mörtel
- c) Mischversagen

Werden Verbunddübel in sehr dünnen Bauteilen mit einer Bauteildicke $h < 2 h_{ef}$ eingesetzt, kann die Versagensart Spalten auftreten. Während bei Metallspreizdübeln Spalten schon während des Setzens des Dübels eintreten kann, entwickeln Verbunddübel erst unter Last Spaltkräfte, die zum Versagen führen.

2.2.2.2 Einzeldübel am Bauteilrand

Dübel, die nahe dem Bauteilrand gesetzt sind, versagen in der Regel durch Betonausbruch, wenn der Randabstand gering ist. Wenn das Bauteil, in dem der Dübel gesetzt ist, dünn ist, kann Spalten auftreten. Als kritische Bauteildicke kann $h = 2,0 h_{ef}$ für einen Randabstand $c \leq 1 h_{ef}$ angesehen werden. Bei geringeren Bauteildicken kann Spalten und Betonausbruch zum Rand hin auch bei einem Randabstand $c > 1,0 h_{ef}$ auftreten.

Gegenüber Metallspreizdübeln haben Verbunddübel den großen Vorteil, daß während des Setzvorganges keine Spaltkräfte aktiviert werden. Daher kann der Bauteilrand bzw. das Bauteil beim Setzen nicht geschädigt werden.

2.2.2.3 Gruppenbefestigungen

Gruppenbefestigungen versagen ähnlich wie Einzelbefestigungen. In der Regel tritt bei mittleren Verankerungstiefen $h_{ef} \sim 8d$ ein kombiniertes Versagen auf. Im oberen Bereich ergibt sich ein kegelförmiger Betonausbruch, während im unteren Bereich der Verbund versagt. Bei Dübelgruppen, die in dünnen Bauteilen gesetzt sind, kann wie bei Einzeldübeln ebenfalls die Versagensart Spalten auftreten. Stahlbruch tritt bei Gruppenbefestigungen nur bei großen Verankerungstiefen auf.

2.2.3 Last-Verschiebungsverhalten

2.2.3.1 Last-Verschiebungsverhalten von Einzeldübeln

Das Last-Verschiebungsverhalten hängt von der Versagensart ab. Bei Verbunddübeln, bei denen Betonversagen auftritt, steigt die Last-Verschiebungskurve steil an und fällt nach Erreichen der Versagenslast wieder rasch ab. Tritt Verbundversagen auf, hängt der Verlauf bis zum Erreichen der Versagenslast davon ab, wo das Verbundversagen stattfindet. Beim Versagen zwischen Mörtel und Ankerstange steigt die Last-Verschiebungskurve steil an und fällt nach Erreichen der Ausziehlast gleichmäßig ab (Kurve d in Bild 2.18). Beim Versagen zwischen Mörtel und Bohrlochwand (Kurven a, b, c in Bild 2.18) setzt sich der Anstieg der Last-Verschiebungskurve aus zwei Teilen zusammen: Vom Beginn der Belastung bis zum Versagen der Adhäsionskraft steigt die Last-Verschiebungskurve steil an. Danach folgt ein geringerer Anstieg bis zum Erreichen der Höchstlast. Die Höhe des Überganges vom steilen Anstieg zum weicheren Verlauf hängt vom Verhältnis Adhäsionskraft zu Reibungskraft ab. Bei Verbunddübeln mit hoher Adhäsionskraft wird dieser Punkt nur wenig unter der Versagenslast liegen (Kurve a in Bild 2.18). Bei Verbunddübeln mit niedriger Adhäsionskraft liegt dieser Punkt weit unter der Versagenslast und es schließt sich ein weicher Verlauf bis zum Erreichen der Versagenslast an (Kurve c in Bild 2.18). Die Reibungskraft ist hier deutlich niedriger als die Adhäsionskraft zwischen Mörtel und Bohrlochwand.

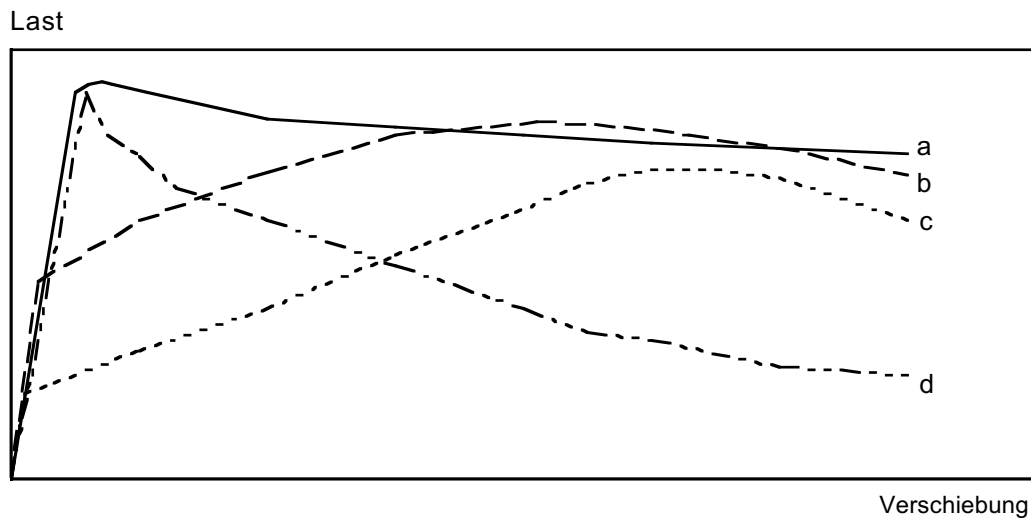


Bild 2.18: Schematische Last-Verschiebungskurven von Verbunddübeln, nach Meszaros (2002)

2.2.3.2 Verschiebungsverhalten unter Dauerlast

Die Verschiebung von Verbunddübeln unter Dauerlast nimmt über lange Zeit zu. Anfangs- und Endverschiebungen sind von der Belastungshöhe, der Art des Mörtels und der Temperatur abhängig. Mit zunehmender Belastungsdauer nimmt die Verschiebungszunahme ab (vgl. Bild 2.19).

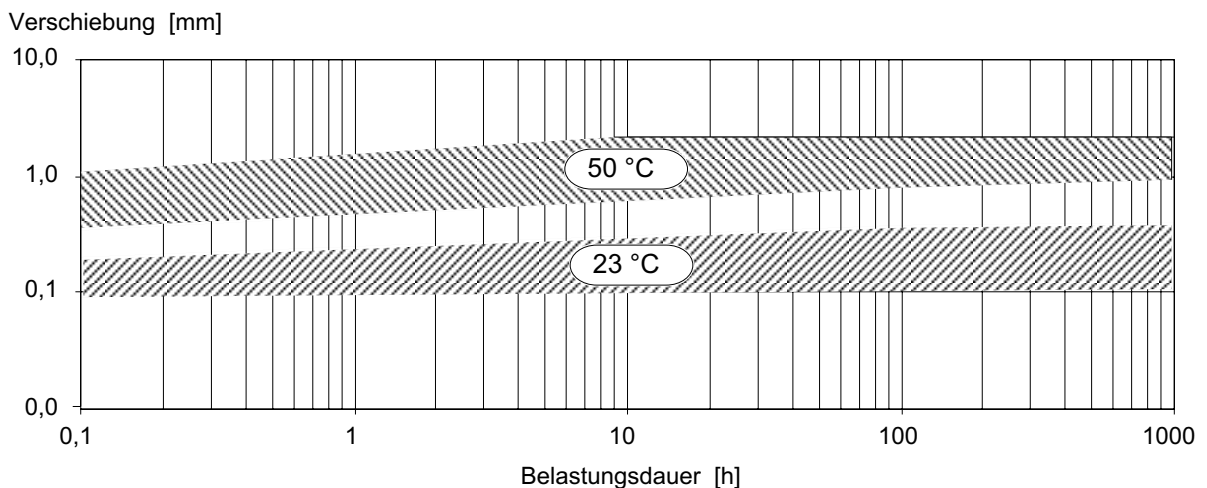


Bild 2.19: Verschiebungsverhalten von Verbunddübeln unter Dauerlast in verschiedenen Temperaturbereichen in Abhängigkeit der Belastungsdauer, nach Lang (1979)

Weiterhin kann das Verschiebungsverhalten ungünstig durch Frost-Tau-Wechsel beeinflusst werden. In Bild 2.20 ist die Abhängigkeit der Verschiebung von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß bei

ungesättigten Polyester-Harzen eine Zunahme der Verschiebungen vorhanden ist, während bei Epoxy-Acrylaten ab etwa 40 Frost-Tau-Wechsel die Verschiebung nicht mehr zunimmt.

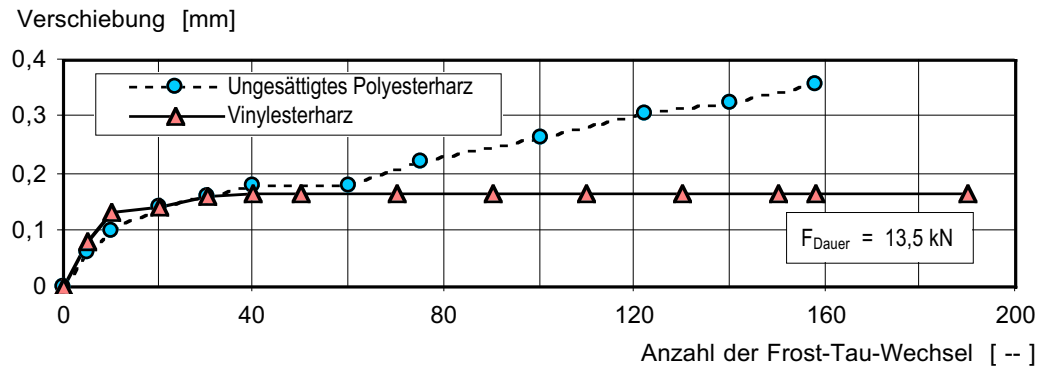


Bild 2.20: Einfluß von Frost-Tau-Wechseln auf das Verschiebungsverhalten von Verbunddübeln M12 unter Dauerlast, nach Rehm (1985)

2.2.4 Einflüsse auf das Tragverhalten von Verbunddübeln

2.2.4.1 Einfluß der Mörtelart

In Lehr, Eligehausen (1998) sind 343 Versuche mit enger Abstützung beschrieben. Die in Beton mit geringen Festigkeiten ($f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$) und in Beton mit höheren Festigkeiten ($f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$) ermittelten Verbundfestigkeiten für drei unterschiedliche Produkte sind in Bild 2.21 aufgetragen. Auch Cook (1994) hat verschiedene Mörtelarten hinsichtlich der Verbundfestigkeit untersucht. Bild 2.22 zeigt, daß die Höhe der Verbundfestigkeit von 20 verschiedenen Produkten stark variiert.

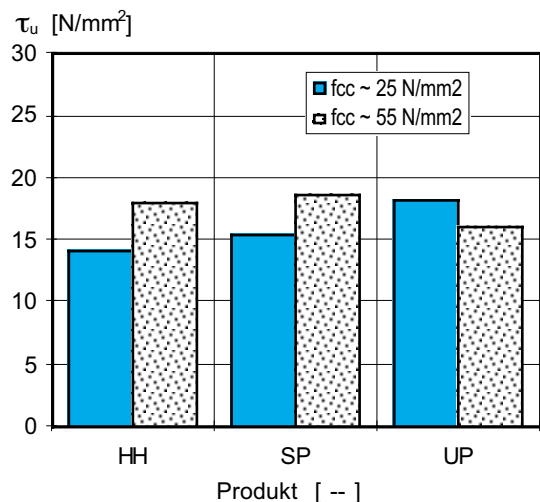


Bild 2.21: Verbundfestigkeiten von Injektionsmörteln in Abhängigkeit von der Mörtelart, nach Lehr, Eligehausen (1998)

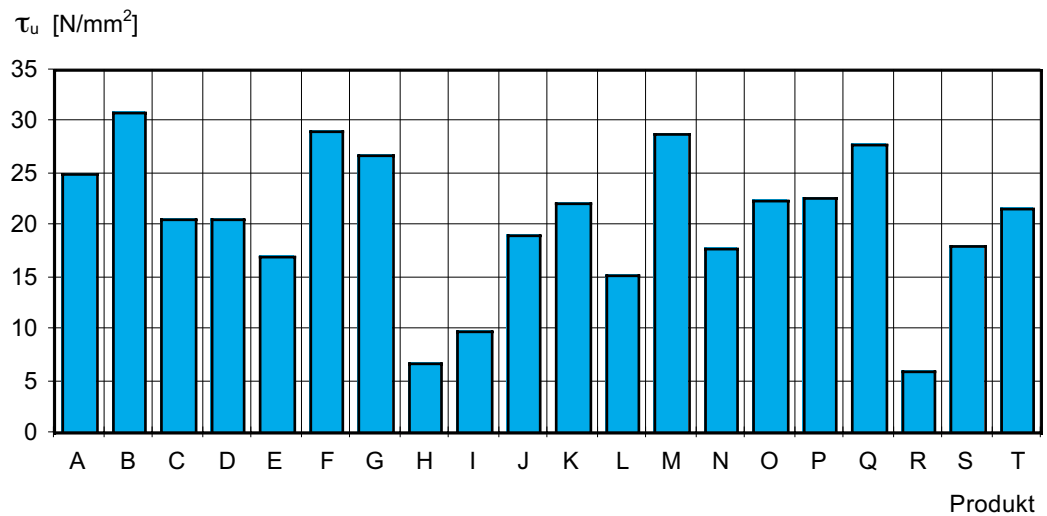


Bild 2.22: Verbundfestigkeiten von Injektionsmörteln in Abhängigkeit von der Mörtelart, nach Cook (1994)

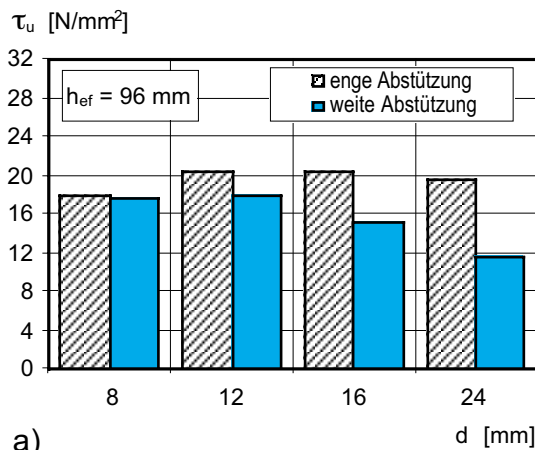
Die Verbundfestigkeit ist bei Verbunddübeln daher als produktabhängig anzusehen. In Deutschland zugelassene Verbunddübel haben in der Regel eine Verbundfestigkeit zwischen 10 N/mm^2 und 15 N/mm^2 .

2.2.4.2 Einfluß der Ankergeometrie

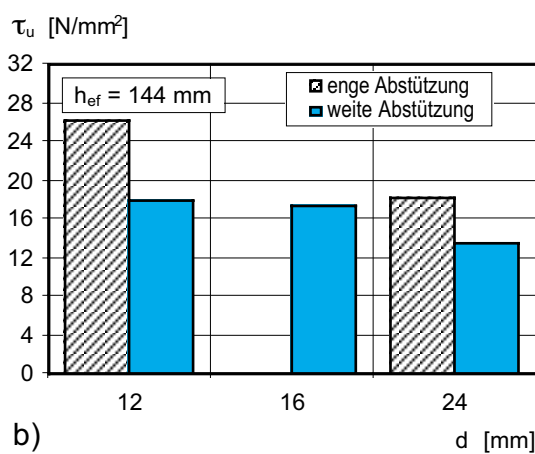
Die Verbundfestigkeit τ_u kann vom Ankerstangendurchmesser d abhängig sein. Hierzu wurden gezielte Untersuchungen von Brecht, Meszaros (1999) und Cook (1994) durchgeführt, bei denen der Ankerstangendurchmesser d bei gleicher Verankerungstiefe h_{ef} variiert wurde. Die Ergebnisse zeigt Bild 2.23, in dem für verschiedene Mörtelarten die Verbundfestigkeiten τ_u in Abhängigkeit vom Ankerstangendurchmesser d aufgetragen sind. Die Bilder zeigen, daß der Einfluß des Durchmessers produktabhängig ist.

2.2.4.3 Einfluß der Betonfestigkeit

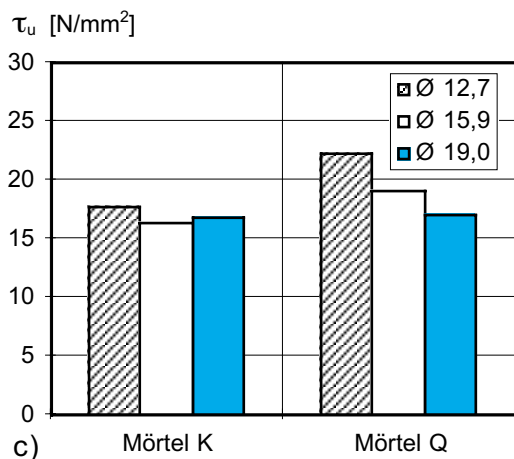
In Bild 2.24 ist das Verhältnis der Verbundfestigkeiten von Dübeln in höherfestem ($f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$) und niederfestem ($f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$) Beton nach Cook (1994) aufgetragen. Es ergibt sich eine Steigerung der Verbundfestigkeit τ_u bei Veranke-



a)



b)



c)

Bild 2.23: Einfluß des Ankerstangendurchmessers d auf die Verbundfestigkeit τ_u

- a) Versuche mit enger und weiter Abstuetzung nach Brecht, Mesz. (1999)
- b) Versuche mit enger und weiter Abstuetzung nach Brecht, Mesz. (1999)
- c) Versuche nach Cook 1994

rungen in höherfestem Beton ($f_{cc} \sim 55$ N/mm²) bis zu 100% (Mörtel E und R). Es wird aber auch für einzelne Mörtel eine Reduzierung der Verbundfestigkeit τ_u bis zu 50% (Mörtel H und L) festgestellt. Bei den meisten Mörteln ist der Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} gering.

Bei Zaviliaris (1996) wird empfohlen, den Einfluß der Betonfestigkeit mit $f_{cc}^{0,36}$ zu beschreiben.

Der Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} hängt stark von der Versagensart ab. Bei Verbunddübeln, bei denen in der Regel Betonversagen auftritt, hat die Betonfestigkeit f_{cc} einen größeren Einfluß als bei Dübeln, die hauptsächlich durch Herausziehen versagen. Betonversagen tritt bei Verbunddübeln mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} und mit hohen Verbundfestigkeiten τ_u auf.

2.2.4.4 Einfluß der Temperatur

Als weiterer Einfluß auf das Tragverhalten von Verbunddübeln wird von Lang (1979) die Temperatur im Verbundmörtel genannt. In Bild 2.25 sind die Zusammenhänge zwischen Verbundfestigkeit τ_u und Temperatur im Verbundmörtel aufgetragen. Bei Polyesterharzen nimmt mit zunehmender Temperatur die Verbundfestigkeit τ_u ab. Bei der für Poly-

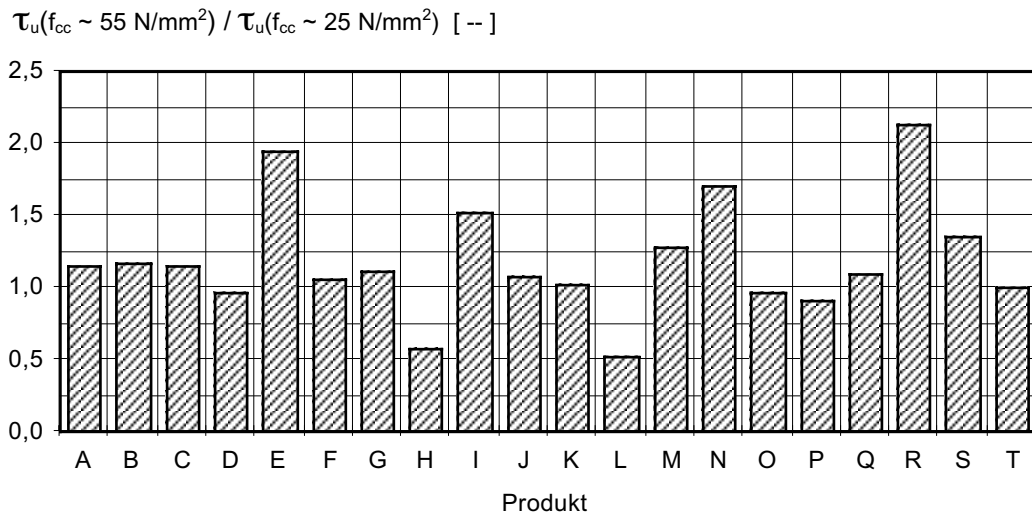


Bild 2.24: Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} auf die Verbundfestigkeit τ_u nach Cook (1994)

esterharze höchsten zulässigen Temperatur von 80°C ist mit einer Verminderung der Verbundspannung τ_u um 30% gegenüber der Verbundspannung τ_u bei Verbunddübeln mit einer Mörteltemperatur von $\sim 20^\circ\text{C}$ zu rechnen. Bei Venylesterharzen ist zunächst eine Abminderung der Verbundfestigkeit τ_u wie bei den Polyesterharzen zu erkennen. Bei 80°C nimmt die Verbundfestigkeit τ_u jedoch nach Lang (1979) wieder zu. Es wurde bis zu einer Temperatur von $T = 140^\circ\text{C}$ geprüft. Bei $T = 120^\circ\text{C}$ wurden ca. 90% der Verbundfestigkeit bei 20°C erreicht. Bei höheren Temperaturen ($>120^\circ\text{C}$) wird ein starker Abfall der Verbundfestigkeit τ_u beobachtet.

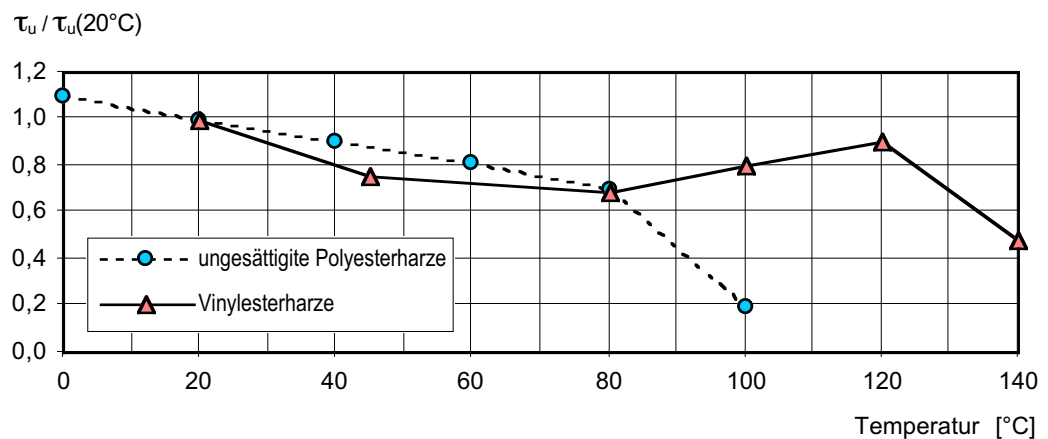


Bild 2.25: Verbundspannungen von Polyesterharzen und Vinylesterharzen bezogen auf die Verbundspannungen bei 20°C $\tau_u/\tau_u(20^\circ\text{C})$ in Abhängigkeit von der Temperatur des Verbundmörtels, nach Lang (1979)

Dieses Verhalten konnte allerdings durch andere Versuche (Upat (1989), Eligehausen, Varga (1996)) nicht bestätigt werden. Bei Epoxydharzen ist eine größere Abnahme der Verbundfestigkeit bei hohen Temperaturen festzustellen. Eine allgemeine Aussage über das Temperaturverhalten ist daher nicht möglich.

2.3 Tragverhalten von Einzeldübeln

2.3.1 Vorhandene numerische Untersuchungen an Einzelverbunddübeln

2.3.1.1 Untersuchungen von McVay, Cook und Krishnamurthy

Aufbauend auf dem von Sandler, DiMaggio und Baladi (1976) ursprünglich für Anwendungen in der Geotechnik entwickelten „cap model“ wurden von McVay, Cook, Krishnamurthy (1996) und Krishnamurthy (1996) numerische Untersuchungen an Einzelverbunddübeln durchgeführt. Berechnet wurde die Ausziehlast von Ankerstangen mit einem Durchmesser $d = 16 \text{ mm}$, wobei die Verankerungstiefe h_{ef} als Vielfaches des Durchmessers d variiert wurde.

Bei McVay, Cook, Krishnamurthy (1996) wurde auf Grund der numerischen Untersuchungen festgestellt, daß sich ein Ausbruchkegel an der Betonoberfläche zur gleichen Zeit ausbildet, zu der der Verbund im unteren Bereich versagt. Die berechneten Formen der Ausbruchkegel stimmen gut mit Versuchsergebnissen überein (Bild 2.26, Bild 2.27).

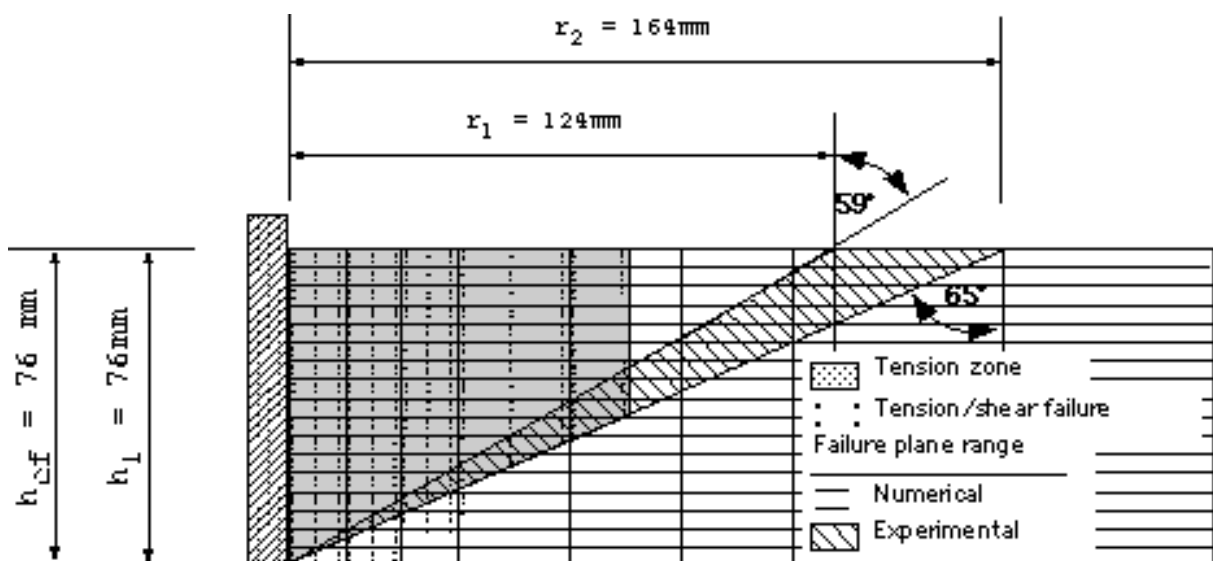


Bild 2.26: FE-Analyse eines Verbunddübels M16, $h_{ef} = 76 \text{ mm}$, Krishnamurthy (1996)

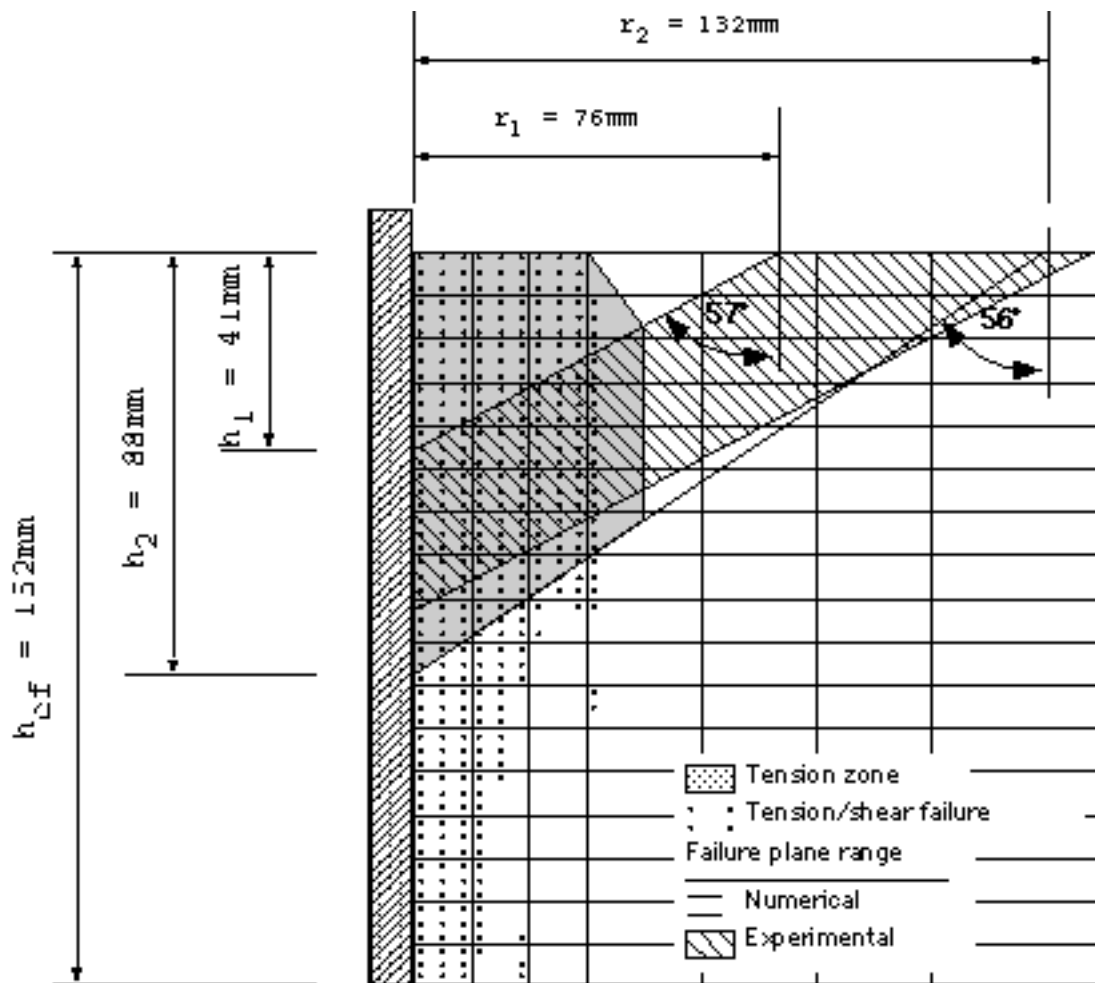


Bild 2.27: FE-Analyse eines Verbunddübels M16, $h_{ef} = 152 \text{ mm}$, Krishnamurthy (1996)

Aus den Ergebnissen der numerischen Untersuchungen wurde der Verlauf der Verbundspannungen entlang der Ankerstange ermittelt. Bild 2.28 zeigt, daß die Verbundspannungen τ bei Erreichen der Versagenslast N_U für Verankerungstiefen $h_{ef} \leq 24 d$ etwa konstant sind. Nur bei Dübeln mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 32 d$ wurden geringere Verbundfestigkeiten am Ende der Verankerungslänge ermittelt. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wird das „Uniform Bond Stress Model“ zur Berechnung der Versagenslast von Einzeldübeln mit Verankerungslängen $h_{ef} \leq 25 d$ empfohlen (Gl. (2.1)).

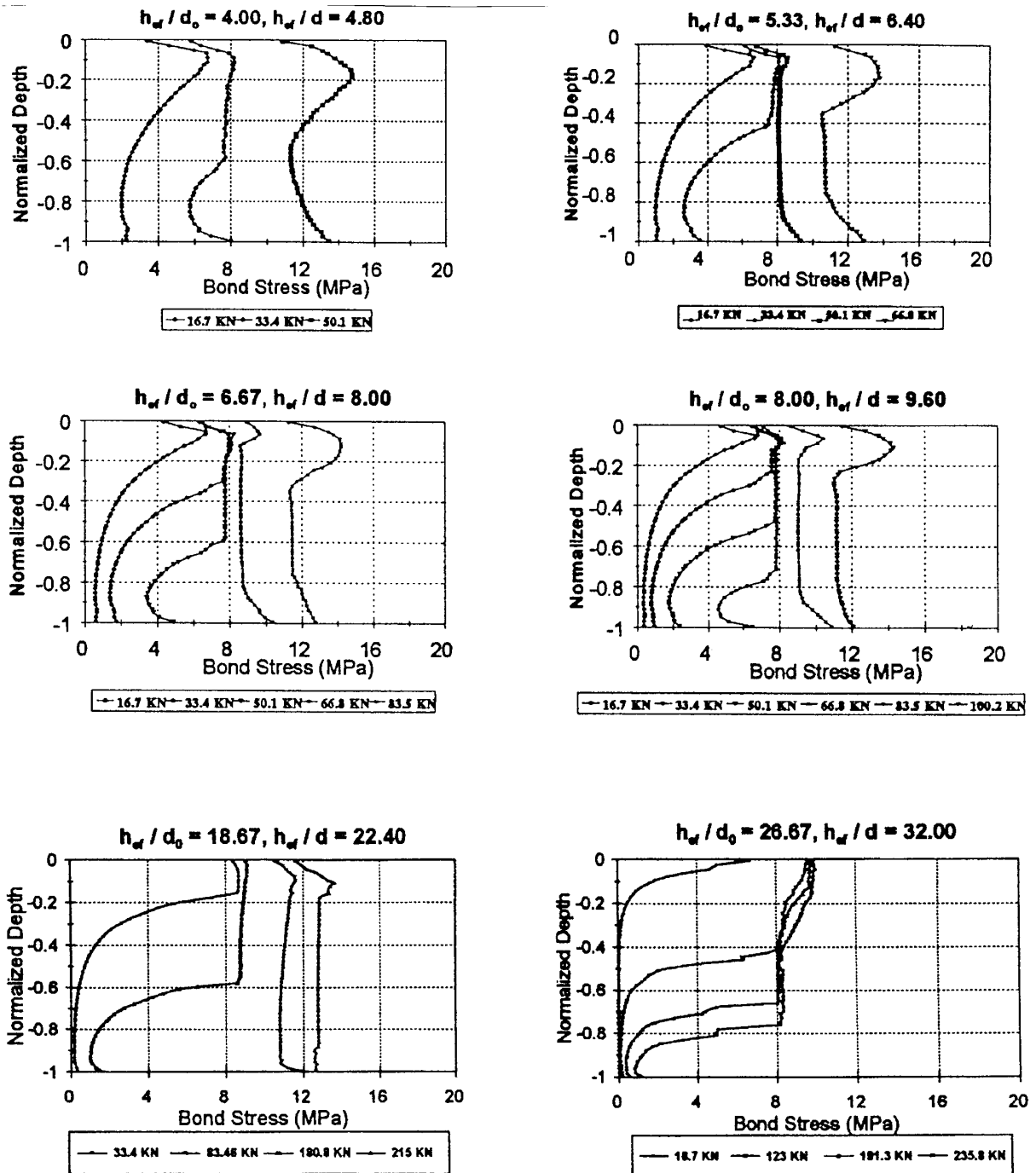


Bild 2.28: Verbundspannungen entlang des Dübels bei wachsender Last für verschiedene Verhältnisse h_{ef}/d , Krishnamurthy (1996)

2.3.1.2

FE-Simulationen von Pukl, Ozbolt (1997)

Mit den nichtlinearen Finite-Element-Programmen MASA und SBETA wurden von Pukl, Ozbolt (1997) umfangreiche wirklichkeitsnahe Rechnersimulationen von Bauteilbelastungen durch Einzelverbunddübel durchgeführt.

Das Programm MASA, das auf dem „Nonlocal Microplane Model“ aufbaut, wurde größtenteils in einer axialsymmetrischen (=2D) Version eingesetzt. Das axialsymmetrische Programm SBETA basiert auf dem Konzept der verschmierten Risse und der Rißbandtheorie.

In den Berechnungen wurden Befestigungen mit einem Ankerstangendurchmesser $d = 8 \text{ mm}$ und $d = 12 \text{ mm}$ untersucht. Die Ankerlänge betrug $2d$, $4d$, $8d$, $16d$ und $32d$. Es wurden eine weite und eine enge Abstützung angenommen. Bei den Ankergrundeigenschaften wurden vor allem die Betonzugfestigkeit f_{ct} , die Bruchenergie G_f sowie der Elastizitätsmodul E_c variiert. Beim Verbundmörtel wurde der Einfluß der Schubfestigkeit ($\tau_u = 5 / 10 / 20 \text{ N/mm}^2$) sowie die Dicke der Mörtelschicht ($d_0 - d = 1 / 3 / 20 \text{ mm}$) untersucht. Auch wurde die Empfindlichkeit des Mörtels auf Querspannungen überprüft. Es wurden insgesamt über 400 Berechnungen durchgeführt. Die Berechnungen von Pukl, Ozbolt (1997) zeigen:

- Verankerungen mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} versagen durch Betonausbruch. Bei tieferen Verankerungen versagt primär der Verbund. Der Ausbruchkegel an der Ankergrundoberfläche bildet sich erst kurz vor Erreichen der Höchstlast.
- Bild 2.29 zeigt, daß die Mörtelfestigkeit bei Verankerungen mit großen Verankerungstiefen h_{ef} einen größeren Einfluß auf die Bruchlast hat als bei Dübeln mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} , weil bei Verankerungen mit großen Verankerungstiefen h_{ef} Verbundversagen maßgebend wird.
- Unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} des betrachteten Verbunddübels bilden sich bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} \sim 6d$ ein Querdruckbereich und bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} \sim 12 d$ ein Querzugbereich. Daher ist der Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die Versagenslast N_u davon abhängig, ob angenommen wird, daß die Scherfestigkeit des Mörtels auf Querzugspannung empfindlich oder unempfindlich ist. (Bild 2.30).
- Die Betonfestigkeit f_{cc} (Bild 2.31) beeinflusst die Bruchlast N_u bei Verankerungen mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} bemerkbar, da bei

diesen Betonversagen auftritt. Dagegen ist bei großen Verankerungstiefen h_{ef} der Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} geringer.

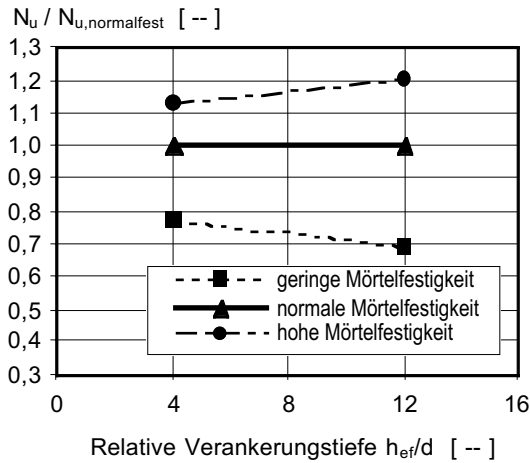


Bild 2.29: Einfluß der relativen Verankerungstiefe h_{ef} auf die Bruchlast N_u . Parameter ist die Schubfestigkeit des Mörtels, nach Pukl, Ozbolt (1997)

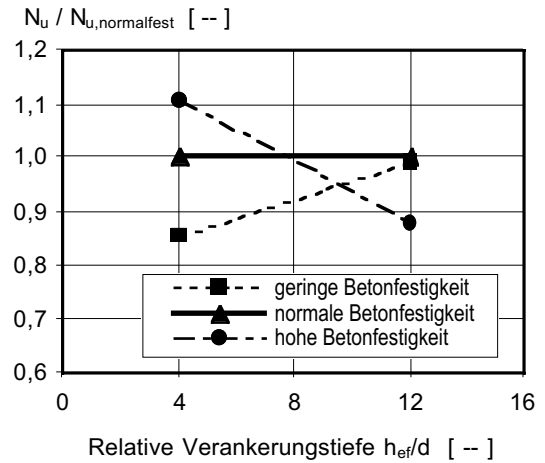


Bild 2.31: Einfluß der relativen Verankerungstiefe h_{ef} auf die Bruchlast N_u . Parameter ist die Betonfestigkeit, nach Pukl, Ozbolt (1997)

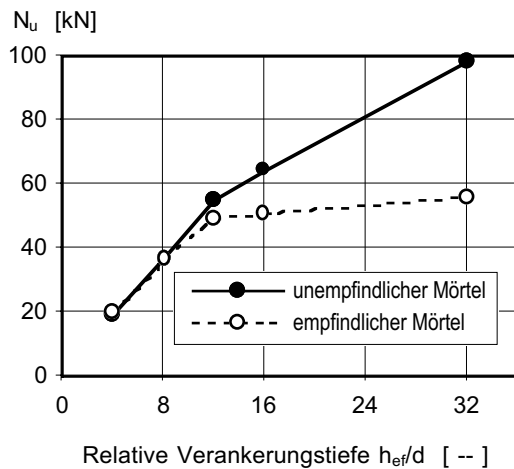


Bild 2.30: Einfluß der relativen Verankerungstiefe h_{ef} auf die Bruchlast N_u . Parameter ist die Empfindlichkeit der Scherfestigkeit des Mörtels auf Querspannung, nach Pukl, Ozbolt (1997)

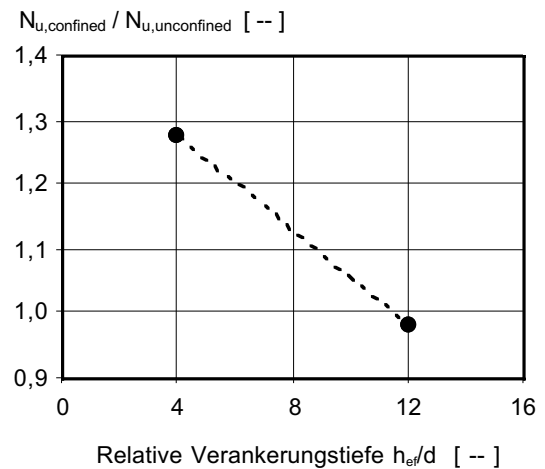


Bild 2.32: Einfluß der relativen Verankerungstiefe h_{ef} auf die Bruchlast N_u . Parameter ist die Art der Abstützung, nach Pukl, Ozbolt (1997)

- In Bild 2.32 ist der Einfluß der Abstützart aufgetragen. Bei Verankerungen mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} ist der Einfluß der Abstützart groß, da bei enger Abstützung Verbundversagen und bei weiter Abstützung Betonversagen auftritt. Bei Befestigungen mit großen Verankerungstiefen h_{ef} tritt bei enger und weiter Abstützung Verbundversagen auf. Daher sind dann bei weiter und enger Abstützung die Versagenslasten N_u ähnlich hoch.

2.3.1.3 Finite-Elemente-Analysen von Meszaros, Ozbolt, Jebera (1999)

Von Meszaros, Ozbolt, Jebera (1999) werden FEM-Berechnungen an Einzelverbunddübeln beschrieben, bei denen ebenfalls das Programm MASA eingesetzt wurde. Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die berechneten Anwendungsfälle.

DÜBELDURCHMESSER	VERANKERUNGSTIEFE		ENGE ABSTÜTZUNG		WEITE ABSTÜTZUNG	
	\varnothing [mm]	h_{ef} [mm]	h_{ef} / d [--]	B 25	B 55	B 25
M 8	32	4	X		X	
	64	8	X	X	X	X
	96	12	X		X	
M 12	48	4	X	X	X	X
	96	8	X	X	X	X
	144	12	X	X	X	X
	192	16	X	X	X	X
	288	24	X	X	X	X
	384	32	X	X	X	X
M 16	64	4	X		X	
	128	8	X	X	X	X
	192	12	X		X	

Tabelle 2.2: FEM-Berechnungen mit Einzelverbunddübeln nach Meszaros, Ozbolt, Jebera (1999)

Meszaros (2002) gibt einen Überblick über Materialparameter und Abmessungen des Ankergrundes sowie sonstige Randbedingungen wie z.B. die angenommenen Abstützungen. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Bei enger Abstützung nehmen die Verbundspannungen entlang der Ankerstange von der Betonoberfläche zur Dübelspitze zu. Der Unterschied der Verbundspannungen am oberen Bohrlochrand und an der Dübelspitze ist

gering. Es tritt immer Schubversagen in der Mörtelschicht auf. Die Verbundspannungen sind bis zu ~85% der Versagenslast N_u gleichmäßig über die Verankerungslänge verteilt.

- Bei weiter Abstützung ergeben sich für Dübel mit geringer Einbindetiefe ($h_{ef} \sim 4d$) bei 85% der Versagenslast erste Anzeichen für einen Ausbruchkegel. Bei der maximalen Last entstehen an der Dübelspitze Risse. Der Ausbruchkegel wird nach Erreichen der Höchstlast vollständig ausgebildet. Die Verbundspannungen sind sehr unterschiedlich über die Verankerungslänge verteilt.
- Bei Dübeln mit größeren Einbindetiefen ($h_{ef} \geq 8d$) werden bei weiter Abstützung die Zugkräfte nahezu gleichmäßig in die Verbundschicht eingeleitet. Beim Erreichen der Maximallast ergeben sich erste kleine Anrisse senkrecht zur Dübelachse. Nach Erreichen der Höchstlast beginnt sich im oberen Bereich des Dübels ($\sim 0,25 h_{ef}$) ein Ausbruchkegel auszubilden, der beim Abfall der Last seine endgültige Form und Größe erreicht ($\sim 0,85 F_u$). Am unteren Bereich des Dübels wird Schubversagen beobachtet.
- Die Verbundfestigkeit τ_u nimmt mit wachsendem Dübeldurchmesser d ab.
- Der Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die Verbundfestigkeit τ_u ist gering.
- Die Verbundfestigkeit τ_u ist abhängig von der Festigkeit des Ankergrundes. Mit zunehmender Betonfestigkeit f_{CC} steigt die Versagenslast N_u an.
- Bei weiter Abstützung wird eine Versagenslast N_u ermittelt, die bei 85% bis 95% der Versagenslast N_u bei enger Abstützung liegt. Mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} wird der Einfluß der Art der Abstützung geringer.

2.3.1.4 FE-Untersuchungen von Unterweger und Bergmeister

Von Unterweger (1999) wurde ebenfalls das Last-Verschiebungsverhalten von Einzeldübeln simuliert. Das Verhalten von Beton und Verbundmörtel wurde mit dem „cap model“ von Sandler, Dimaggio, Baladi (1976) beschrieben. Die Materialparameter für Beton wurden Krishnamurthy (1996) und Simo, Ju, Pister, Tayler (1998) entnommen. Die Materialparameter für den Verbundmörtel wurden mit Hilfe experimenteller Untersuchungen ermittelt.

Untersucht wurden Anker mit einem Durchmesser $d = 12$ und 16 mm. Die Verankerungstiefe h_{ef} wurde variiert. Der Durchmesser der Abstützung wurde mit $6 \cdot h_{ef}$ angenommen. Weiterhin wurde eine Störung des Verbundes an der Betonoberfläche untersucht, wobei die Länge des Störbereiches variiert wurde. Die Ergebnisse der Untersuchungen über den Einfluß des Störbereiches auf die Versagenslast N_U sind in Bild 2.33 und Bild 2.34 aufgetragen.

Die Untersuchungen von Unterweger und Bergmeister haben ergeben:

- Die Anfangssteigung der Last-Verschiebungskurven ist unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} .
- Die Länge des linearelastischen Bereiches der Last-Verschiebungskurve ist nahezu unabhängig von der Einbindetiefe.
- Die Versagenslast N_U nimmt etwa linear mit der Verankerungstiefe h_{ef} zu (Bild 2.34).
- Mit zunehmender Länge des Störbereiches nahe der Betonoberfläche nimmt die Versagenslast N_U nahezu proportional ab (Bild 2.33).

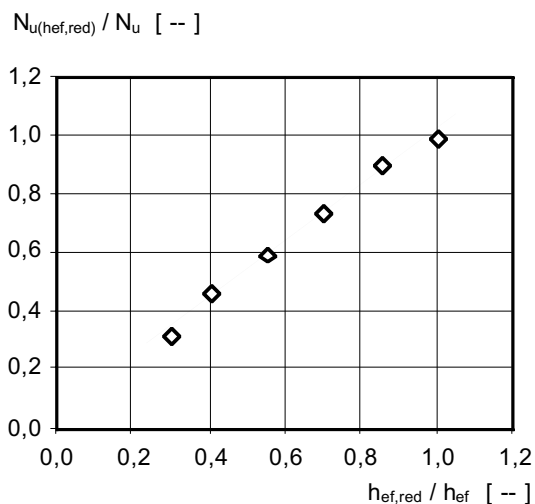


Bild 2.33: Abhängigkeit der Versagenslast von der Tiefe der Verbundstörung, nach Unterweger, Bergmeister (1999)

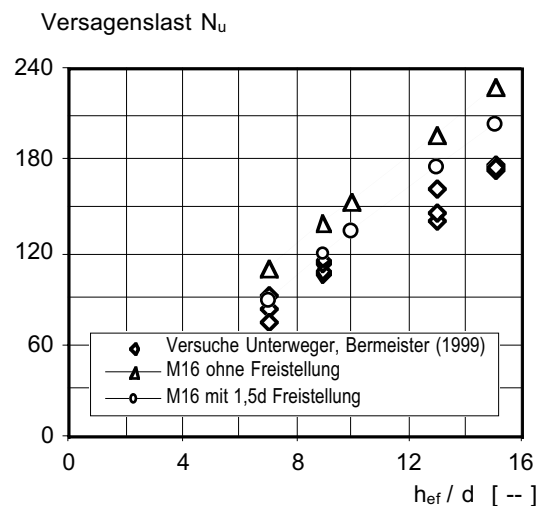


Bild 2.34: Einfluß der Verankerungstiefe auf die Tragfähigkeit von Ankern M16, nach Unterweger, Bergmeister (1999)

2.3.2 Vorhandene experimentelle Untersuchungen mit Einzeldübeln

2.3.2.1 Versuche mit Einzeldübeln in der Bauteilfläche

Zur Auswertung von Versuchen mit Verbunddübelgruppen (HEG (1993), Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), ITW (1988), Sell (1974)) wurden Versuche mit Einzelbefestigungen durchgeführt. Dabei waren die Dübel in ausreichend dicken Bauteilen so gesetzt, daß die erreichten Versagenslasten frei von Rand- und Achseinflüssen waren.

Ergebnisse von Versuchen mit Einzeldübeln sind im Anhang A in den Tabellen A3 (HEG (1993)), A6 (ITW (1988)), A10 (Sell (1974)) und A14 (Höhere Technische Bundes- Lehr und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1)) zusammengestellt. Bei den von der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte. Die Einzelwerte liegen dem Verfasser nicht vor.

Bei Meszaros (2002) sind weitere 1090 Versuche mit Einzelverbunddübeln beschrieben. Diese wurden durchgeführt, um das Tragverhalten von Einzelverbunddübeln unter zentrischer Belastung zu untersuchen. Dabei wurden geometrische Parameter (Verankerungslänge h_{ef} , Dübeldurchmesser d und Bohrlochdurchmesser d_0), Montagebedingungen (Bohrlochreinigung, Feuchtigkeit und Wasser im Bohrloch, Betonalter), Einflüsse des Verankerungsgrundes (Betondruckfestigkeit, Zuschlagkörnung, Oberflächenrauigkeit des Bohrloches, Betonalter), Eigenschaften des Verbundmörtels (Gelierzzeit, Viskosität) und Versuchsrandbedingungen (Abstützart, Abstützfläche, Durchmesser der Abstützung) untersucht. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen von Meszaros (2002) werden innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht weiter ausgewertet.

Von Cook (1994) wurden 819 Versuche mit Einzeldübeln durchgeführt. Untersucht wurde der Einfluß des Mörteltyps, der Einfluß von Dübeldurchmesser und der Dübellänge sowie des Ringspalt, der Einfluß der Betonfestigkeit, der Einfluß der Bohrlochreinigung sowie der Einfluß von Wasser im Bohrloch. Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurde bereits verschiedentlich hingewiesen (Bild 2.11, Bild 2.22, Bild 2.23, Bild 2.24). Eine weitere Auswertung dieser Versuche innerhalb der vorliegenden Arbeit erfolgt nicht.

2.3.2.2 Versuche mit Einzeldübeln am Bauteilrand

2.3.2.3 Einzelbefestigungen an einem Bauteilrand

In den Tabellen A2 (HEG (1993)), A5 (ITW (1988)) A8 (Sell (1974)) und A13 (Höhere Technische Bundes- Lehr und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1)) im Anhang A sind die Versagenslasten der Versuche an einem Bauteilrand aus der Literatur zusammengestellt. Für die Versuche der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) liegen dem Verfasser keine Einzelwerte, sondern nur die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen vor. Versuche an einem Bauteilrand liegen bis zu einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 210$ mm vor. Die größten untersuchten Randabstände betragen $c = 1,5 h_{ef}$.

2.3.2.4 Einzelbefestigungen in der Bauteilecke

Von Sell (1974) sind einige Versuche beschrieben, bei denen Einzelverbunddübel in der Ecke geprüft wurden. Tabelle A7 in Anhang A gibt einen Überblick über diese Versuche.

2.3.2.5 Auswertung der vorhandenen experimentellen Untersuchungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand

Die experimentellen Untersuchungen mit randnahen Verbunddübeln aus HEG (1993), ITW (1998), Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2) werden mit den Ergebnissen der Untersuchungen an Einzeldübeln in der Bauteilfläche, die hinsichtlich Ankerstangendurchmesser d , Verankerungstiefe h_{ef} , Betonfestigkeit des Ankergrundes f_{cc} und des verwendeten Verbundmörtels übereinstimmen, verglichen. In Bild 2.35 wird das Verhältnis der Versagenslast der randnahen zum randfernen Verbunddübel $N_{u,edge} / N_{u,single}$ über dem Verhältnis Randabstand zu Verankerungstiefe c/h_{ef} dargestellt.

In Bild 2.35 ist die Linie mit dem angenommenen Verlauf des Verhältnisses der Versagenslast der randnahen Befestigung zur Versagenslast der Befestigung in der Bauteilfläche $N_{u,corner} / N_{u,single}$ eingetragen. Dabei wird davon ausgegangen,

daß beim Randabstand $c = 0 \cdot h_{ef}$ die Versagenslast der randnahen Befestigung $N_{u,corner}$ noch 35% der Versagenslast der Befestigung in der Bauteilfläche entspricht. Bei einem Randabstand $c = 1,0 h_{ef}$ wird die volle Tragkraft des Einzeldübels in der Bauteilfläche $N_{u,single}$ erreicht. Die Linie entspricht dem Vorschlag Rehm, Elighausen, Mallée (1988).

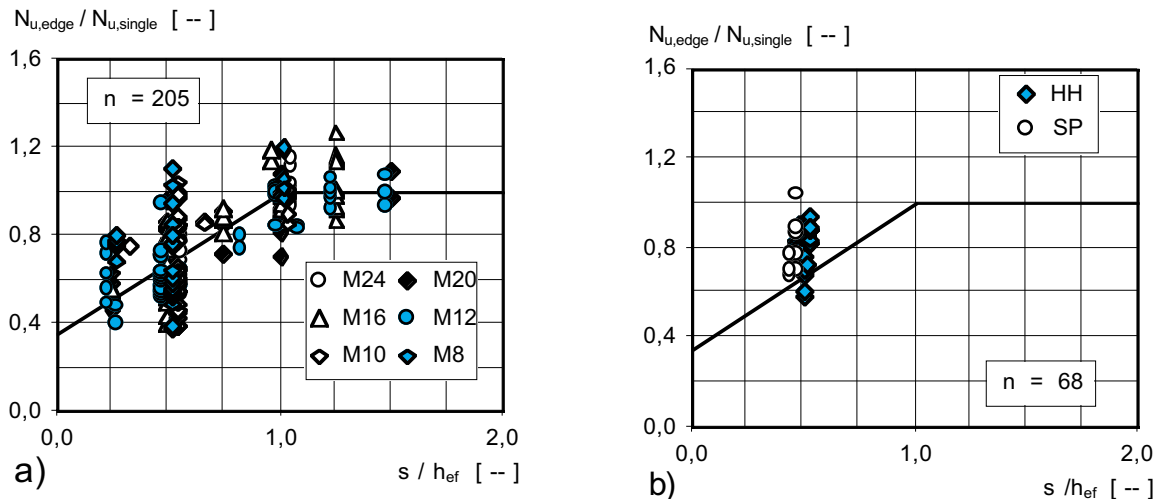


Bild 2.35: Versagenslasten von randnahen Verbunddübeln zur Versagenslast des Verbunddübels in der Bauteilfläche $N_{u,edge} / N_{u,single}$

- a) Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1)
- b) HEG (1993), ITW (1988),

In den Berichten der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) sind wie schon erwähnt nur Mittelwerte angegeben. Die eingetragenen Datenpunkte sind fiktive Versuchswerte, die mit Hilfe des Mittelwertes und des Variationskoeffizienten gebildet wurden.

In Bild 2.35 ist eine gute Übereinstimmung des Verhältnisses der Versagenslast der randnahen Befestigung zur Versagenslast der Befestigung in der Bauteilfläche $N_{u,corner} / N_{u,single}$ mit der nach Rehm, Elighausen, Mallée (1988) eingetragenen Linie zu erkennen. Für die in Abhängigkeit vom Ankerstangendurchmesser d vorhandenen Verankerungstiefen $8d \leq h_{ef} \leq 12d$ ist bei Verbunddübeln bis zu einem Randabstand $c < 1,0 h_{ef}$ mit einer Verminderung der Versagenslast N_u zu rechnen.

2.4 Tragverhalten von Gruppenbefestigungen

1.1.1 Bruchmechanische Analyse von Verbunddübelgruppen von Schou, Christiansen, Andersen (1996)

2.4.1.1 Durchgeführte Berechnungen

Von Schou, Christiansen, Andersen (1996) wurden erstmals FE-Berechnungen an Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln durchgeführt. Es wurde die 3D-Version des Programms MASA eingesetzt. Berechnet wurden Dübel mit einem Durchmesser $d = 12$ mm. Variiert wurden die Verankerungstiefe h_{ef} und der Achsabstand s nach Tabelle 2.3. In Bild 2.36 und Bild 2.37 sind die berechneten Versagenslasten aufgetragen.

VERANKERUNGSTIEFE		ACHSABSTAND	
h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}
mm	-----	mm	-----
48	4	48	1,0
		72	1,5
96	8	48	0,5
		98	1,0
		144	1,5
144	12	72	0,5
		144	1,0
192	16	48	0,25

Tabelle 2.3: FE-Berechnungen mit Verbunddübelgruppen, nach Schou, Christiansen, Andersen (1996)

Die FE-Berechnungen von Schou, Christiansen, Andersen (1996) orientieren sich an den experimentellen Untersuchungen von Hilt (1996) bezüglich Ankerstangendurchmesser d , Verankerungstiefe h_{ef} und Achsabstand s sowie der Materialparameter.

Bei den Berechnungen von Schou, Christiansen, Andersen (1996) wurden die Schubspannungen entlang der Ankerstange für ausgewählte Berechnungsfälle ermittelt. Diese wurden als Mittelwert aus den 8 Eckpunkten eines Elementes berechnet. Es wurden die Schubspannungen außen (weg von benachbarten Dübeln) bzw. innen (hin zu benachbarten Dübeln) unterschieden. Vier Anwendungsfälle mit unterschiedlichen Brucharten für verschiedene Lastfälle vor, bei und nach Höchstlast sind in Bild 2.38 dargestellt. Die Bilder zeigen, daß Betonaus-

bruch/Herausziehen die Verbundspannungen auf der Innenseite (zum Nachbardübel hin) niedriger sind als auf der Aussenseite. Dies wird von den Autoren durch Zugspannungen im Bereich zwischen benachbarten Dübeln erklärt.

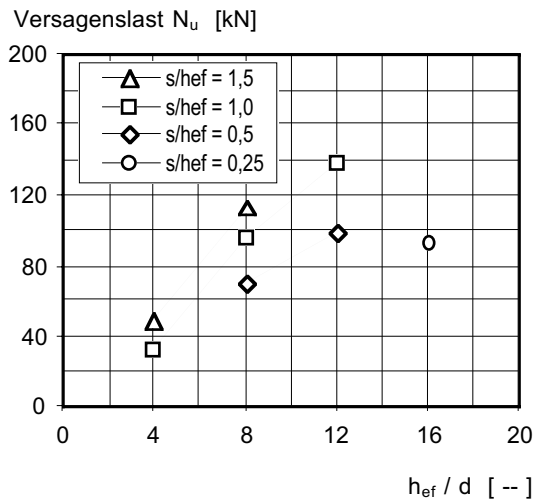


Bild 2.36: Ergebnisse der FEM-Rechnungen nach Schou, Christiansen, Andersen (1996): Versagenslast N_U über h_{ef}/d

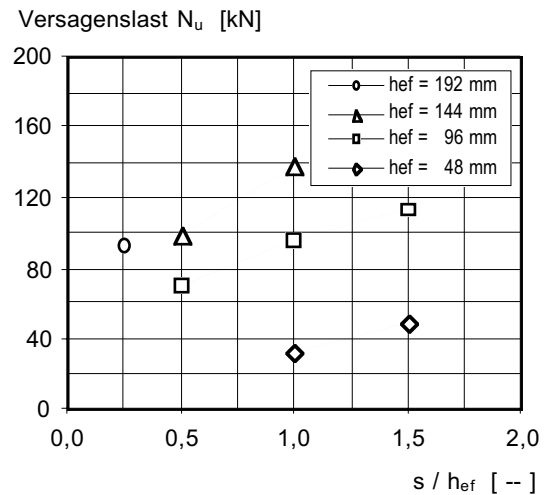


Bild 2.37: Ergebnisse der FEM-Rechnungen nach Schou, Christiansen, Andersen (1996): Versagenslast N_U über s/h_{ef}

2.4.1.2 Vergleich der Ergebnisse der numerischen mit den experimentellen Untersuchungen

2.4.1.2.1 Versagensarten

Tabelle 2.4 enthält eine Gegenüberstellung der bei den numerischen Untersuchungen ermittelten und der in experimentellen Untersuchungen beobachteten Versagensarten. Für große Verankerungstiefen h_{ef} und große Achsabstände s wird in den numerischen Untersuchungen Verbundversagen ermittelt. Bei den Versuchen von Hilt (1996) trat dagegen noch kombiniertes Betonversagen mit Verbundbruch auf.

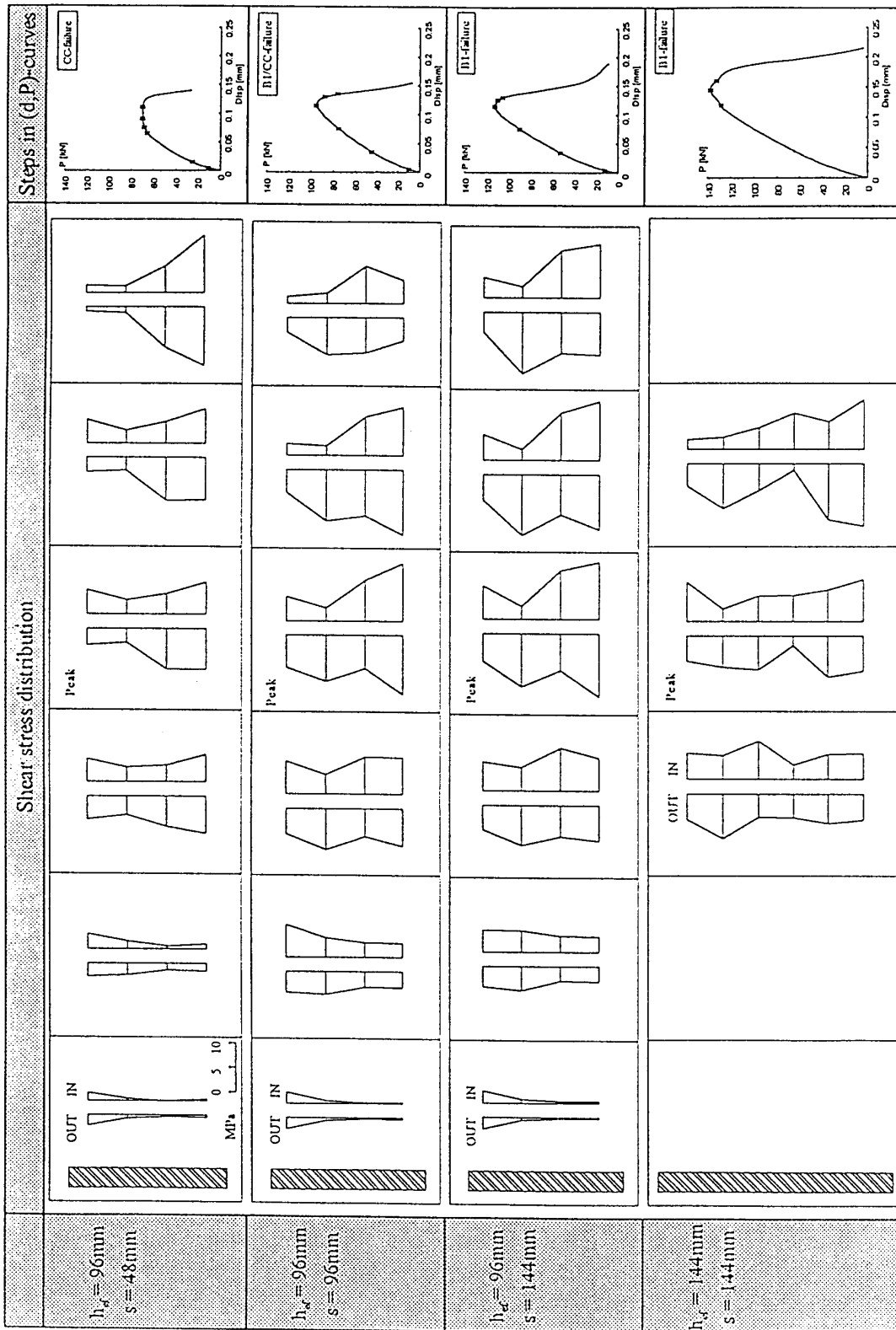


Bild 2.38: Schubspannungen entlang eines Verbunddübels einer Vierfachbefestigung bei verschiedenen Laststufen, nach Schou, Christiansen, Andersen (1996)

VERANKERUNGS TIEFE		VERANKERUNGS TIEFE		VERSAGENSART	
h_{ef} [mm]	h_{ef} / d [--]	s [mm]	s / h_{ef} [--]	FE-Rechnung	Experimentelle Untersuchungen
48	4	48	1,0	CC	3xCC / 2xCCB
96	8	48	0,5	CC	3xCCB
		96	1,0	CC / B1	1xCC / 5xCCB
		144	1,5	B1	2xCC / 1xCCB
144	12	72	0,5	B	2xCC / 1xCCB
		144	1,0	B1	3 x CCB

Tabelle 2.4: Gegenüberstellung der Versagensarten aus den numerischen (Schou, Christiansen, Andersen (1996) und experimentellen (Hilt (1996) Untersuchungen an Verbundankern M12 unter zentrischer Zugbelastung

2.4.1.2.2. Last-Verschiebungsverhalten

Das von Schou, Christiansen, Andersen (1996) berechnete Last-Verschiebungsverhalten der Gruppenbefestigungen wird mit den Untersuchungen verglichen (Bild 2.39). Es ist zu erkennen, daß die numerisch ermittelten Verschiebungen beim Versagen ungefähr 10 mal kleiner sind als die in experimentellen Untersuchungen festgestellten.

2.4.1.2.3. Versagenslasten

In Tabelle 2.5 sind die numerisch und experimentell ermittelten Versagenslasten für vergleichbare Gruppenbefestigungen gegenübergestellt. Die numerischen Versagenslasten $N_{u,calc}$ liegen im Mittel ungefähr 20% unter den experimentellen Versagenslasten $N_{u,test}$

Dies zeigt auch Bild 2.40. Darin ist zu erkennen, daß die Versagenslasten N_u bei Verankerung mit geringer Verankerungstiefe h_{ef} , bei denen Betonversagen auftritt, gut simuliert werden können. Bei sehr großen Verankerungstiefen h_{ef} besteht keine vollkommene Übereinstimmung mehr zwischen numerischen und experimentellen Versagenslasten.

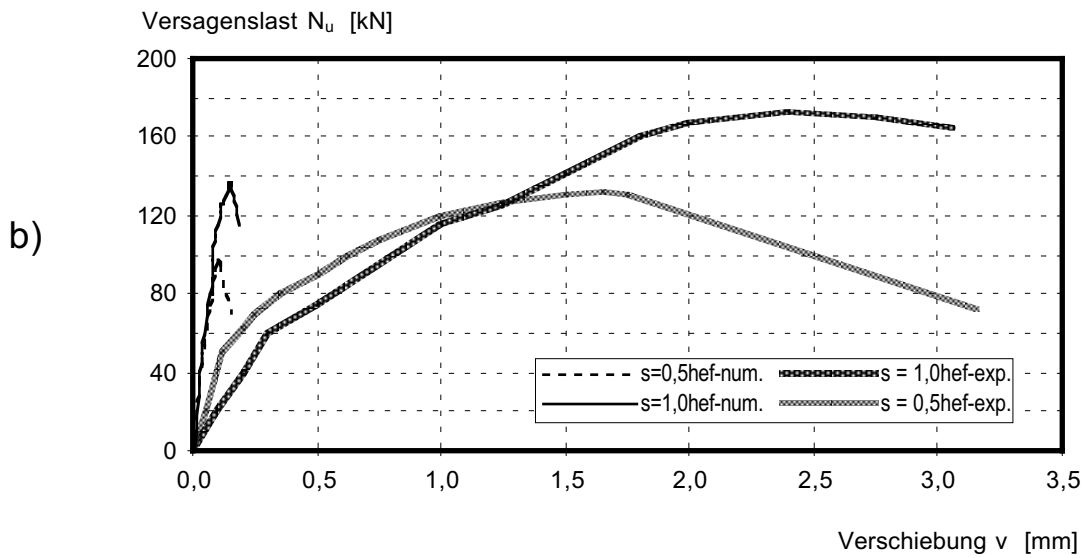
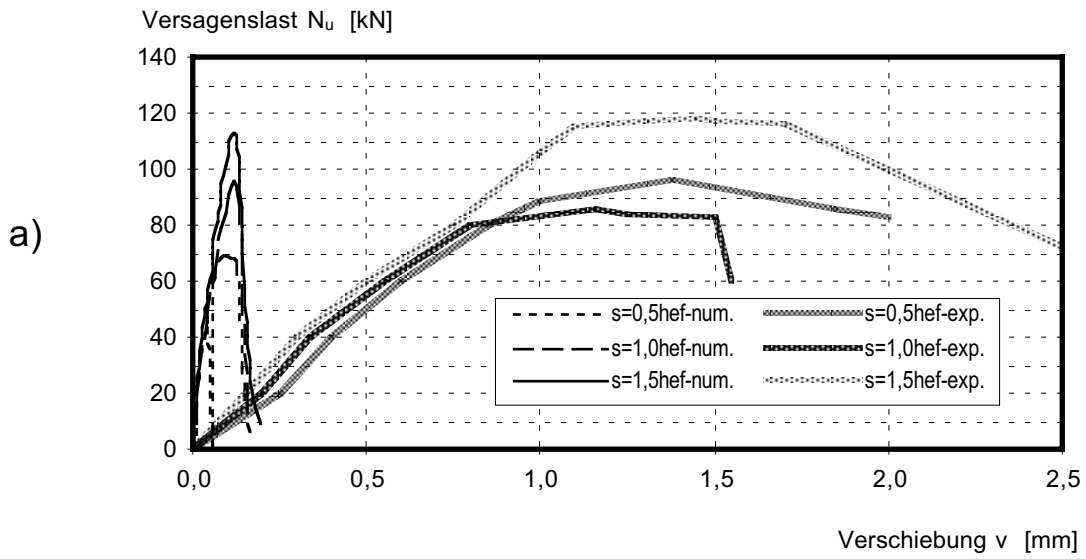


Bild 2.39: Last-Verschiebungskurven von Verbundankern M12 unter zentrischer Zugbelastung, numerische (Schou, Christiansen, Andersen (1996)) und experimentelle (Hilt (1996)) Untersuchungen

a) $h_{ef} = 96 \text{ mm}$

b) $h_{ef} = 144 \text{ mm}$

VERANKERUNGS TIEFE		ACHSABSTAND		VERSAGENSLAST		$N_{u,calc} / N_{u,test}$
h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	$N_{u,calc}$	$N_{u,test}$	
mm	-----	mm	-----	kN	kN	-----
48	4	48	1,0	24	35	0,69
96	8	48	0,5	70	89	0,77
		96	1,0	96	107	0,90
		144	1,5	113	155	0,73
144	12	72	0,5	98	127	0,77
		144	1,0	138	163	0,85

Tabelle 2.5: Gegenüberstellung der Versagenlasten aus den numerischen (Schou, Christiansen, Andersen (1996)) und experimentellen (Hilt (1996)) Untersuchungen an Verbundankern M12 unter zentrischer Zugbelastung

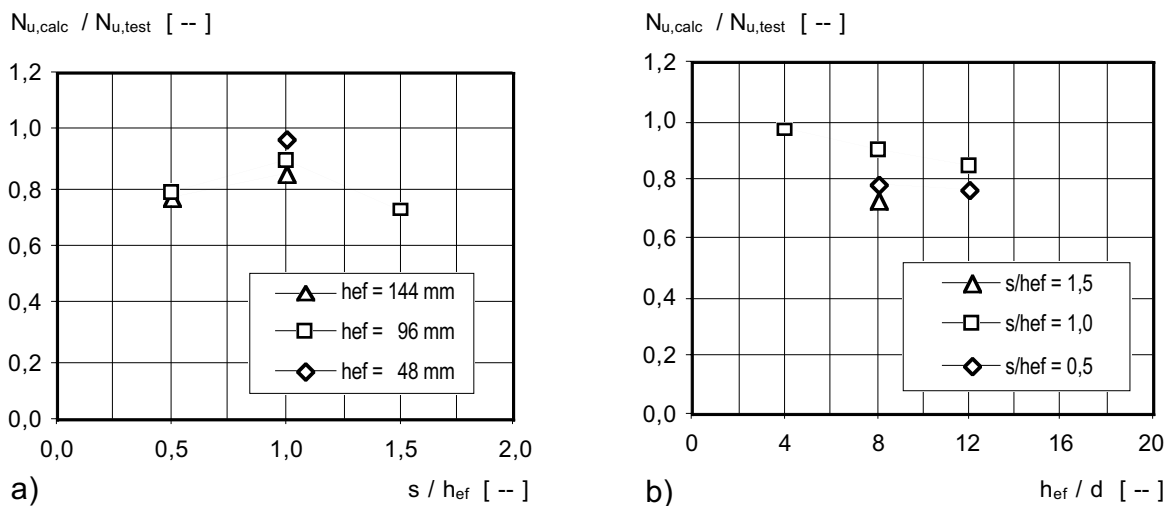


Bild 2.40: Vergleich der numerische ermittelten Bruchlasten $N_{u,calc}$ von Schou, Christiansen, Andersen (1996) und der experimentellen Bruchlasten $N_{u,test}$ (Hilt (1996))

a) $N_{u,calc} / N_{u,test}$ über s / h_{ef}

b) $N_{u,calc} / N_{u,test}$ über h_{ef} / d

2.4.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der FE-Untersuchungen von Schou, Christiansen, Andersen (1996)

Einzeldübel wurden von Schou, Christiansen, Andersen (1996) nicht berechnet. Daher kann über das Verhältnis der Versagenslast einer Gruppenbefestigung zu Versagenslast einer Einzelbefestigung $N_{u,group} / N_{u,single}$ nichts ausgesagt werden.

Die Ergebnisse der Berechnungen von Schou, Christiansen, Andersen (1996) sind:

- Bei gleichem Verhältnis s/h_{ef} ist eine Abhängigkeit der Höhe der Verbundfestigkeit τ_u von der Verankerungstiefe h_{ef} nicht eindeutig festzustellen.
- Bei kleinen Verhältnissen s / h_{ef} tritt Betonausbruch auf. Bei großen Verhältnissen s / h_{ef} wird Verbundbruch beobachtet.
- Die Wahl der Finite-Elemente-Netze hat einen Einfluß auf die Verteilung der Verbundspannungen τ an der Innen- und Außenseite der Dübel.
- Es besteht ein Zusammenhang zwischen Versagensart und der Verteilung der Verbundspannungen τ auf der Innen- und Außenseite der Dübel. Betonausbruch ergibt eine gleichmäßigere Verteilung der Verbundspannungen τ auf der Innen- und Außenseite der Ankerstange als bei Herausziehen. Das bedeutet, daß die Verbundspannungen τ entlang der Verankerungslänge eines Dübels von benachbarten Dübeln beeinflusst werden.

2.4.2 Vorhandene experimentelle Untersuchungen mit Verbunddübelgruppen

2.4.2.1 Vierfachbefestigungen

In Tabelle A12 im Anhang A sind die Versuche der Höheren Technischen Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), zusammengestellt. Bei den Versagenslasten handelt es sich um Mittelwerte. Dem Verfasser sind keine Einzelwerte bekannt. Einige der Versuche wurden mit geringem Randabstand durchgeführt.

Von Sell (1983) sind weitere Versuche mit Vierfachbefestigungen angegeben. Bei diesen Versuchen wurden die Ankerstangen unter Verwendung mehrerer Patronen mit doppelter Verankerungstiefe h_{ef} eingebaut, was zu Stahlversagen führte. Da weder Betonversagen noch Verbundversagen auftrat, werden diese Versuche in den weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt.

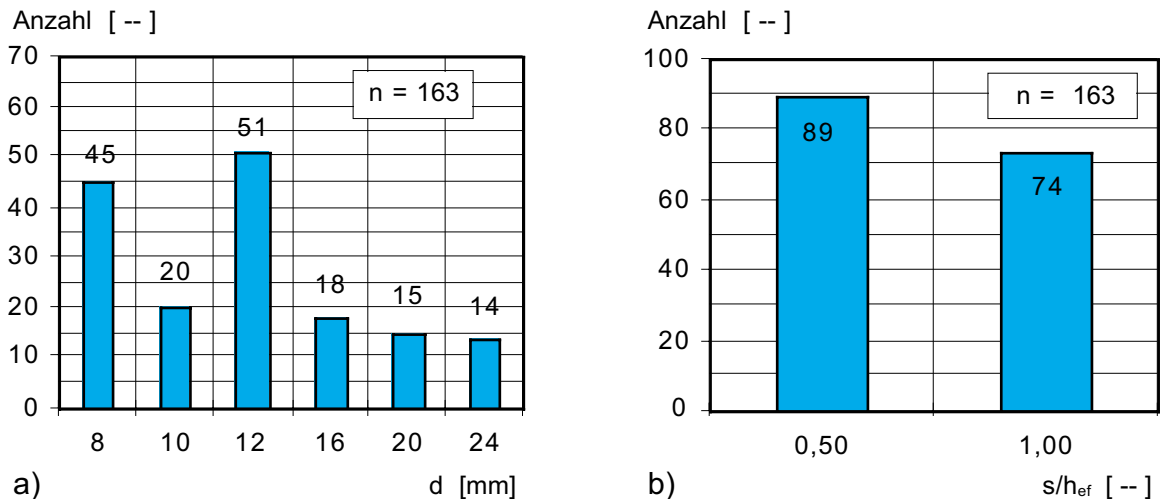


Bild 2.41: Verteilung der zentrischen Zugversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln der Versuche der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2)

a) Durchmesser d

b) Verhältnis s / h_{ef}

In Bild 2.41 ist die Häufigkeit der Versuche über dem Dübeldurchmesser und dem Verhältnis Achsabstand zur Verankerungstiefe s / h_{ef} aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß 116 der 163 Versuche mit Dübeldurchmessern 8 mm, 10 mm und 12 mm durchgeführt wurden. Die gewählten Achsabstände betragen $s = 0,5 h_{ef}$ und $s = 1,0 h_{ef}$.

2.4.2.2 Zweifachbefestigungen

Versuche mit Zweifachbefestigungen sind in HEG (1993), Höhere Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), ITW (1988) und Sell (1974) beschrieben. In Tabelle A1 und Tabelle A4 im Anhang A sind die Ergebnisse der Versuche mit Zweifachbefestigungen mit Injektionsdübeln zusammengestellt. Die Ergebnisse der Versuche mit Patronendübeln sind in

Tabelle A7 angegeben. Bei den Versuchen der Höheren Technischen Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) sind dem Verfasser nur die Mittelwerte bekannt. Diese sind in Tabelle A11 zusammengefaßt.

Von Sell (1974) wurden teilweise mehrere Versuche mit gleichem Achsabstand in verschiedenen Versuchskörpern mit unterschiedlicher Betonfestigkeit durchgeführt. In Tabelle A17 wurden Versuche, die in Versuchskörpern mit gleicher Betonfestigkeit durchgeführt wurden, zu einer Versuchsreihe zusammengefaßt.

Bei den Versuchen der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) wurden vor allem Zweifachbefestigungen mit einem Achsabstand $s = 0,5 h_{ef}$ und $s = 1,0 h_{ef}$ geprüft. Von Sell (1974) waren Achsabstände $s \geq 1,0 h_{ef}$ gewählt. Bei HEG (1993) und ITW (1988) betrug der Achsabstand $s = 0,5 h_{ef}$.

2.4.2.3 Auswertung der vorhandenen experimentellen Untersuchungen an Verbunddübelgruppen

Die experimentellen Untersuchungen an Gruppenbefestigungen aus HEG (1993), ITW (1998), , Sell (1974), Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2) werden mit den Ergebnissen der Untersuchungen an Einzeldübeln, die hinsichtlich Ankerstangendurchmesser d , Verankerungstiefe h_{ef} , Betonfestigkeit des Ankergrundes f_{cc} und des verwendeten Verbundmörtels übereinstimmen, verglichen. Hierfür wird das Verhältnis der Versagenslast einer Gruppenbefestigung $N_{u,group}$ zur vierfachen bzw. zweifachen Versagenslast des im Hinblick auf Ankerstangendurchmesser d , Verankerungstiefe h_{ef} und Betonfestigkeit f_{cc} vergleichbaren Einzeldübels $N_{u,single}$ über dem Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s/h_{ef} aufgetragen.

Bei den Versuchen der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2) sind wie schon erwähnt nur Mittelwerte angegeben. Die eingetragenen Datenpunkte entsprechen fiktiven Versuchswerten, die mit Hilfe des Mittelwertes und des Variationskoeffizienten gebildet wurden.

In Bild 2.42 sind die Versuche mit Vierfachbefestigungen der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2) ausgewertet. Bild 2.43 zeigt die Versuche mit Zweifachbefestigungen der Bundes-

Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1). In Bild 2.45 sind die Zweifachbefestigungen mit Injektionsdübeln von HEG (1993) und ITW (1988) dargestellt.

In Bild 2.42, Bild 2.43, Bild 2.44 und Bild 2.45 ist jeweils eine Linie mit dem angenommenen Verlauf des Verhältnisses der Versagenslast der Gruppenbefestigung zur vierfachen Versagenslast der Einzelbefestigung $N_{u,group} / N_{u,single}$ nach dem Model von Rehm, Eligehausen, Mallée (1988) eingetragen. Dabei wird davon ausgegangen, daß beim Achsabstand $s = 0 \cdot h_{ef}$ die Versagenslast der Gruppenbefestigung $N_{u,group}$ der des Einzeldübel $N_{u,single}$ entspricht, und daß bei einem Achsabstand $s = 2,0 h_{ef}$ die volle Tragkraft aller Einzeldübeln $n \cdot N_{u,single}$ erreicht wird.

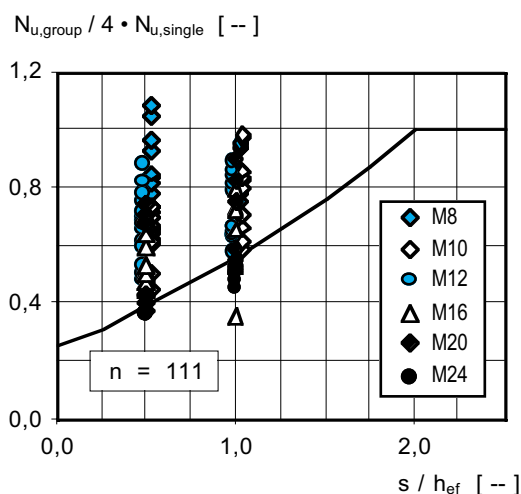


Bild 2.42: Versagenslasten der Gruppenbefestigung zur vierfachen Versagenslast des Einzeldübel $N_{u,group} / N_{u,single}$, Versuche der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2)

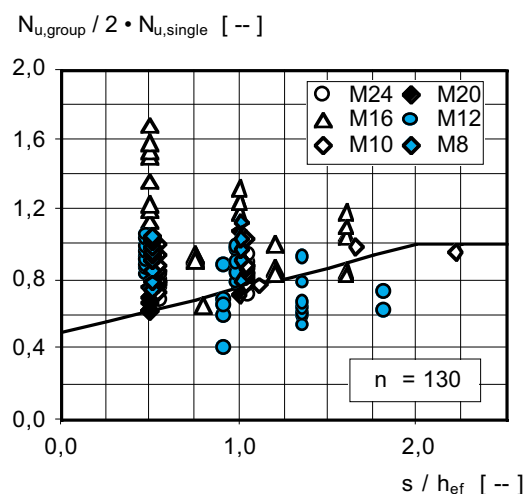


Bild 2.43: Versagenslasten der Gruppenbefestigung zur zweifachen Versagenslast des Einzeldübel $N_{u,group} / N_{u,single}$, Versuche der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1)

In Bild 2.43 fällt auf, daß bei den Versuchen mit Patronendübeln M16 das Verhältnis $N_{u,group} / N_{u,single}$ schon bei einem Verhältnis $s/h_{ef} = 0,5$ über 1,0 ansteigt. Dies ist auf die geringen Ausziehlasten der Einzeldübel zurückzuführen. Ferner ist zu beachten, daß die Versuche mit Einzeldübeln und mit Gruppenbefestigungen größtenteils in verschiedenen Prüfkörpern durchgeführt wurden, die auch teilweise nicht die gleiche Betonfestigkeit f_{CC} aufwiesen.

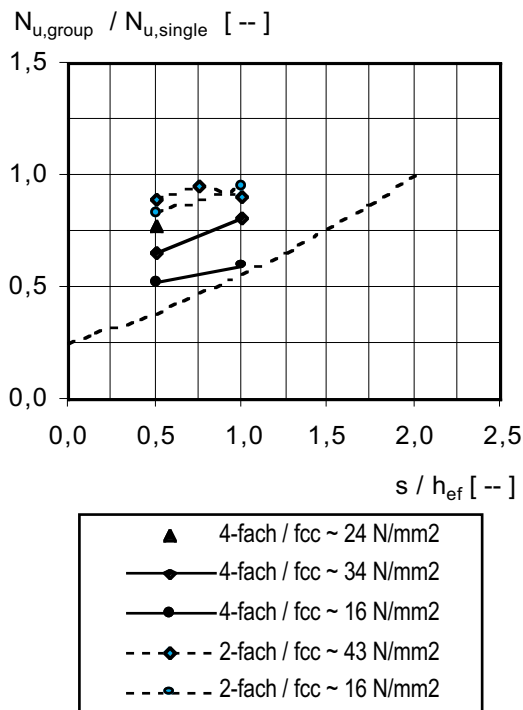


Bild 2.44: Versagenlasten der Gruppenbefestigung zur n-fachen Versagenlast des Einzeldübels $N_{u,group} / N_{u,single}$, Mittelwerte der Versuche der Höheren Technischen Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1)

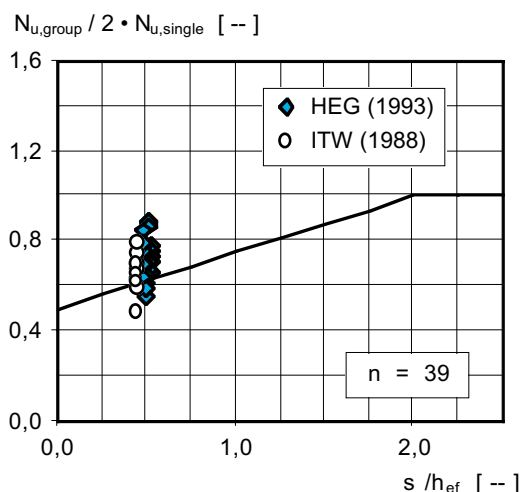


Bild 2.45: Versagenlasten der Gruppenbefestigung zur zweifachen Versagenlast des Einzeldübels $N_{u,group} / N_{u,single}$, Versuche von HEG (1993) ITW (1988)

In Bild 2.44 sind die Mittelwerte der Versuche mit Zweifach- und Vierfachbefestigungen der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2) nach Betonfestigkeitsklassen geordnet zusammengestellt.

Es ist zu erkennen, daß der bei Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) angegebene Wert für den kritischen Achsabstand $s_{cr} = 2 h_{ef}$ auf der sicheren Seite liegt.

Auch bei den Versuchen mit Zweifachbefestigungen von HEG (1993) und ITW (1988) in Bild 2.45 zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Ansatz $s_{cr} = 2 h_{ef}$. Es ist zu beachten, daß bei den Versuchen von HEG (1993), von ITW (1988) und Sell (1974) und den Versuchen der Höheren Technischen Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1) und (1980/2) handelsübliche Verbunddübel mit einer Verankerungslänge $h_{ef} = 8d$ bis $12d$ eingesetzt wurden.

2.5 Vorhandene Bemessungsmodelle

2.5.1 Allgemeines

In der Literatur finden sich verschiedene Modelle zur Berechnung der Versagenslasten von Dübeln bzw. speziell von Verbunddübeln. Folgende Modelle zur Bestimmung der Tragkraft von Befestigungen mit Verbunddübeln werden erläutert:

- Rehm, Eligehausen, Mallée (1988)
- CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995))
- Kunz, Cook, Fuchs, Spieth (1998)
- EOTA (1999)
- SIA 179 (1998)

Die mit den vorliegenden Berechnungsmodellen berechneten Versagenslasten werden in Abschnitt 5 mit den Ergebnissen von zahlreichen Versuchen (Befestigungen am Bauteilrand sowie Gruppenbefestigungen) verglichen.

2.5.2 Rehm, Eligehausen, Mallée

Bei Rehm, Eligehausen, Mallée (1988) wird Gl. (2.2) zur Berechnung der Versagenslast eines Einzeldübeln bei Betonbruch angegeben:

$$N_{u,c} = 0,85 \cdot h_{ef}^2 \cdot f_{cc}^{0,5} \quad (2.2)$$

Diese Gleichung wurde durch die Auswertung von Versuchen mit Glaspatronendübeln ermittelt. Bei diesen Untersuchungen betrug das Verhältnis $h_{ef} / d \sim 8$ bis 10, im Mittel ungefähr 9. Die unterschiedlichen Verankerungstiefen h_{ef} wurden durch unterschiedliche Dübel Durchmesser d erreicht. In Bild 2.46 sind die ausgewerteten Versuche zusammen mit dem Bemessungsansatz nach Gleichung (2.2) aufgetragen. Mit angegeben ist der Bemessungsansatz nach Gleichung (2.5), der für Metallspreizdübel gilt. Das Bild zeigt, daß die Bruchlast der Verbunddübel gut durch Gl. (2.2) beschrieben wird. Weiterhin ist zu erkennen, daß die Höchstlast von Verbunddübeln kleiner ist als die Betonausbruchlast von

Metallspreizdübeln. Nimmt man eine konstante Verbundspannung entlang der Verankerungstiefe $h_{ef} \sim 9d$ an, erhält man folgende Bruchverbundspannung:

$$N_U = 2,44 \cdot f_{CC}^{0,5} = 12,2 \text{ N/mm}^2 \text{ für } f_{CC} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Gl. (2.2) entspricht also für die geprüfte Verankerungslänge $h_{ef} \sim 9d$ dem „unifomed bond model“ (Gl. (2.1)) mit $\tau_U = 2,44 f_{CC}^{0,5}$.

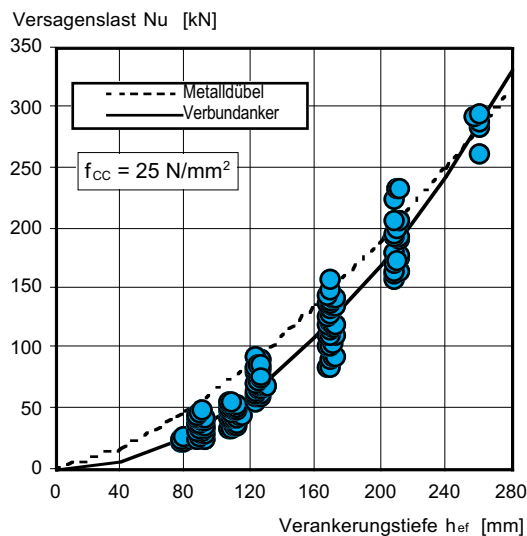


Bild 2.46: Betonausbruchlast von Verbunddübeln unter zentrischer Zugbeanspruchung in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe, nach Rehm, Eligehausen, Mallée (1988)

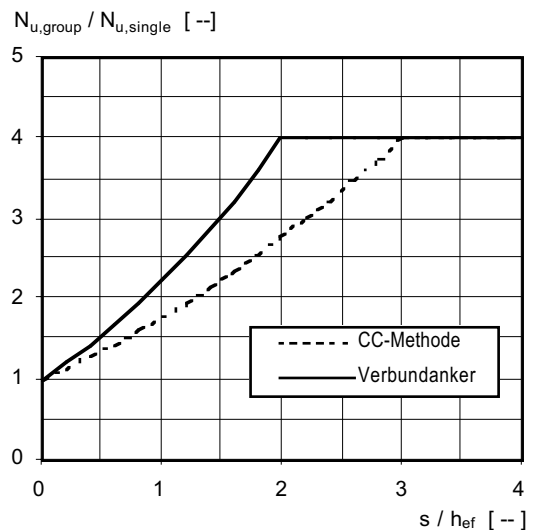


Bild 2.47: Einfluß des Achsabstandes auf die Betonausbruchlast einer Vierfachbefestigung mit Verbunddübeln unter zentrischer Zugbeanspruchung, nach Fuchs, Eligehausen (1995)

Die Betontragfähigkeit einer Gruppe kann nach Rehm, Eligehausen, Mallée näherungsweise nach dem κ -Verfahren nach Gl. (2.3) berechnet werden:

$$N_U^G = \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot N_{U,c}^E \quad (2.3a)$$

- mit:
- $\kappa_{ai} = 1 + a_i/a_k \leq 2$
 - $a_i =$ Achsabstand in Richtung 1 bzw. 2
 - $a_k =$ kritischer Achsabstand
 - $= 3,0 h_{ef}$ für Metallspreizdübel
 - $= 2,0 h_{ef}$ für Verbunddübel

Bei Befestigungen am Rand wird die Betontragfähigkeit nach Rehm, Eligehausen, Mallée (1988) berechnet wie folgt:

$$N_u^{E,R} = \kappa_r \cdot N_{u,c}^E \quad (2.3b)$$

mit:

$$\kappa_r = 0,3 + 0,7(a_r/a_{r,k}) \leq 1,00$$

a_r = Randabstand

$a_{r,k}$ = kritischer Achsabstand

= 1,5 h_{ef} für Metallspreizdübel

= 1,0 h_{ef} für Verbunddübel

Das Model von Rehm, Eligehausen, Mallée (1988) liefert die gleichen Ergebnisse wie das CC-Verfahren (Fuchs, Eligehausen 1995), wenn auch dort der charakteristische Achsabstand mit $s_{cr,N} = 2 h_{ef}$ und der charakteristische Randabstand mit $c_{cr,N} = 1 h_{ef}$ angesetzt wird. Der Gruppen- und Randeinfluß wird wie folgt berechnet:

$$N_u = \frac{A_{c,N}}{A_{c,n}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot N_{u,c}^0 \quad (2.4)$$

mit:

$A_{c,N}$ = vorhandene projizierte Fläche des Ausbruchkörpers der Verankerung auf der Betonoberfläche

$A_{c,N} = (s_1 + s_{cr,N}) \cdot (s_2 + s_{cr,N})$
(Vierergruppe mit $c \geq s_{r,N}$)

$A_{c,N} = (s_1 + s_{cr,N}) \cdot s_{cr,N}$
(Zweifachbefestigung mit $c \geq s_{r,N}$)

$A_{c,N} = (c_1 + c_{cr,N}) \cdot (c_2 + c_{cr,N})$
(Einzeldübel in der Bauteilecke)

$A_{c,N}^0$ = projizierte Fläche einer Einzelverankerung mit großem Rand- und Achsabstand mit einer Seitenlänge $s = s_{cr,N} = 2 h_{ef}$

$A_{c,N}^0 = (2 \cdot h_{ef})^2$

$\psi_{s,N} = 0,3 + 0,7 (c / c_{cr,N}) < 1,0$

$N_{u,c}^0$ = Versagenslast eines Einzeldübels nach Gl. (2.2)

$s_{cr,N} = 2,0 \cdot h_{ef}$

$c_{cr,N} = 1,0 \cdot h_{ef}$

Bei der Ableitung von Gl. (2.4) wurde davon ausgegangen, daß das Versagen von Befestigungsgruppen i. a. durch Betonausbruch erfolgt, wobei die Höhe des Ausbruchkegels etwa dem 0,7-fache der Verankerungstiefe h_{ef} entspricht und der Winkel zwischen Bruchfläche und Betonoberfläche etwa 35° beträgt.

In Bild 2.47 ist das Verhältnis der Gruppenausziehlast zur Ausziehlast eines Einzeldübels $N_{u,group} / N_{u,single}$ nach Gl. (2.4) aufgetragen. Miteingetragen ist der für Metaldübel gültige Verlauf für Gl. (2.5). Zunächst entsteht der Eindruck, daß bei großen Verankerungstiefen h_{ef} mit Verbunddübelgruppen höhere Versagenslasten N_U erreicht werden können. Jedoch ist zu bedenken, daß die Versagenslast des Einzeldübels $N_{u,single}$ für Verbunddübel tiefer liegt als für Metaldübel (vgl. Bild 2.47).

Das bei Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) angegebene Berechnungsverfahren für Verbunddübel wurde entwickelt, um die Traglast von Befestigungen mit handelsüblichen Verbunddübeln zu ermitteln. Es ist bereits bei Eligehausen, Mallée, Rehm (1997) angegeben, daß für Verankerungstiefen $h_{ef} > 9 d$ die Bruchlast des Einzeldübels N_U nach den Untersuchungen von Kobarg (1982) nicht mehr entsprechend Gleichung (2.2) ansteigt, sondern nur noch proportional mit der Verankerungstiefe h_{ef} zunimmt.

2.5.3 CC-Methode

Bei Fuchs, Eligehausen (1995) werden die folgenden Gleichungen zur Berechnung von auf zentrischen Zug beanspruchten Befestigungen mit Metaldübeln (z.B. Spreiz- und Hinterschnittdübel) angegeben.

$$N_U = \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot N_{u,c}^0 \cdot \psi_{s,N} < n \cdot N_{u,p} \quad (2.5)$$

mit: $A_{c,N}$ = vorhandene projizierte Fläche des Ausbruchkörpers der Verankerung auf der Betonoberfläche

$$A_{c,N} = (s_1 + s_{cr,N}) \cdot (s_2 + s_{cr,N})$$

(Vierergruppe mit $c \geq c_{cr,N}$)

$$\begin{aligned}
A_{c,N} &= (s + s_{cr}) \cdot s_{cr,N} \\
&\quad \text{(Zweifachbefestigung mit } c \geq c_{cr,N}\text{)} \\
A_{c,N} &= (c + c_{cr,N}) \cdot s_{cr,N} \\
&\quad \text{(Einzelbefestigungen am Bauteilrand)} \\
A_{c,N}^0 &= \text{projizierte Fläche einer Einzelverankerung mit} \\
&\quad \text{großem Rand- und Achsabstand mit einer} \\
&\quad \text{Seitenlänge } s = 3h_{ef} \\
&\quad (3 \cdot h_{ef})^2 \\
\psi_{s,N} &= 0,7 + 0,3 \cdot c/c_{cr,N} \\
N_{u,c} &= 13,5 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_{cc}^{0,5} \qquad (2.6) \\
&\quad \text{(Betonversagenslast eines Einzeldübels)} \\
s_{cr,N} &= 2 \cdot c_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef} \\
N_{u,p} &= \text{Herausziehlast eines Einzeldübels} \\
n &= \text{Anzahl der Dübel}
\end{aligned}$$

Überträgt man dieses Modell auf Verbunddübel, muß als Herausziehlast $N_{u,p}$ der Wert nach Gl. (2.1 a) eingesetzt werden:

$$N_{u,p} = \tau_u \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \qquad (2.1a)$$

2.5.4 Kunz, Cook, Fuchs, Spieth (1998)

Kunz, Cook, Fuchs, Spieth (1998) geben folgende Bemessungsgleichungen für die zentrische Ausziehlast eines Einzeldübels bei Betonversagen bzw. Verbundversagen an:

$$N_{u,c} = 13,5 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_{cc}^{0,5} \qquad \text{nach Gl. (2.6)}$$

Für Verbundversagen wird angegeben:

$$N_{u,p} = \min(N_{u,p1}, N_{u,p2}) \qquad (2.7)$$

$$N_{u,p1} = \tau_{u1} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \qquad (2.7a)$$

$$N_{u,p2} = \tau_{u2} \cdot \pi \cdot d_0 \cdot h_{ef} \qquad (2.7b)$$

Dabei ist: $\tau_1 =$ Verbundfestigkeit bei Versagen zwischen Beton und Verbundmörtel
 $\tau_2 =$ Verbundfestigkeit bei Versagen zwischen Ankerstange und Verbundmörtel

Die Betontragfähigkeit einer Gruppe oder einer Befestigung am Bauteilrand wird entsprechend dem CC-Verfahren (Fuchs, Eligehausen (1995)) berechnet mit den dort angegebenen kritischen Achs- und Randabständen.

$$N_u = \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot N_{u,c}^0 \quad (2.8)$$

mit: $A_{c,N} = (s_1 + s_{cr,N}) \cdot (s_2 + s_{cr,N})$
 (Vierergruppe mit $c \geq c_{cr,N}$)

$$A_{c,N} = (s + s_{cr,N}) \cdot s_{cr,N}$$

(Zweifachbefestigung mit $c \geq c_{cr,N}$)

$$A_{c,N} = (c + s_{cr,N}) \cdot s_{cr,N}$$

(Einzelbefestigung am Rand)

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 c / s_{cr,N}$$

$$N_{u,c} = \text{Versagenslast eines Einzeldübels nach Gl. (2.6)}$$

$$s_{cr,N} = 2 \cdot c_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}$$

Die Verbundtragfähigkeit einer Gruppe wird ebenfalls entsprechend dem CC-Verfahren berechnet, wobei jedoch der charakteristische Achsabstand $s_{cr,N} = 1,75 h_{ef}$ und der charakteristische Randabstand mit $c_{cr,N} = 0,875 h_{ef}$ beträgt.

$$N_u = \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot N_{u,p}^0 < n \cdot N_{u,p} \quad (2.9)$$

mit: $A_{p,N} =$ vorhandene projizierte Fläche des von der Verankerung aktivierten Betonvolumens auf der Betonoberfläche.

$$A_{p,N} = (s_1 + 1,75 \cdot h_{ef}) \cdot (s_2 + 1,75 \cdot h_{ef})$$

(Vierergruppe mit $c \geq c_{cr,N}$)

$$A_{p,N} = (s + 1,75 \cdot h_{ef}) \cdot 1,75 \cdot h_{ef}$$

(Zweifachbefestigung mit $c \geq c_{cr,N}$)

$$A_{p,N} = (c + 0,875 \cdot h_{ef}) \cdot 1,75 \cdot h_{ef}$$

(Befestigung am Rand)

$A_{p,N}^0$ = projizierte Fläche einer Einzelverankerung mit großem Achs- und Randabstand auf der Betonoberfläche mit einer Seitenlänge $s = s_{cr,n} = 1,75 h_{ef}$.

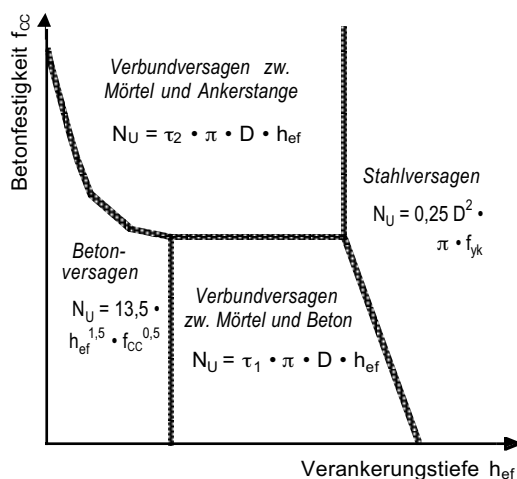
$$A_{p,N}^0 = (1,75 \cdot h_{ef})^2$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 c / (0,875 \cdot h_{ef})$$

$N_{U,p}^0$ = Versagenslast eines Einzeldübels nach Gl. (2.1 a)

$$s_{cr,N} = 1,75 \cdot h_{ef}$$

$$c_{cr,N} = 0,875 \cdot h_{ef}$$



Kunz Cook, Fuchs, Spieth (1998) berücksichtigen sehr genau die verschiedenen Versagensarten. Es wird darauf hingewiesen, daß die Berechnung der Versagenslast nach Gl. (2.6) und (2.8) vor allem bei Verankerungen mit sehr geringen Verankerungstiefen h_{ef} anzuwenden ist.

Bild 2.48: Schematische Darstellung der Anwendung der Gl. nach Gl. (2.6) und der Gl. (2.7) in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe h_{ef} und der Betonfestigkeit f_{cc}

2.5.5 EOTA

Im Teil 5 der „Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalleinbauelemente zur Verankerung im Beton“ [43] wird für die Berechnung der charakteristischen Versagenslast eines Verbunddübels unter zentrischer Zuglast $N_{RK,0}$ das „Uniformed bond model“ entsprechend Gl. (2.1 a) empfohlen:

$$N_{Rk,0} = \tau_{RK} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$$

Die charakteristische Verbundfestigkeit τ_{RK} wird nach Teil 1 der EOTA (Abschnitt 6.1.2.2.1) ermittelt. Weitere Hinweise zur Ermittlung der charakteristischen Verbundfestigkeit sowie der zu berücksichtigenden Sicherheitswerte finden sich bei Meszaros (2002).

Die Versagenslast von Dübelgruppen und Befestigungen am Bauteilrand wird unabhängig von der Versagensart näherungsweise nach dem CC-Verfahren (Fuchs, Eligehausen (1995)) ermittelt (vgl. Gl. (2.4)), wobei für den Achs- und Randabstand $s_{cr,N} = 2 c_{cr,N} = 2 h_{ef}$ und für die Bruchlast des Einzeldübel der Wert $N_{Rk,0}$ nach Gl. (2.1 a) eingesetzt wird.

2.5.6 SIA 179

Entsprechend der Empfehlung des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereines in SIA 179 (1998) ist die Tragfähigkeit von Verbunddübeln über die Verbundfestigkeit des verwendeten Mörtels zu bestimmen. Der kritische Achsabstand $s_{cr,N}$ wird als Vielfaches des Ankerstangendurchmessers ermittelt.

Die zentrische Ausziehlast eines Einzeldübel ergibt sich entsprechend Gleichung (2.10) zu:

$$N_{R,p}^0 = \min(N_{R,ps}^0 ; N_{R,pc}^0) \quad (2.10)$$

$$\text{mit: } N_{R,ps}^0 = \tau_R \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \quad (2.10a)$$

$$N_{R,ps}^0 = \alpha_R \cdot \tau_R \cdot \pi \cdot d_0 \cdot h_{ef} \quad (2.10b)$$

$$\alpha_R = 0,8 \text{ für } f_{cc} \leq 25 \text{ N/mm}^2$$

$$0,9 \text{ für } f_{cc} > 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_R = 12,7 - d / 4,8 \quad \text{für Patronensysteme}$$

$$\tau_R = 7,5 - d / 8,8 \quad \text{für Injektionssysteme}$$

Die Bruchlast einer durch zentrische Zuglast belastete Gruppenbefestigung beträgt:

$$N_{R,c} = \frac{A_N}{A_N^0} \cdot N_{R,p}^0 \quad (2.11)$$

mit: A_N = Fläche des Ausbruchkörpers der Befestigung auf der Betonoberfläche.

$$A_N = (s_1 + s_{cr,N}) \cdot (s_2 + s_{cr,N}) \quad (\text{Viererguppe mit } c_r \geq s_{r,N})$$

$$A_N = (s + s_{cr,N}) \cdot s_{cr,N} \quad (\text{Zweifachbefestigung mit } c_r \geq s_{r,N})$$

$$A_N = (c + c_{cr,N}) \cdot s_{cr,N} \quad (\text{Befestigung am Rand})$$

 A_N^0 = Fläche des Ausbruchkörpers, einer einzelnen Befestigung auf der Betonoberfläche bei großen Randabständen mit einer Seitenlänge $s = s_{cr}$.

$$A_N^0 = s_{cr,N}^2$$

 $N_{RK,c}^0$ = Versagenslast einer Einzelverankerung nach Gleichung (2.10)

$$s_{cr,N} = 20 \cdot d$$

Gl. (2.10) kann nur für bekannte Patronen- und Injektionssysteme gelten, weil die Verbundfestigkeit τ_u produktabhängig ist (vgl. Bild 2.22). Es wurde vorausgesetzt, daß die Versagenslast N_u von Befestigungen mit Verbunddübeln unabhängig von der Bruchart mit der Verbundtragfähigkeit berechnet werden kann. Diese wird bei Gruppen durch benachbarte Dübel und bei Befestigungen am Rand durch die Bauteilkante beeinflusst. Als charakteristischer Achs- bzw. Randabstand wird $s_{cr,N} = 2c_{cr,N} = 20d$ angenommen, d.h. das Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe $s_{cr,N} / h_{ef}$ sinkt mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} von $s_{cr,N} = 5h_{ef}$ ($h_{ef} = 4d$) auf $s_{cr,N} = 1 h_{ef}$ ($h_{ef} = 20d$).

3 NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Allgemeines

Mit Hilfe von numerischen Parameteruntersuchungen soll das Tragverhalten von Verbunddübelgruppen näher untersucht werden. Von besonderem Interesse sind dabei die Versagensart in Abhängigkeit vom Achsabstand s und der Verankerungstiefe h_{ef} . Außerdem soll die Bruchlast N_u in Abhängigkeit von den geometrischen Parametern (Ankerstangendurchmesser d , Verankerungstiefe h_{ef} , Achsabstand s) ermittelt werden. Zum Vergleich der Bruchlasten von Gruppen- und Einzelbefestigungen werden auch Verbundeinzeldübel berechnet.

3.2 Verwendetes FE-Programm

Für die numerischen Analysen des Tragverhaltens von Verbunddübeln wurde das dreidimensionale FE-Programm MASA verwendet. Zur Generierung der Netze und zur grafischen Aufarbeitung der Spannungs- und Dehnungsverteilungen wurde das kommerzielle Programm FEMUP eingesetzt.

Das Programm MASA wurde von Ozbolt (1996) und Ozbolt, Li, Kozar (1996) entwickelt. Es basiert auf dem von Ozbolt, Bazant (1996) entwickelten Materialmodell „Microplane“. Dieses Modell ermöglicht eine realistische Beschreibung des nichtlinearen Betonverhaltens. Bei Rissbildung wird die Rissbreite über die Elementdicke verschmiert.

Um einen Einfluß der Netzgeometrie auszuschließen, wird das Konzept des nichtlinearen Kontinuums (Ozbolt (1996)) verwendet. Dabei ist die Spannung in einem bestimmten Punkt von den Dehnungen in einem definierten Volumen mit der charakteristischen Länge l_{ch} abhängig. Diese charakteristische Länge l_{ch} ist abhängig von den Materialkennwerten sowie der Elementgröße. Sie wird zu Beginn einer Berechnung festgelegt.

3.3 Materialparameter

Es werden Materialparameter für den Dübel bestehend aus Ankerstange und Mörtel sowie für den Ankergrund definiert. Für den Stahl der Ankerstange wird linear elastisches Materialverhalten mit einem Elastizitätsmodul $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$ und einer Querdehnzahl $\nu = 0,3$ verwendet. Der Verbundmörtel wird durch ein spezielles „Interface-Modell“ beschrieben, das bei einer Querspannung $\sigma = 0 \text{ N/mm}^2$ einer Verbundfestigkeit $\tau_u = 16 \text{ N/mm}^2$ entspricht. Der Elastizitätsmodul des Verbundmörtels beträgt $E_b = 2000 \text{ N/mm}^2$. Die Querdehnzahl wird zu $\nu = 0$ gesetzt.

In Meszaros, Eligehausen (1998) wurde der Einfluß von Querdruck- und Querspannung auf die Verbundfestigkeit des Verbundmörtels, der auch bei einer Vielzahl der experimentellen Untersuchungen von Lehr, Eligehausen (1999) eingesetzt war, untersucht. Es wurden Verbunddübel mit einer Verankerungslänge $h_{ef} = 110 \text{ mm}$ untersucht. Der genaue Versuchsaufbau ist in Meszaros (2002) beschrieben.

In Bild 3.1 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt. Es zeigt sich für eine zweiachiale Druckbelastung des Ankergrundes ein Anstieg der Versagenslasten N_u um bis zu 20%. Bei zweiachialer Zugbelastung des Ankergrundes ist mit zunehmender Querspannung eine deutliche Verminderung der Ausziehlast N_u festzustellen. Dabei ist allerdings die starke Streuung der Versuchsergebnisse zu beachten.

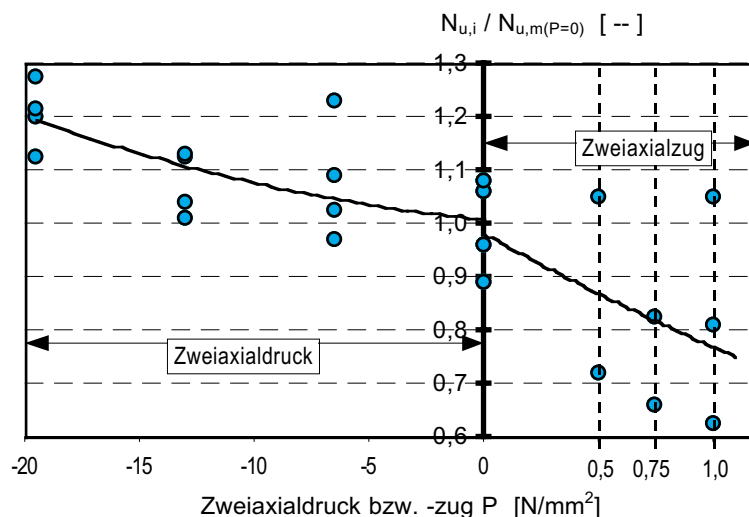


Bild 3.1: Einfluß von Zweiachialdruck und -zug auf die Ausziehlast von Verbunddübeln, experimentelle Untersuchungen von Meszaros, Eligehausen (1998)

Das in den numerischen Untersuchungen eingesetzte „Interface-Modell“ berücksichtigt den Einfluß von Querspannung auf die Verbundfestigkeit des Mörtels.

Zur Überprüfung der Rechenansätze wurden zunächst Einzeldübel M 12 mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 110 \text{ mm}$ berechnet. Variiert wurde die radial wirkende Querlast von $\sigma = -19,5 \text{ N/mm}^2$ bis $\sigma = 1,0 \text{ N/mm}^2$.

QUER- LAST	VERSAGENSLAST		$N_{U,2axial} /$ $N_{U,single}$
	$N_{U,2axial}$	$N_{U,single}$	
N/mm ²	kN	kN	-----
-19,5	90,1	57,1	1,58
-13,5	82,8		1,45
-6,5	69,7		1,22
0	57,1		1,00
0,5	47,2		0,83
1,0	38,6		0,68

Tabelle 3.1: Einfluß von Zweiaxialdruck und -zug auf die Ausziehlast von Verbunddübeln, numerische Untersuchungen (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999))

Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999) sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt. Bild 3.2 zeigt einen Vergleich zwischen den experimentellen Untersuchungen von Meszaros, Eligehausen (1998) und den numerischen Untersuchungen von Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999).

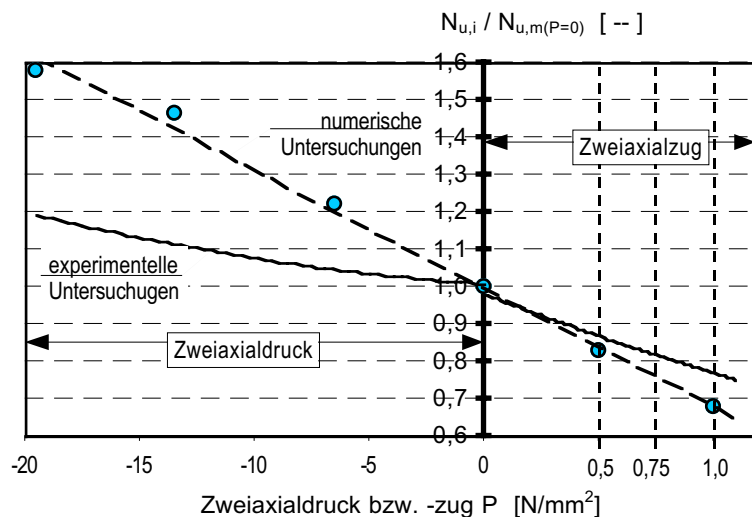


Bild 3.2: Einfluß von zweiachsialer Druck- bzw. Zugspannungen auf die Ausziehlast von Verbunddübeln, Vergleich der experimentellen Untersuchungen von Meszaros, Eligehausen (1998) und den numerischen Untersuchungen von Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999)

Ein Vergleich der numerischen mit den experimentellen Ergebnissen zeigt:

- Sowohl in den numerischen Untersuchungen von Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999) als auch in den experimentellen Untersuchungen von Meszaros, Eligehausen (1998) ergibt sich bei Querdruk im Ankergrund eine Steigerung der zentrischen Ausziehlast N_u eines Verbunddübels. Bei einem Querdruck von $\sigma = 19,5 \text{ N/mm}^2$ wächst bei den numerischen Untersuchungen die Versagenslast N_u um ca. 60 % gegenüber der Versagenslast N_u bei keinem Querdruck an. Bei den experimentellen Untersuchungen beträgt die Zunahme nur ungefähr 20%.
- Für Querkzug im Ankergrund ergibt sich bei numerischen und experimentellen Untersuchungen eine Verminderung der zentrischen Ausziehlast N_u eines Verbunddübels. In den numerischen Untersuchungen liegt die Verminderung der Ausziehlast N_u bei ca. 15% bei einem Querkzug von $\sigma = 0,5 \text{ N/mm}^2$. Bei den experimentellen Untersuchungen beträgt der Abfall der Ausziehlast N_u gegenüber der Ausziehlast ohne Querkzug $N_{u,0}$ ca. 30%. Ein Vergleich der numerischen mit den experimentellen Untersuchungen ist wegen der großen Streuung der experimentellen Ergebnisse schwierig.
- Es muß davon ausgegangen werden, daß Verbundmörtel Querdruck- bzw. Querkzug- empfindlich sind, was durch das „Interface-Model“ berücksichtigt wird. Der Vergleich zwischen numerischen und experimentellen Untersuchungen zeigt, daß der Einfluß der Querspannungen zwar hinreichend erfaßt wird. Dieser Einfluß wird jedoch bei Querdruck überschätzt und bei Querkzug unterschätzt.
- Für die Berechnungen der zentrischen Ausziehlasten N_u der experimentellen Untersuchungen von Lehr, Eligehausen (1999) mit Mörtel HH werden die gewählten Materialparameter sowie das „Interface-Model“ als geeignet angesehen.

Der Ankergrund Beton wird entsprechend dem „Microplane-Modell“ (Ozbolt (1996)), Ozbolt, Li, Kozar, (1996)) beschrieben. Die Materialkennwerte werden entsprechend den in den experimentellen Untersuchungen verwendeten Betonen angesetzt. Der Elastizitätsmodul des Betons beträgt $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$, die Druckfestigkeit $f_c = 23 \text{ N/mm}^2$ und die Zugfestigkeit $f_{ct} = 2,4 \text{ N/mm}^2$. Die Querdehnzahl wird zu $\nu = 0,2$ festgesetzt. Als Bruchenergie wird $G_f = 0,1 \text{ N/mm}$ angesetzt.

3.4 FE-Netze

Bei den mit MASA durchgeführten Untersuchungen wird die Anzahl der Finiten Elemente durch Ausnützung der Achsensymmetrie reduziert, um die Rechenzeiten zu verkürzen. Es wird jeweils ein Dübel der Gruppe berechnet (vgl. Bild 3.3). Die Auflagerbedingungen der Randelemente werden entsprechend definiert.

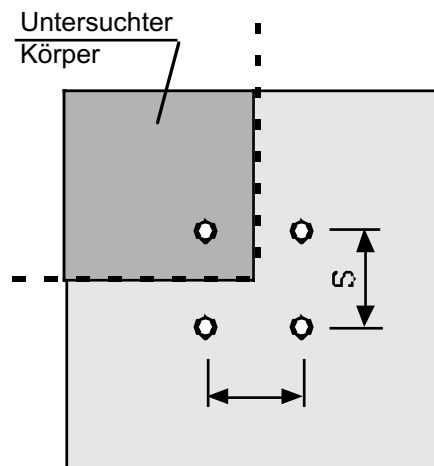


Bild 3.3: Untersuchter Körper einer Vierfachbefestigung mit Verbunddübeln bei den numerischen Untersuchungen (Lehr, Li, Ozbolt, Elgehausen (1999))

In das FE-Netz miteinbezogen wird der den Dübel umgebende Beton bis zum Mittelpunkt der Befestigungsgruppe. An den beiden Seiten, die die Symmetrieebenen der Befestigung darstellen, werden die Randbedingungen als unverschieblich festgelegt. An der Oberfläche werden in einem Abstand $a \sim 2 h_{ef}$ Randbedingungen als unverschieblich definiert. Dieser Abstand entspricht dem Abstand zwischen Abstützung und Befestigungspunkt bei experimentellen Untersuchungen.

Die Breite sowie die Dicke der betrachteten Betonausschnitte sind in Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3 angegeben. Die gesamte Höhe des betrachteten Ankergrundvolumens betrug in der Regel 480 mm mehr als die Verankerungstiefe h_{ef} .

In Bild 3.4 ist beispielhaft ein FE-Netz mit Auflagerbedingungen abgebildet. Es ist zu erkennen, daß die Höhe der Elemente zur Betonoberfläche hin abnimmt. Um den Dübel herum nimmt die Anzahl der Elemente zu.

Der Mörtel weist eine Dicke eines Element auf. Die Höhe der Mörtel-elemente entspricht jeweils der Höhe der benachbarten Betonelemente. Um den Ankerstab herum sind 8 Elemente gleichmäßig angeordnet.

Der Ankerstab setzt sich aus 4 Elementen zusammen. Die Höhe der Elemente entspricht ebenfalls jeweils den benachbarten Mörtel­elementen.

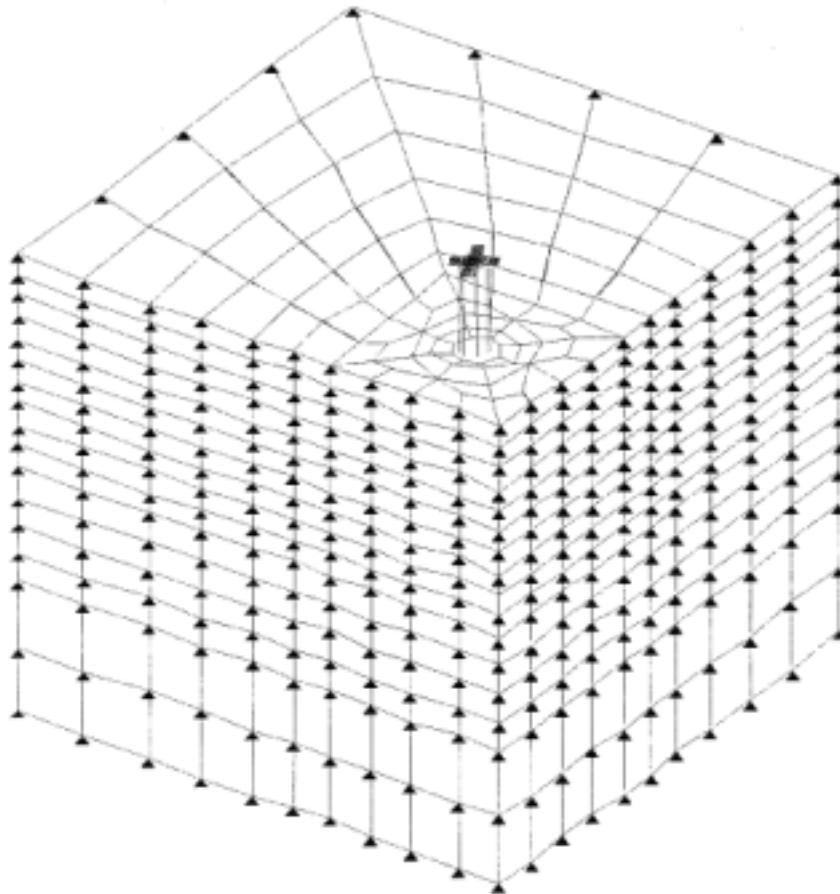


Bild 3.4: FE-Netz für numerische Untersuchungen von Verbunddübelgruppen unter zentrischem Zug mit MASA (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

3.5 Durchgeführte Berechnungen

3.5.1 Einzeldübel

Um das Verhältnis der zentrischen Traglast einer Verbunddübelgruppe zur Traglast eines Einzeldübels $N_{u,group} / N_{u,single}$ zu ermitteln, wurden Berechnungen an Einzeldübeln mit den Durchmessern 8 mm, 12 mm und 20 mm durchgeführt. Bei den Berechnungen mit Dübeln der Größe 12 mm wurde die Verankerungstiefe h_{ef} entsprechend den Berechnungen an Gruppenbefestigungen variiert.

Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über die mit der dreidimensionalen Version von MASA durchgeführten Berechnungen an Einzeldübeln.

DÜBELDURCH-MESSER d [mm]	VERANKERUNGS-TIEFE h_{ef} [mm]	h_{ef} / d [--]
8	144	18
12	48	4
	96	8
	144	12
	192	16
	240	20
20	144	7,2

Tabelle 3.2: FE-Berechnungen mit Verbunddübeln, Einzeldübel (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

3.5.2 Gruppenbefestigungen

Ebenfalls mit der 3-D-Version des FEM-Programms MASA wurden Vierfachbefestigungen mit Dübeln 8 mm, 12 mm und 20 mm berechnet. Um den Einfluß des Achsabstandes s zu erkennen, wurde dieser variiert. Bei den Berechnungen mit Dübeln M12 wurde die Verankerungstiefe h_{ef} als Vielfaches des Ankerstangendurchmessers von $4 d$ bis $20 d$ variiert. In Tabelle 3.3 sind die durchgeführten FE-Berechnungen an Vierfachbefestigungen zusammengestellt.

DÜBELDURCHMESSER d [mm]	VERANKERUNGSTIEFE h _{ef} [mm]	h _{ef} / d [--]	ACHSABSTAND s [mm]	s / h _{ef} [--]	
8	96	12	96	1,0	
	144	18	48	0,33	
			96	0,67	
			144	1,0	
			216	1,5	
	160	20	160	1,0	
12	48	4	48	1,0	
			96	2,0	
			144	1,5	
			192	2,0	
	96	8	48	0,5	
			96	1,0	
			144	1,5	
			192	2,0	
	240	20	48	0,2	
			96	0,4	
			144	0,6	
			240	1,0	
	144	12	48	0,33	
			96	0,66	
			144	1,0	
			216	1,5	
		192	16	48	0,25
				96	0,5
				144	0,75
				192	1,0
	20	144	7,2	96	0,67
				144	1,0
				180	1,33
				216	1,50
240				1,67	

Tabelle 3.3: FE-Berechnungen mit Verbunddübeln, Vierfachbefestigungen (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

3.6 Ergebnisse der FE-Berechnungen

3.6.1 Einzeldübel

3.6.1.1 Brucharten

In Tabelle 3.4 sind die Versagensarten, die bei den berechneten Einzeldübel auftraten, zusammengestellt. Mit Durchmesser 12 mm wurden die meisten Berechnungen durchgeführt. Hier zeigt sich, daß bis zu einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 8d = 96$ mm kombiniertes Verbund- und Betonversagen (vgl. Bild 2.14c) auftritt. Bei Verankerungstiefen $h_{ef} > 96$ mm tritt Verbundversagen auf. Bei Durchmesser 8 mm wurden Berechnungen mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 18d = 144$ mm und bei Durchmesser 20 mm bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 7,2 d = 144$ mm durchgeführt. In beiden Fällen tritt Verbundversagen auf. Es wird vermutet, daß der Übergang vom kombinierten Verbund- und Betonversagen zum reinen Verbundversagen vom Durchmesser abhängig ist. Bei großen Durchmessern tritt Verbundversagen offensichtlich bei einem geringeren Verhältnis Verankerungstiefe zu Durchmesser h_{ef} / d auf.

DÜBELDURCH-MESSER d [mm]	VERANKERUNGSTIEFE h_{ef} [mm]	h_{ef} / d [--]	VERSAGENSART ¹⁾
8	144	18	B
12	48	4	CCB
	96	8	CCB
	144	12	B
	192	16	B
	240	20	B
20	144	7,2	B

- 1) B = Verbundversagen (vgl. Bild 2.15b)
CCB = Verbundversagen mit Betonausbruch (vgl. Bild 2.15c)

Tabelle 3.4: Ergebnisse der FE-Rechnungen mit Verbunddübeln unter zentrischem Zug, Einzeldübel M8, M12 und M20 (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

3.6.1.2 Last-Verschiebungsverhalten

In Bild 3.5 sind die berechneten Last-Verschiebungskurven der Einzeldübel aufgetragen. In Bild 3.5a ist zu erkennen, daß die Versagenslasten N_u bei konstantem Durchmesser mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} zunehmen. Bei Dübeln, bei denen reines Verbundversagen auftritt, ist die Steifigkeit der Last-Verschiebungskurven etwa konstant. Dübel, bei denen kombiniertes Verbund- und Betonversagen auftritt, haben einen leicht flacheren Verlauf der Last-Verschiebungskurve bis zur Versagenslast.

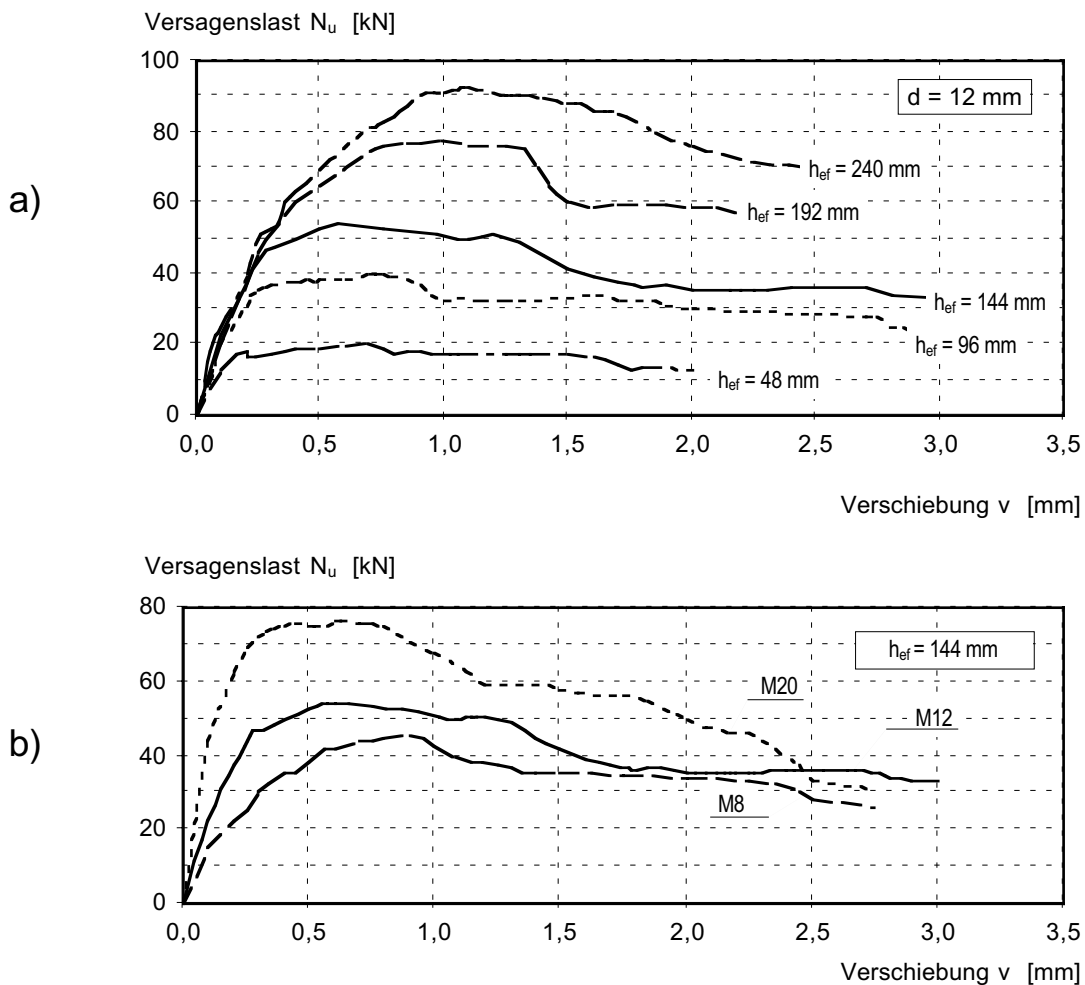


Bild 3.5: Last-Verschiebungskurven von Verbunddübeln unter zentrischer Zugbelastung, Einzeldübel berechnet mit FE-Programm MASA (Lehr, Li, Ozbolt, Elgehausen (1999))

- a) Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} ($d = 12 \text{ mm}$)
- b) Einfluß des Dübeldurchmessers ($h_{ef} = 144 \text{ mm}$)

In Bild 3.5b wird der Einfluß des Dübeldurchmessers d auf das Last-Verschiebungsverhalten untersucht. Die Höchstlasten N_u steigen bei konstanter Verankerungstiefe h_{ef} mit zunehmendem Dübeldurchmesser d an. Bei allen Dübeln tritt Verbundversagen auf. Der Anstieg der Last-Verschiebungskurven ist gleichmäßig, jedoch mit unterschiedlicher Steigung. Die Steigung der Lastverschiebungskurve hängt offensichtlich vom Dübeldurchmesser ab. Bei Dübeln mit großen Durchmessern verläuft die Last-Verschiebungskurve mit einer größeren Steigung als bei Dübeln mit kleinen Durchmessern.

3.6.1.3 Bruchlasten

In Tabelle 3.5 sind die Versagenslasten $N_{u,calc}$, und die Verschiebungen v bei der Versagenslast $N_{u,calc}$ angegeben. In Bild 3.6 sind die nach Gl. 2.1) berechneten Verbundfestigkeiten $\tau_{u,calc}$ aufgetragen.

DÜBELDURCHMESSER d [mm]	VERANKERUNGSTIEFE h_{ef} [mm]	h_{ef} / d [–]	VERSAGENSLAST $N_{u,calc}$ [kN]	VERSCHIEBUNG v bei $N_{u,calc}$ [mm]
8	144	18	45,3	0,90
12	48	4	20,4	0,69
	96	8	40,2	0,75
	144	12	54,4	0,57
	192	16	77,2	0,99
	240	20	92,7	1,08
20	144	7,2	76,7	0,63

Tabelle 3.5: Ergebnisse der FE-Rechnungen mit Verbunddübeln unter zentrischem Zug, Einzeldübel M8, M12 und M20 (Lehr, Li, Ozbolt, Elgehausen (1999))

Aus Bild 3.6a ist zu erkennen, daß die aus den berechneten Höchstlasten berechneten Verbundfestigkeiten τ_u mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} von $\tau_u = 11 \text{ N/mm}^2$ auf $\tau_u = 10 \text{ N/mm}^2$ leicht abnehmen. Demgegenüber nimmt die Verbundfestigkeit τ_u mit zunehmendem Ankerstangendurchmesser deutlich ab (Bild 3.6b).

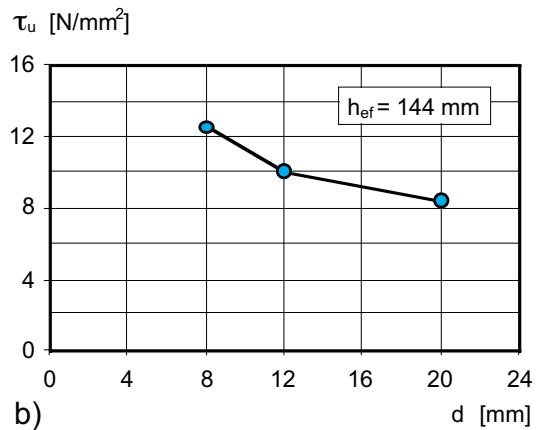
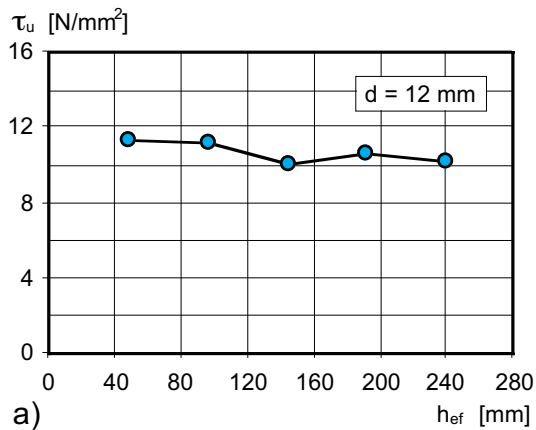


Bild 3.6: Numerisch berechnete Verbundfestigkeiten $\tau_{u,calc}$ von Verbunddübeln unter zentrischer Zugbelastung (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

- a) Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} ($d = 12$ mm)
- b) Einfluß des Dübeldurchmessers ($h_{ef} = 144$ mm)

3.6.2 Gruppenbefestigungen

3.6.2.1 Brucharten

In Tabelle 3.6 sind die bei den FE-Berechnungen mit Vierfachbefestigungen ermittelten Brucharten zusammengestellt. Die einzelnen Versagensarten werden in Bild 3.7, Bild 3.8 und Bild 3.9 näher erläutert.

Bild 3.7 zeigt die Hauptdehnungen einer Befestigungsgruppe mit Verbunddübeln $d = 12$ mm mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96$ mm und einem Achsabstand $s = 1,5 h_{ef} = 144$ mm zum Zeitpunkt des Versagens. Es ist die Ausbildung eines Ausbruchkegels vom unteren Ankerende zur Betonoberfläche hin zu erkennen. Weiterhin verläuft der Betonausbruch zum benachbarten Dübel hin. Dadurch entsteht ein mit den Nachbardübeln gemeinsamer Ausbruchkegel.

Bild 3.8 zeigt die Hauptdehnungen einer Verbunddübelgruppe mit Dübeln 12 mm und einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 144$ mm sowie einem Achsabstand $s = 1,5 h_{ef} = 216$ mm. Hier verlaufen die Dehnungen von der Betonoberfläche zum Dübelende hin parallel zum Dübel. Bei diesen Dübeln tritt Verbundversagen auf.

DÜBELDURCHMESSER d [mm]	VERANKERUNGSTIEFE h _{ef} [mm]	h _{ef} / d [–]	ACHSABSTAND s [mm]	s / h _{ef} [–]	VERSAGENSART ¹⁾	
8	96	12	96	1,0	CCB	
	144	18	48	0,33	CC	
			96	0,67	FPO	
			144	1,0	B	
			216	1,5	B	
	160	20	160	1,0	B	
12	48	4	48	1,0	CC	
			96	2,0	CC	
			144	3,0	CC	
			192	4,0	CCB	
	96	8	48	0,5	CC	
			96	1,0	CC	
			144	1,5	CC	
			192	2,0	B	
			240	2,5	B	
	144	12	48	0,33	CCB	
			96	0,66	CCB	
			144	1,0	FPO	
			216	1,5	B	
	192	16	48	0,25	CCB	
			96	0,5	FPO	
			144	0,75	FPO	
			192	1,0	B	
	240	20	48	0,2	CCB	
			96	0,4	FPO	
			144	0,6	B	
			240	1,00	B	
	20	144	7,2	96	0,67	CC
				144	1,0	FPO
				180	1,33	B
216				1,5	B	
240				1,67	B	

- 1) B = Verbundversagen
CC = Betonausbruch
CCB = Verbundversagen mit Betonausbruch
FPO = Verbundversagen mit Betonausbruch, Riss am Dübelende zwischen benachbarten Verbunddübeln

Tabelle 3.6: Versagensarten bei den FE-Rechnungen mit Verbunddübeln, Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, M12 und M20, (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

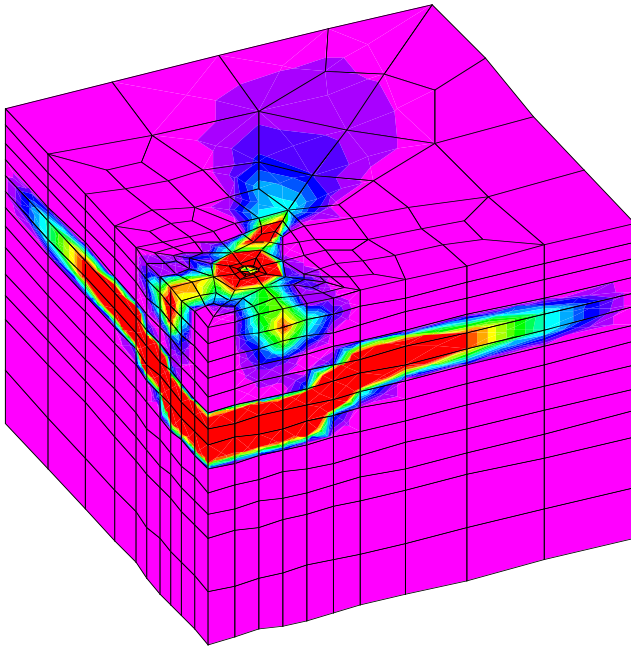


Bild 3.7: Hauptdehnungen im Ankergrund bei der Versagenslast N_u , Gruppenbefestigung mit Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung, $h_{ef} = 96 \text{ mm}$, $s / h_{ef} = 1,5$, Versagensart Betonausbruch (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

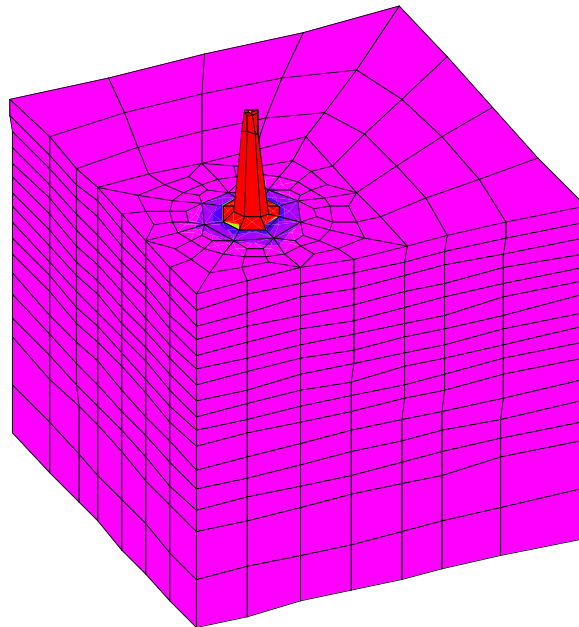


Bild 3.8: Hauptdehnungen bei der Versagenslast N_u im Ankergrund, Gruppenbefestigung mit Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung, $h_{ef} = 144 \text{ mm}$, $s / h_{ef} = 0,67$, Versagensart Verbundversagen (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

In Bild 3.9 sind die Hauptdehnungen einer Verbunddübelgruppe mit Dübeln 12 mm, einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 192$ mm und einem Achsabstand $s = 0,5 h_{ef} = 96$ mm abgebildet. Am Dübelende im Beton laufen die Dehnungen des dargestellten Dübels zum benachbarten Dübel. Dies läßt auf einen Riß zwischen den Dübeln schließen, wie in Bild 3.10 dargestellt.

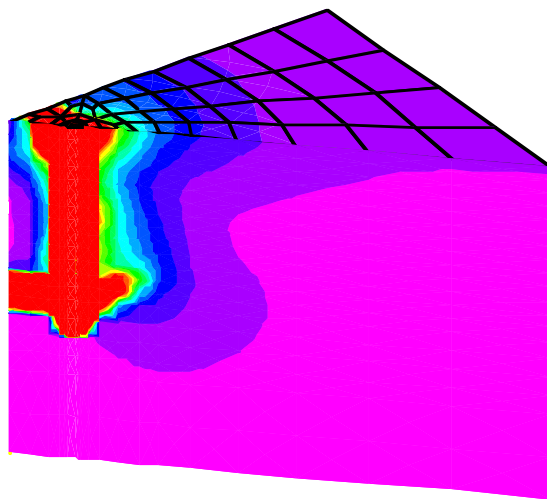


Bild 3.9: Hauptdehnungen bei der Versagenslast N_u im Ankergrund, Gruppenbefestigung mit Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung, $h_{ef} = 192$ mm, $s / h_{ef} = 0,5$, Versagensart FPO = Falsches Herausziehen (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

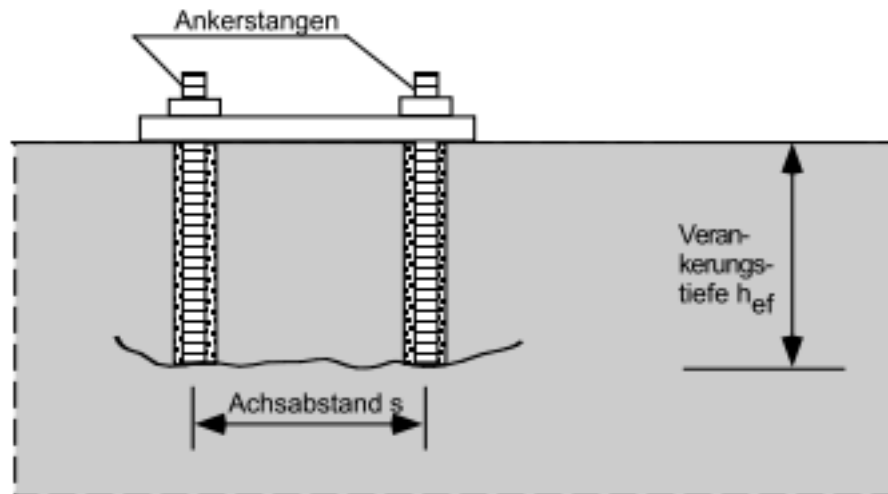


Bild 3.10: Versagensart False Pullout Failure (FPO)

Das in Bild 3.10 dargestellte Versagen wird mit „false pullout failure“ (FPO = Falsches Herausziehen) bezeichnet. Bei experimentellen Untersuchungen (Lehr, Elgehausen (1999/1)) war es nicht möglich, dieses Versagen zu erkennen, da es nach Beendigung des Versuches nicht möglich war, den über dem Riss befindlichen Beton zerstörungsfrei zu entnehmen. Dort wurde bei Versuchen mit gleicher Verankerungstiefe h_{ef} und gleichem Achsabstand s / h_{ef} das Versagen als Verbundversagen mit Betonausbruch an der Oberfläche eingestuft.

Schou, Christiansen, Andersen (1996) zeigen, daß an der Innen- und Aussenseite des Verbunddübels einer Befestigungsgruppe die Verbundspannungen unterschiedlich groß sein können. Es wird angenommen, daß bei der Versagensart „FPO“ die Verbundspannungen an der Innenseite der Dübel größer sind als an der Aussenseite. Hierdurch wird der Beton zwischen den Dübeln zunächst aktiviert. Der Beton zwischen den Dübeln verschiebt sich wie die Dübel. Wird die Ausziehlast zu groß, versagt der Verbund an der Innenseite der Dübel, und der Beton zwischen den Dübeln wird von den Dübeln getrennt.

Nimmt bei gleicher Verankerungstiefe h_{ef} der Achsabstand s zu, steht zwischen den Dübeln mehr Beton zur Aufnahme der Zugkräfte zur Verfügung und es wird kein Riss zwischen den Dübeln entstehen. Nimmt die Verankerungstiefe h_{ef} zu, wird bei einem geringeren Achsabstand s ein Riss zwischen den einzelnen Dübeln der Verbunddübelgruppe entstehen, da mit Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} die Ausziehkraft linear zunimmt. Auch Bild 3.11a zeigt, daß bei Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} der Übergang vom kombinierten Verbund- und Betonversagen zum „Falschen

Herausziehen“ (FPO) bei geringeren Achsabständen erfolgt. Bild 3.11b zeigt, daß der Dübeldurchmesser d den gleichen Einfluß wie die Verankerungstiefe h_{ef} hat. Bei großen Dübeldurchmessern d liegt der Übergang vom kombinierten Verbund- und Betonversagen zum „Falschen Heraus-ziehen“ (FPO) bei geringeren Achsabständen s als bei kleinen Dübeldurchmessern d .

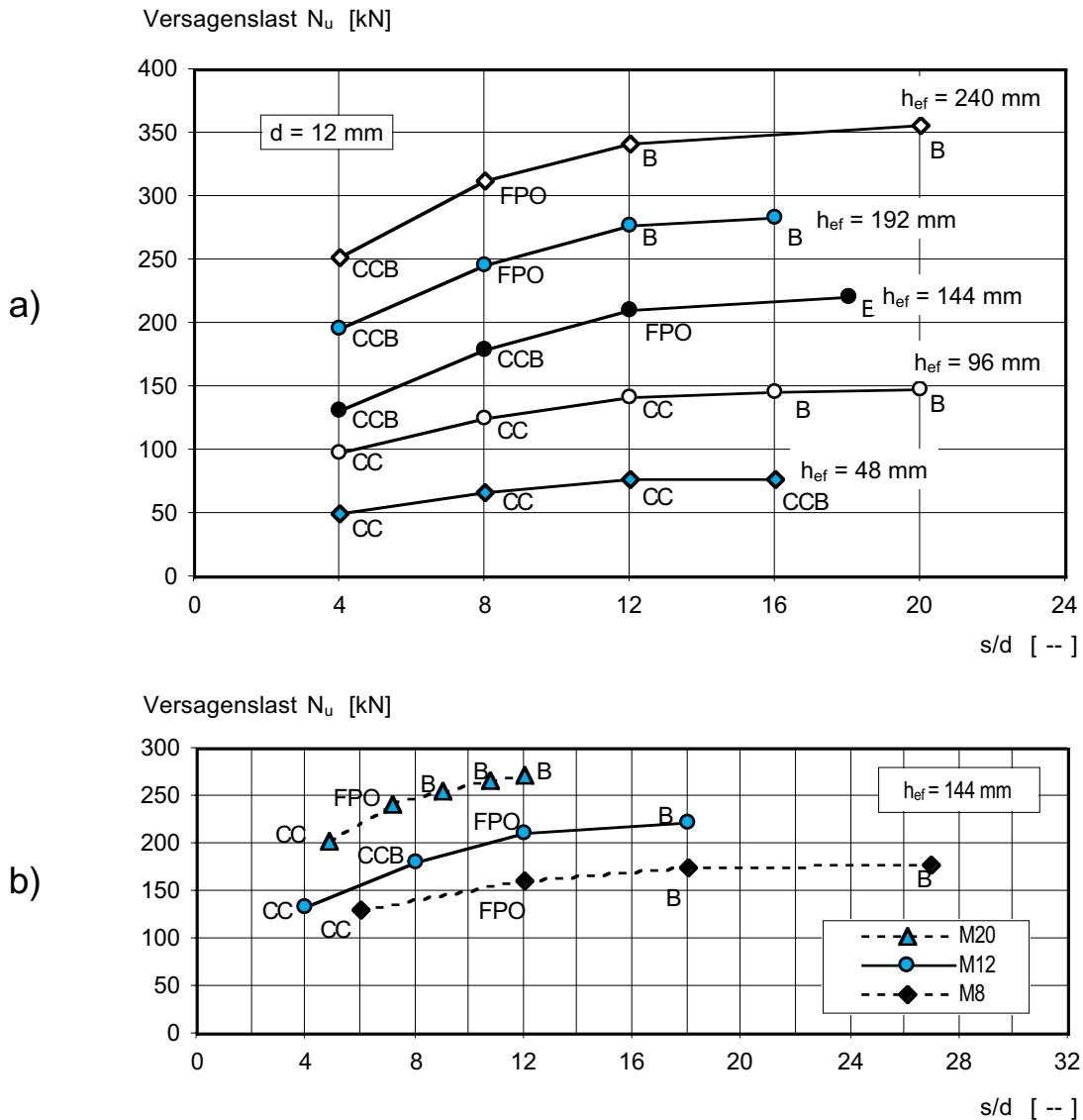


Bild 3.11: Versagensarten bei den FE-Rechnungen mit Verbunddübeln, Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, M12 und M20, (Lehr, Li, Ozbolt, Elgehausen (1999))

a) Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} ($d = 12$ mm)

b) Einfluß des Dübeldurchmessers ($h_{ef} = 144$ mm)

3.6.2.2 Last-Verschiebungsverhalten

In Bild 3.12 sind die berechneten Last-Verschiebungskurven der untersuchten Verbunddübelgruppen mit Dübeln $d = 12$ mm aufgetragen. In Bild 3.12a ist der Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} dargestellt, Bild 3.12b zeigt den Einfluß des Achsabstandes s . In Bild 3.12b ist zum Vergleich die Last-Verschiebungskurve des Einzelverbunddübels mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 144$ mm miteingetragen. Zur besseren Vergleichsmöglichkeit wurde beim Einzeldübel die berechnete Last mit dem Faktor 4 multipliziert.

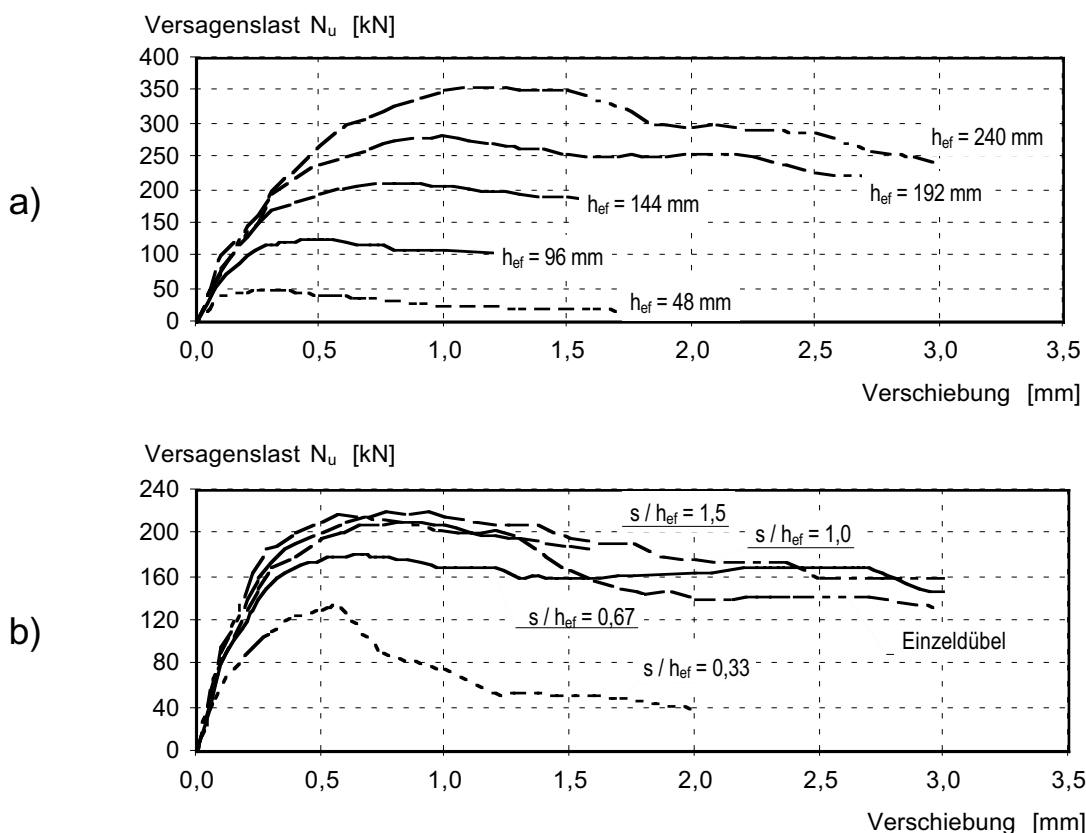


Bild 3.12: Last-Verschiebungskurven mit Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung, Vierfachbefestigungen berechnet mit FE-Programm MASA, (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

- a) Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} ($s / h_{ef} = 1,0$)
- b) Einfluß des Achsabstandes s ($h_{ef} = 144$ mm)

Bild 3.12a zeigt, daß die Last-Verschiebungskurven von Verbunddübelgruppen, bei denen hauptsächlich Verbundversagen (Versagensart B und FPO, $h_{ef} = 144$ mm, 192 mm, 240 mm) auftritt, steiler ansteigen als die Last-Verschiebungskurven der Befestigungsgruppen, bei welchen Betonversagen (Versagensart CC, $h_{ef} = 48$ mm, 96 mm) auftritt. In Bild 3.12b unterscheidet sich die Last-Verschiebungskurve der Befestigungsgruppe mit dem Achsabstand $s = 0,33 h_{ef}$ deutlich von den übrigen Last-Verschiebungskurven. Diese Befestigungsgruppe versagt durch Betonausbruch, während bei den übrigen Befestigungsgruppen immer auch der Verbund versagte. Bei Einzeldübeln mit der Verankerungstiefe $h_{ef} =$ wurde Verbundversagen beobachtet.

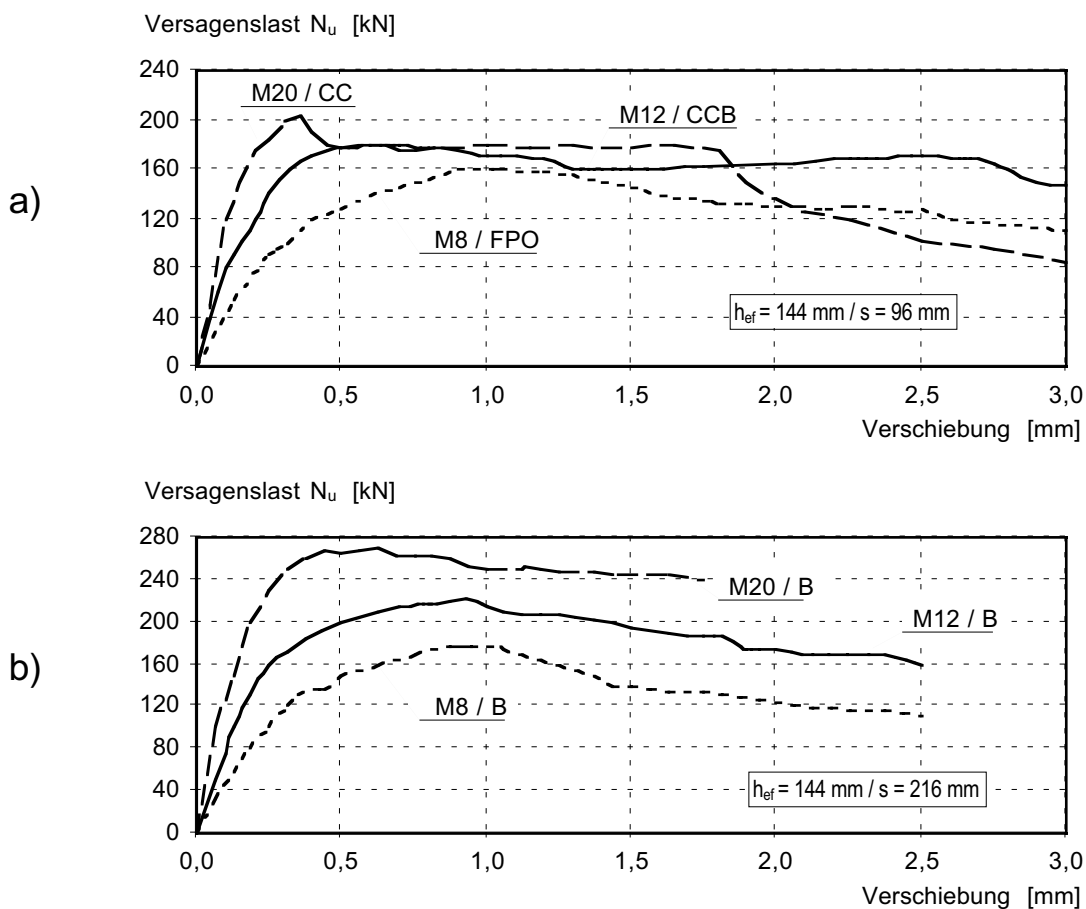


Bild 3.13: Last-Verschiebungskurven von Verbunddübelgruppen unter zentrischer Zugbelastung, Vierfachbefestigungen mit Dübeln M8 / M12 / M20, $h_{ef} = 144$ mm, berechnet mit FE-Programm MASA (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

a) $s = 96$ mm

b) $s = 216$ mm

Bei der Befestigungsgruppe mit dem Achsabstand $s = 0,67 h_{ef}$ wird ein kombiniertes Verbund- und Betonausbruchversagen beobachtet. Daher verläuft die Last-Verschiebungskurve im Bereich der Versagenslast N_u etwas flacher als die Last-Verschiebungskurven der Befestigungsgruppen mit größerem Achsabstand s mit Verbundversagen. Weiterhin zeigt sich in Bild 3.12b, daß bei den Dübelgruppen mit Verbundversagen und dem vergleichbaren Einzeldübel, bei dem ebenfalls Verbundversagen auftritt, die Versagenslasten N_u bei Verschiebung $0,6 \text{ mm} \leq v \leq 1,0 \text{ mm}$ erreicht werden. Das Last-Verschiebungsverhalten nach Erreichen der Versagenslast N_u von Verbunddübelgruppen mit Verbundversagen und des Einzeldübels mit Verbundversagen ist ähnlich.

In Bild 3.13 wird der Einfluß des Dübeldurchmessers auf das Last-Verschiebungsverhalten untersucht. Die Versagensarten der einzelnen Befestigungsgruppen sind mit angegeben. Es ist zu erkennen, daß die Last-Verschiebungskurven von Befestigungsgruppen mit großen Dübeldurchmessern steiler verlaufen als die der Befestigungsgruppen mit kleinen Durchmessern, was mit dem Last-Verschiebungsverhalten von Einzeldübeln übereinstimmt (vgl. Bild 3.5b). Dies ist bei den Befestigungsgruppen mit geringem Achsabstand s mit verschiedenen Versagensarten bei den einzelnen Dübeldurchmessern (Bild 3.13a) und bei Befestigungsgruppen mit großem Achsabstand s mit Verbundversagen (Bild 3.13b) zu beobachten.

3.6.2.3 Bruchlasten

In Tabelle 3.7 sind die Ergebnisse der FE-Berechnungen mit Vierfachbefestigungen zusammengestellt. Angegeben sind die Versagenslasten $N_{u,calc}$ und die zu diesen Lasten zugehörigen Verschiebungen v .

In Bild 3.11 sind die berechneten Höchstlasten $N_{u,calc}$ über dem Verhältnis Achsabstand zu Durchmesser s / d dargestellt. Bild 3.11 zeigt, daß bei Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} und des Achsabstandes s die Versagenslasten N_u unabhängig von der Versagensart zunehmen. Bei den Achsabständen s , bei denen die Versagensart „FPO“ auftritt, ist noch nicht die maximale Versagenslast der Gruppe erreicht. Wird der Achsabstand groß genug, tritt reines Verbundversagen ein. Dann ist mit keiner weiteren Steigerung der Bruchlast N_u zu rechnen, d.h. benachbarte Dübel einer Gruppe beeinflussen sich nicht mehr gegenseitig.

DÜBELDURCHMESSER d [mm]	VERANKERUNGSTIEFE h _{ef} [mm]	h _{ef} / d [–]	ACHSABSTAND s [mm]	s / h _{ef} [–]	VERSAGENS- LAST N _{u,calc} [kN]	VERSCHIEBUNG v bei N _{u,calc} [mm]	
8	96	12	96	1,0	86,5 (97,5) ¹⁾	0,32 (1,00) ¹⁾	
	144	18	48	0,33	130,1	0,60	
			96	0,67	160,1	1,02	
			144	1,0	165,4	0,81	
			216	1,5	177,2	0,93	
	160	10	160	1,0	240,8	1,33	
12	48	4	48	1,0	50,1	0,33	
			96	2,0	66,0	0,41	
			144	3,0	76,7	0,44	
			192	4,0	76,1	0,75	
	96	8	48	0,5	98,4	0,36	
			96	1,0	124,1	0,51	
			144	1,5	142,4	0,45	
			192	2,0	144,9	0,84	
	240	20	48	0,2	251,4	0,78	
			96	0,4	312,2	1,20	
			144	0,6	341,0	1,11	
			240	1,00	355,6	1,23	
	144	12	48	0,33	132,2	0,58	
			96	0,66	180,2	0,66	
			144	1,0	210,6	0,87	
			216	1,5	221,1	0,93	
		192	16	48	0,25	196,0	0,60
				96	0,5	246,2	0,99
				144	0,75	277,5	1,02
				192	1,0	284,3	0,99
	20	144	7,2	96	0,67	203,0	0,36
				144	1,0	241,3	0,60
				180	1,33	256,7	0,60
				216	1,5	267,4	0,63
240				1,67	273,2	0,66	

1) Erstes und zweites Lastmaximum

Tabelle 3.7: Ergebnisse der FE-Rechnungen mit Verbunddübeln, Vierfachbefestigungen mit Dübeln M8, M12 und M20 (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

3.7 Auswertung der numerischen Untersuchungen

Bild 3.14 und Bild 3.15 zeigen das Verhältnis der berechneten Versagenslasten von Vierfachbefestigungen zur Versagenslast von Einzelbefestigungen $N_{u,group} / N_{u,single}$ in Abhängigkeit vom Verhältnis Achsabstand zur Verankerungstiefe s / h_{ef} (Bild 3.14a und Bild 3.15a) bzw. in Abhängigkeit vom Verhältnis Achsabstand zum Dübeldurchmesser s / d (Bild 3.14c und Bild 3.15c).

Zunächst fällt auf, daß das Verhältnis Gruppenversagenslast zu Last des Einzeldübels $N_{u,group} / N_{u,single}$ unabhängig von der Versagensart ansteigt. Somit können die Berechnungen gemeinsam ausgewertet werden und die Versagensart kann bei der Suche nach dem kritischen Achsabstand s_{cr} , bei dem die Traglast der Gruppe etwa der vierfachen Traglast eines Einzeldübels entspricht, vernachlässigt werden.

Bild 3.14a zeigt, daß das Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} , bei dem die Gruppenversagenslast $N_{u,group}$ etwa der vierfachen Versagenslast des Einzeldübels $4 \cdot N_{u,single}$ entspricht, mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} von $s_{cr} / h_{ef} = 3,0$ ($h_{ef} = 48$ mm) auf $s_{cr} / h_{ef} \sim 0,8$ ($h_{ef} = 240$ mm) abfällt. Es besteht also kein konstanter Zusammenhang zwischen dem Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} und dem Verhältnis Gruppenversagenslast zu Versagenslast des Einzeldübels (Bild 3.14a und Bild 3.15a) wie etwa bei Metalldübeln, bei denen Gruppenbefestigungen immer mit einem gemeinsamen Betonausbruch oder bei großem Achsabstand mit einzelnen Betonausbrüchen der beteiligten Dübel versagen. Bei Verbunddübeln wechselt die Versagensart in Abhängigkeit vom Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} .

Für die berechneten Dübelgruppen mit Verbunddübeln M12 zeigt sich jedoch, daß das Verhältnis $N_{u,group} / N_{u,single}$ unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} mit zunehmendem Achsabstand s (Bild 3.14b) bzw. mit zunehmendem Verhältnis Achsabstand zu Dübeldurchmesser s / d (Bild 3.14c) ansteigt. Betrachtet man die mit Dübeldurchmesser 8 mm, 12 mm und 20 mm durchgeführten Berechnungen, ist keine eindeutige Abhängigkeit vom Achsabstand s (Bild 3.15b) zu erkennen. Betrachtet man jedoch das Verhältnis $N_{u,group} / N_{u,single}$ in Abhängigkeit vom Verhältnis Achsabstand zu Dübeldurchmesser s / d (Bild 3.15c), zeigt sich für die drei betrachteten Dübeldurchmesser $\varnothing 8$ mm, $\varnothing 12$ mm und $\varnothing 20$ mm eine gute Übereinstimmung. Für Dübelgruppen mit Durchmesser $\varnothing 20$ mm liegen allerdings nur Berechnungen bis zum Verhältnis $s / d = 12$ vor.

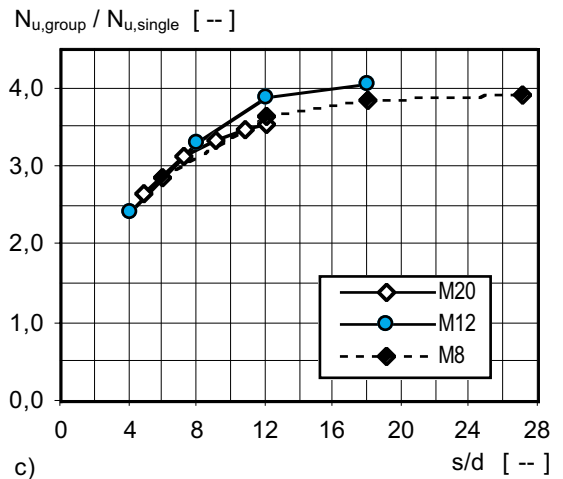
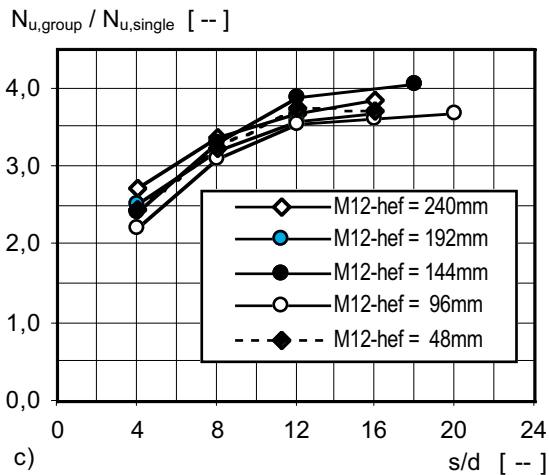
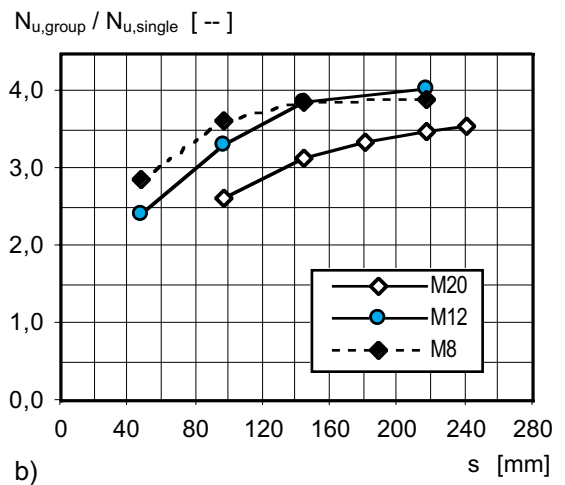
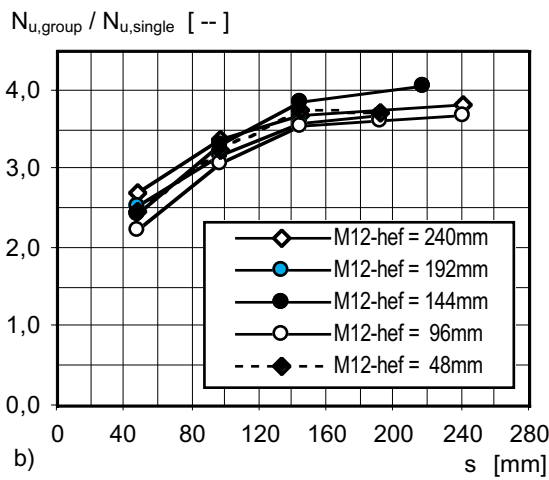
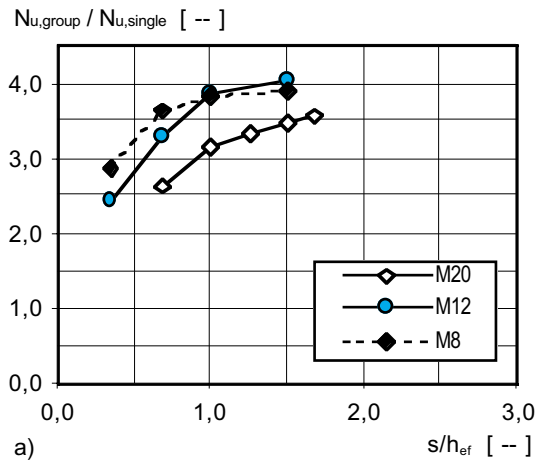
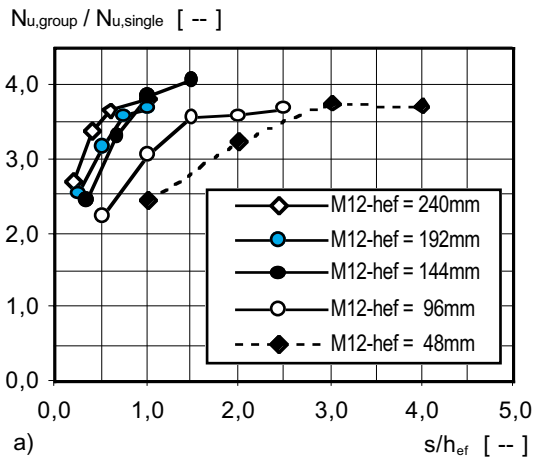


Bild 3.14: Verhältnis Nu_{group} / Nu_{single} aus FE-Rechnungen mit Verbunddübeln M12 (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

- a) über s/h_{ef}
- b) über s
- c) über s/d

Bild 3.15: Verhältnis Nu_{group} / Nu_{single} aus FE-Rechnungen mit Verbunddübeln M8 / M12 / M24, $h_{ef} = 144$ mm (Lehr, Li, Ozbolt, Eligehausen (1999))

- a) über s/h_{ef}
- b) über s
- c) über s/d

Für den Achsabstand $s = 0$ kann man davon ausgehen, daß die Befestigungsgruppe die Versagenslast eines Einzeldübels $N_{u, \text{single}}$ erreicht. Für den Achsabstand $s_{cr1} = 4d$ wird für die Gruppe etwa die 2,5-fache Versagenslast des Einzeldübels erreicht. Für Befestigungsgruppen mit Dübeln $\varnothing 8$ mm und $\varnothing 12$ mm wird bei $s_{cr2} = 16d$ etwa die vierfache Versagenslast des Einzeldübels erreicht. Für Befestigungsgruppen mit Dübeln $\varnothing 20$ mm liegt s_{cr2} möglicherweise geringfügig höher. Es wird davon ausgegangen, daß bei $s_{cr2} = 20d$ für alle Dübel Durchmesser die vierfache Versagenslast des Einzeldübels erreicht wird. Mit den Achsabständen s_{cr1} und s_{cr2} wird zunächst das in Bild 3.16 dargestellte Modell für die Berechnung der Versagenslast von Verbunddübelgruppen vorgeschlagen.

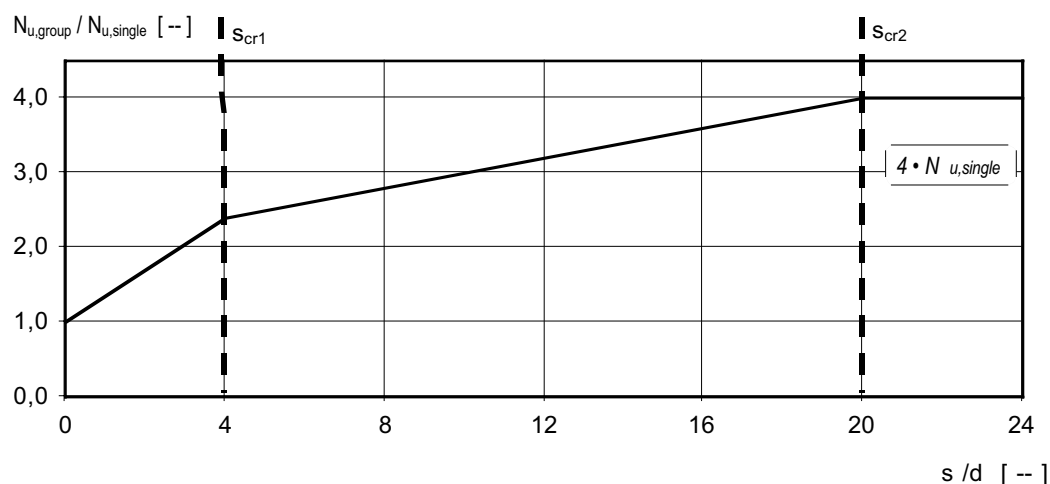


Bild 3.16: Modell für die Berechnung der mittleren Versagenslast von Verbunddübelgruppen mit Achsabstand s_{cr1} und s_{cr2} , Ergebnis der numerischen Untersuchung

3.8 Zusammenfassung von Abschnitt 3

Aus den numerischen Untersuchungen an Vierfachbefestigungen mit Verbunddübelgruppen geht hervor:

- Verbunddübelgruppen zeigen keine einheitliche Versagensart. Befestigungsgruppen mit kleinen Verankerungstiefen h_{ef} und kleinem Achsabstand s versagen durch Betonausbruch. Bei Dübelgruppen mit großer Verankerungstiefe h_{ef} und großem Achsabstand s tritt Verbundversagen auf. Bei bestimmten Verhältnissen s / h_{ef} kann Verbundversagen auftreten und gleichzeitig der Beton im Bereich der unteren Dübelenden geschädigt werden.
- Die Versagenslasten von Verbunddübelgruppen steigen mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} und zunehmendem Achsabstand s unabhängig von der Versagensart an.
- Bei dem kritischen Achsabstand $s_{cr2} \sim 20 d$ entspricht die Gruppenversagenslast $N_{u,group}$ der vierfachen Versagenslast eines Einzeldübels $N_{u,single}$.

4 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

4.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die vom Verfasser durchgeführten experimentellen Untersuchungen mit Verbunddübeln beschrieben. Ziel dieser Untersuchungen war es, die Versagensarten, das Last-Verschiebungsverhalten und die Versagenslasten N_u von Gruppenbefestigungen mit großem Randabstand sowie von Einzeldübeln am Bauteilrand und in der Bauteilecke zu studieren. Weiterhin soll mit den Versuchsergebnissen die Richtigkeit der numerischen Untersuchungen überprüft werden.

In der Literatur sind Versuche mit Gruppenbefestigungen und Befestigungen am Rand beschrieben (vgl. Abschnitt 2). Bei diesen Versuchen wurden handelsübliche Dübel mit einem Verhältnis Verankerungstiefe zu Ankerstangendurchmesser $h_{ef} / d \sim 8$ bis 10 geprüft. Versuche mit Einzeldübeln ohne Gruppen- und Randeinflüsse stehen ebenfalls zur Verfügung. Es handelt sich bei diesen Untersuchungen hauptsächlich um Versuche mit Verbunddübeln des Patronensystems.

Bei Glaspatronendübeln ist durch die Größe der Mörtelpatrone die mögliche Verankerungstiefe h_{ef} festgelegt. Ein Tiefersetzen ist nur durch die Verwendung mehrerer Patronen möglich, was aber eine unzureichende Durchmischung von Harz und Härter mit sich bringen kann.

Um das Versagen von Befestigungen mit größeren Verankerungstiefen untersuchen zu können, wurden zahlreiche Versuche mit Gruppenbefestigungen mit großem Randabstand und Versuche am Bauteilrand mit Injektionsdübeln durchgeführt. Da der Injektionsmörtel außerhalb des Bohrloches und unabhängig vom Setzvorgang gemischt wird, kann mit Injektionssystemen gut eine beliebige Verankerungstiefe h_{ef} erreicht werden. Um Stahlversagen möglichst auszuschließen, wurden Ankerstangen mit einer hohen Stahlfestigkeit verwendet.

Um den Einfluß des Bauteilrandes und des Achsabstandes bestimmen zu können, wurden zum Vergleich Versuche mit Einzeldübeln mit großem Randabstand durchgeführt. Variiert wurde wie bei den Gruppen- und Randversuchen der Ankerstangendurchmesser d , die Verankerungstiefe h_{ef} und die Betonfestigkeit.

Für die Untersuchung des Tragverhaltens von Verbunddübeln wurden zwei Injektionsdübelssysteme eingesetzt. Bei einem System handelt es sich um einen styrolfreien Hybridmörtel, dessen Bindemittel aus Vinylester und Zement besteht, und der mit Mörtel HH bezeichnet wurde (Versuche mit Einzeldübeln, mit Gruppenbefestigungen und am Bauteilrand). Das zweite System (Mörtel SP) ist ein System auf der Grundlage von Epoxidharz .

Nachfolgend werden die durchgeführten experimentellen Untersuchungen erläutert.

4.1 Durchgeführte Versuche

4.1.1 Versuche mit Einzeldübeln

Zum besseren Verständnis der Versuchsergebnisse der Gruppenversuche und der Versuche nahe am Bauteilrand und in der Bauteilecke wurden Vergleichsversuche mit Einzeldübeln mit weiter Abstützung durchgeführt. In der Regel wurden diese Versuche in den gleichen Versuchskörpern bzw. in Versuchskörpern aus der gleichen Mischung gefahren. In Einzelfällen wurden Versuchskörper aus anderen Betonmischungen verwendet, wobei sich jedoch Betonmischung und Betondruckfestigkeit f_{cc} nicht sehr stark unterschieden.

Tabelle 4.1 enthält die Versuchsmatrix der bei Lehr, Eligehausen (1998) beschriebenen 259 Versuche mit Mörtel HH und Mörtel SP. In Tabelle 4.2 ist die Versuchsmatrix der 21 Versuche mit Mörtel D und B von Spieth (1995) zusammengestellt.

Mit Mörtel ED und Dübeln \varnothing 12 und \varnothing 24 mm wurden von Lehr, Brecht, Eligehausen (2000) je 3 Versuche mit enger Abstützung durchgeführt, um die Verbundfestigkeit für die Versuche mit Gruppenbefestigungen von Lehr, Eligehausen (2003) zu ermitteln. Die Verankerungstiefe betrug $h_{ef} = 10 d = 120$ mm bzw. 240 mm. Diese Versuche sind bei den Auswertungen der Einzelversuche nicht berücksichtigt worden.

4.1.2 Versuche mit Gruppenbefestigungen

Bei Lehr, Eligehausen (1998), Hilt (1996), Wagner (1998), Lehr, Eligehausen, Opferkuch (2001) und Lehr, Eligehausen (2001) sind experimentelle Untersuchungen mit Gruppenbefestigungen beschrieben, die vom Verfasser bzw. unter Leitung des Verfassers durchgeführt wurden. Tabelle 4.3 enthält die Versuchsmatrix der 291 Versuche mit Vierfachbefestigungen mit Mörtel HH und mit Mörtel SP.

Von Spieth (1995) wurden 36 weitere Versuche mit Gruppenbefestigungen durchgeführt, wobei ebenfalls zwei Injektionsmörtel eingesetzt wurden. Variiert wurden der Ankerstangendurchmesser d , die Verankerungstiefe h_{ef} sowie der Achsabstand s . Die Betonfestigkeit betrug $f_{cc} \sim 35$ N/mm² bis $f_{cc} \sim 50$ N/mm². In Tabelle 4.4 ist das Versuchsprogramm der 36 Versuche mit Mörtel D und B von Spieth (1995) zusammengestellt.

Mit Mörtel ED und Dübeln \varnothing 24 mm wurden von Lehr, Eligehausen (2003) 6 Versuche durchgeführt. Die Verankerungstiefe betrug $h_{ef} = 12 d = 288$ mm und der Achsabstand $s = 8 d = 192$ mm und $s = 16 d = 384$ mm. Diese Versuche wurden nur in den Auswertungen in Kapitel 6 berücksichtigt.

DÜBEL DURCHMESSER	BETON - FESTIGKEIT		h _{ef} / d							GESAMT- ANZAHL
	1)	2)	4	6	8	10	12	16	20	
VERSUCHE MIT MÖRTEL HH (Hybridmörtel)										146
M8	X		---	10	8	9	8	3	4	42
		X	---	5	3	5	6	---	---	19
M12	X		3	10	6	5	3	5	---	32
		X	3	5	3	5	3	---	---	19
M16	X		3	3	10	3	---	---	---	19
		X	3	3	6	---	---	---	---	12
M24	X		---	---	---	---	3	---	---	3
VERSUCHE MIT MÖRTEL SP (Epoxyharz)										113
M8	X		---	5	5	5	5	---	---	20
		X	---	5	5	---	---	---	---	10
M12	X		5	5	7	3	8	---	---	28
		X	5	7	6	5	5	---	---	28
M16	X		3	5	5	3	---	---	---	16
		X	5	3	3	---	---	---	---	11
GESAMT										259

1) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ 2) $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 4.1: Versuchsmatrix der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübel (Einzelbefestigungen) M8, M12, M16, M24, Versuche von Eligehausen, Lehr (1998/1)

DÜBEL DURCHMESSER	BETONFESTIGKEIT		h _{ef} / d _{nom}			GESAMT- ANZAHL
	1)	2)	8	10	12	
VERSUCHE MIT MÖRTEL D						16
12,7		X	----	4	----	4
15,9		X	4	----	5	9
15,9	X		3	----	----	3
VERSUCHE MIT MÖRTEL B						5
15,9		X	5	----	----	5
GESAMT						21

1) $f_{cc} \sim 35 \text{ N/mm}^2$ 2) $f_{cc} \sim 50 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 4.2: Versuchsmatrix der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln (Einzelbefestigungen) Ø 12,7 und Ø 15,9, Mörtel D und B, Versuche von Spieth (1995)

DÜBELDURCHMESSER d	h _{ef} / d	BETONDRUCKFESTIGKEIT		s / h _{ef}							GESAMT ANZAHL
		1)	2)	---	---	4	---	---	---	---	
VERSUCHE MIT MÖRTEL HH (Hybridmörtel)											194
M8	6	X		---	---	7	---	---	---	---	7
			X	---	---	4	---	---	---	---	4
	8	X		---	---	9	4	4	3	---	20
			X	---	---	4	---	---	---	---	4
	10	X		---	---	8	4	---	---	---	12
			X	---	---	3	---	---	---	---	3
	12	X		---	4	3	4	---	---	---	11
			X	---	4	3	4	---	---	---	11
16	X		---	---	3	---	---	---	---	3	
20	X		---	---	3	---	---	---	---	3	
M12	4	X		---	---	8	14	8	11	11	52
	6	X		---	---	4	---	---	---	---	4
	8	X		---	4	5	4	4	6	---	23
	10	X		---	---	4	---	---	---	---	4
	12	X		3	6	5	3	---	---	---	17
	16	X		---	---	4	---	---	---	---	4
M16	8	X		---	---	4	---	---	---	---	4
M 24	12	X		---	3	5	---	---	---	---	8
VERSUCHE MIT MÖRTEL SP (Epoxydharz)											91
M12	4	X		---	---	6	---	---	---	---	6
			X	---	---	8	---	---	---	---	8
	8	X		---	4	6	3	---	---	---	13
			X	---	3	5	2	3	2	---	15
	10	X		---	3	3	3	3	---	---	12
			X	---	6	3	---	---	---	---	9
12	X		3	3	3	3	---	---	---	12	
		X	---	3	3	---	---	---	---	6	
M16	6	X		---	---	4	---	---	---	---	4
	8	X		---	---	3	---	---	---	---	3
	10	X		---	---	3	---	---	---	---	3
VERSUCHE MIT MÖRTEL ED (Epoxydharz)											6
M24	10	X		---	3	3	---	---	---	---	6
GESAMT											291

1) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

2) $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 4.3: Versuchsmatrix der zentrischen Zugversuche mit Vierfachbefestigungen mit Mörtel HH und Mörtel SP zur Untersuchung des Einflusses des Achsabstandes (Lehr, Eligehausen (1999/1), Opferkuch (2000), Lehr, Elighausen (2001))

d		PRO- DUKT	BETONFESTIGKEIT ¹⁾		VERANKERUNGSTIEFE			ANZAHL DER VERSUCHE		
[in]	[mm]		NF	HF	h_{ef} / d	[in]	[mm]	s=75 mm	s=125 mm	s=175 mm
1/2	12,7	D		X	10	5	127	3	3	-----
5/8	15,9	D		X	8	5	127	3	3	3
		D		X	12	7,5	190,5	3	3	3
		D	X		10	5	127	1	1	1
5/8	15,9	B		X	8	5	127	3	3	3
GESAMT								36		

1) $f_{cc} \sim 35 \text{ N/mm}^2$ 2) $f_{cc} \sim 50 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 4.4: Versuchsmatrix der zentrischen Zugversuche mit Vierfachbefestigungen mit Mörtel D und Mörtel B zur Untersuchung des Einflusses des Achsabstandes (Spieth (1995))

4.1.3 Versuche am Bauteilrand und in der Bauteilecke

Bei Popo-Ola, Newman (1995) werden Versuche am Bauteilrand und in der Bauteilecke nach einem vom Verfasser vorgegebenen Versuchsprogramm beschrieben. Dabei kam ebenfalls der Verbundmörtel HH zum Einsatz. Es wurden der Dübelstangendurchmesser d , die Verankerungstiefe h_{ef} und der Randabstand c variiert. Tabelle 4.5 enthält die Versuchsmatrix der 141 Versuche zur Untersuchung des Einflusses des Randabstandes auf das Tragverhalten von Verbunddübeln. In Tabelle 4.6 sind die 23 Versuche in der Bauteilecke zusammengestellt.

DÜBEL DURCHMESSER	h_{ef} / d	c / h_{ef}						GESAMT- ANZAHL
		0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	
M8	8	---	5	---	---	---	---	5
	12	---	5	---	---	---	---	5
	16	---	5	---	---	---	---	5
	20	---	6	---	---	---	---	6
M12	4	---	---	5	4	3	---	12
	8	---	9	9	9	---	---	27
	12	5	10	5	5	4	3	32
	16	5	5	3	3	4	---	20
	20	5	5	3	3	---	---	16
M 20	8	---	5	---	---	---	---	5
	12	---	3	---	---	---	---	3
	16	---	5	---	---	---	---	5
GESAMT								141

Tabelle 4.5: Versuchsmatrix der zentrischen Zugversuche mit Einzeldübeln zur Untersuchung des Einflusses des Randabstandes c (Popo-Ola, Newman (1995))

DÜBEL DURCHMESSER	h_{ef} / d	$c_1 / h_{ef} = c_2 / h_{ef}$			GESAMT- ANZAHL
		0,5	0,75	1,0	
M12	8	4	3	4	11
	12	4	---	---	4
	16	4	---	---	4
	20	4	---	---	4
GESAMT					23

Tabelle 4.6: Versuchsmatrix der zentrischen Zugversuche mit Einzeldübeln zur Untersuchung des Einflusses des Eckabstandes $c_1 = c_2$ (Popo-Ola, Newman (1995))

4.2 Versuchsdurchführung

Die Versuche mit Verbunddübeln (Gruppenbefestigung: Lehr, Eligehausen (1998), Hilt (1996), Wagner (1998), Opferkuch (2000), Lehr, Elighausen (2001); Befestigungen am Rand: Popo-Ola, Newman (1995); Einzeldübel mit weiter und enger Abstützung Lehr, Eligehausen (1998)) wurden in Beton mit einer Festigkeit $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ und teilweise in Beton mit einer Festigkeit $f_{CC} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ durchgeführt. Die Versuchskörper hatten in der Regel ein Betonalter von mindestens 28 Tagen. Die Betondruckfestigkeit wurde an Würfeln mit einer Kantenlänge von 200 mm ermittelt. In einigen wenigen Fällen wurde die Betondruckfestigkeit f_{CC} über aus den Prüfkörpern entnommenen Bohrkernen mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 100 mm ermittelt.

Die Herstellung der Versuchskörper erfolgte in einem Fertigteilwerk entsprechend DIN 1045 und DIN 1048. Die Betonplatten wurden liegend in einer starren Schalung aus glatten Schaltafeln gefertigt. Außer einer Randbewehrung (Betonstahl $\varnothing 6 \text{ mm}$) wurde keine Bewehrung eingelegt. Sämtliche Versuchskörper waren an den Schmalseiten mit Transportankern versehen.

Die Versuchskörper für die Versuche von Popo-Ola, Newman (1995) wurden am Ort der Versuchsdurchführung hergestellt. Eine Randbewehrung und Transportanker wurden nicht eingebaut.

Sämtliche experimentellen Untersuchungen wurden in Prüfhallen mit einer Innentemperatur von $\sim 20^\circ\text{C}$ durchgeführt. Die Versuchskörper wurden ausreichend lange dort gelagert, damit deren Temperatur ebenfalls $\sim 20^\circ\text{C}$ betrug. Damit sollte ein Einfluß der Temperatur des Prüfkörpers auf das Tragverhalten der Verbunddübel vermieden werden.

Das Herstellen der Bohrlöcher erfolgte ausschließlich senkrecht nach unten mit Hammerbohrern. Um senkrecht zur Betonoberfläche verlaufende Bohrlöcher zu erhalten, wurden die verwendeten Hammerbohrmaschinen in der Regel in einen Bohrstand eingebaut.

Nach dem Bohren wurden die Bohrlöcher gründlich gereinigt, um einen Einfluß aus unzureichender Reinigung auf das Tragverhalten möglichst auszuschließen. Die Reinigung erfolgte in folgenden Schritten:

- Aussaugen der Bohrlöcher mit einem Industriestaubsauger
- Ausbürsten der Bohrlöcher von Hand mit einer vom Mörtelhersteller empfohlenen dem Bohrlochdurchmesser angepaßten Bürste
- Herausblasen aller Staubpartikel aus dem Bohrloch mit einer vom Mörtelhersteller empfohlenen Handpumpe
- nochmaliges Aussaugen der Bohrlöcher mit einem Industriestaubsauger

Die Montage der Dübel erfolgte ausschließlich durch Personen, die Erfahrungen in der Montage von Verbunddübeln besaßen. Die Bohrlöcher wurden von unten nach oben mit Injektionsmörtel gefüllt. Das Einsetzen der Ankerstangen erfolgte mit leichter Drehbewegung von Hand. Bei den Gruppenbefestigungen wurden alle Bohrlöcher der Befestigungsgruppe mit Mörtel verfüllt, bevor anschließend alle Ankerstangen nacheinander eingesetzt wurden. An der Betonoberfläche austretender Injektionsmörtel wurde entfernt.

Bis zum Belasten der Dübel wurde die vom Mörtelhersteller vorgeschriebene Aushärtezeit eingehalten. Diese beträgt für Mörtel HH ~ 45 Minuten und für Mörtel SP und Mörtel ED mindestens 24 Stunden. Bei den Rand- und Eckversuchen (Popo-Ola, Newman (1995)) sowie den Gruppenversuchen mit Ankerstangen M24 (Opferkuch (2000)) verstrichen vom Setzen der Dübel bis zum Belasten ebenfalls nahezu 24 Stunden.

Bei den Gruppenbefestigungen mit Dübeln M8, M12 und M16 wurde ein gemeinsames Anbauteil auf die Dübel aufgesetzt und mit Muttern befestigt (vgl. Bild 4.1). Das Belasten der einzelnen Dübel einer Gruppenbefestigung erfolgte gleichmäßig. Zunächst wurden die Dübel mit dem vom Hersteller angegebenen maximalen Drehmoment vorgespannt. Nach 10 Minuten wurde dieses Drehmoment um 50% reduziert, um dem Einfluß des Kriechens Rechnung zu tragen. Bei den Gruppenbefestigungen mit Dübeln M24 (Opferkuch (2000), Lehr, Eligehausen(2001))

wurden die Dübel nicht vorgespannt und es wurde kein Anbauteil auf die Dübel aufgesetzt. Es wurde eine steife Zugeinrichtung verwendet, die das gleichmäßige Belasten aller Dübel gewährleisten sollte.

Zum Ausziehen der Einzeldübel sowie der Gruppenbefestigungen wurden Auszieheinrichtungen benützt, die sich entsprechend der Dübelgeometrie und den zu erwartenden Ausziehkräften in den Abmessungen unterschieden. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Abstützung der eingeleiteten Zugkräfte außerhalb eines zu erwartenden Ausbruchkegels erfolgte. Dies ist erfahrungsgemäß bei einem Verhältnis des Abstandes der Abstützung vom Dübel zur Verankerungstiefe $a / h_{ef} \sim 1,5$ bis 2 gegeben. Die Verbindung zwischen der Zugeinrichtung und dem Belastungskolben erfolgte über Gewindestangen und Muffen aus hochfestem Stahl. Die Belastung erfolgte außer bei den Versuchen mit Dübeln M24 (Lehr, Eligehausen, Opferkuch (2001)) quasi weggeregelt über die Ölmenge. Die Gruppenversuche mit Verbunddübeln M24 wurden weggesteuert gefahren.

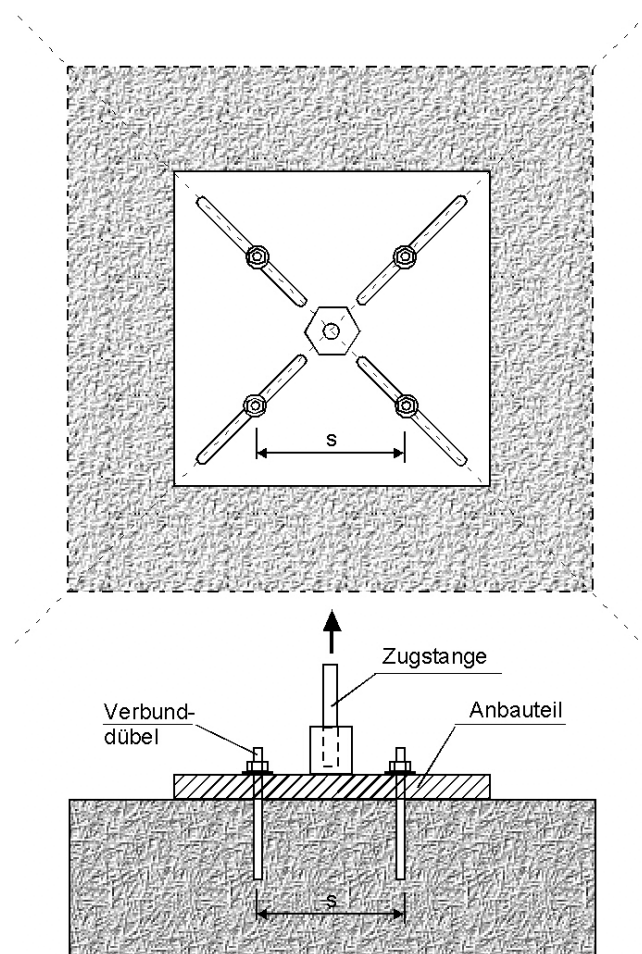


Bild 4.1: Anbauteil für Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln

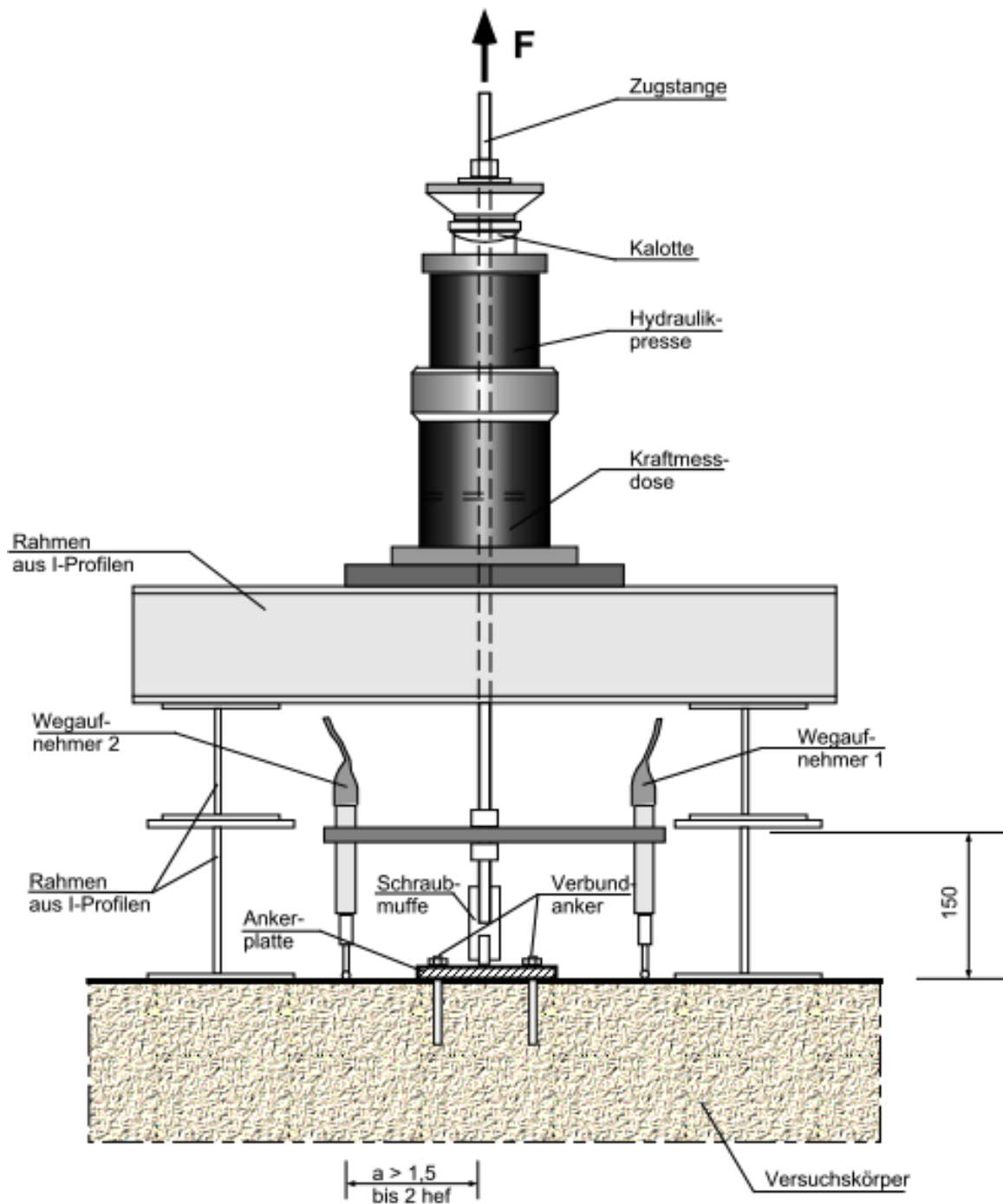


Bild 4.2: Auszieheinrichtung für zentrische Zugversuche

Die Ausziehlasten wurden mit einer zwischengeschalteten Kraftmessdose gemessen. Die Dübelverschiebungen wurden als Mittelwert von zwei zur Zugstange symmetrisch angebrachten Wegaufnehmern gemessen. Bei den Gruppenversuchen mit Dübeln M24 wurden zusätzlich die Kraft und die Verschiebung jedes einzelnen Dübels gemessen. Die Meßsignale wurden über einen Verstärker an einen Meßcomputer weitergegeben und mit einem kommerziellen EDV-Programm ausgewertet.

Weitere Informationen über die Versuchseinrichtungen sind bei Lehr, Elighausen (1998/2), Hilt (1996), Wagner (1998), Spieth (1995), Opferkuch (2000) und Lehr Elighausen (2001) zusammengestellt. In Bild 4.2 ist schematisch die Auszieheinrichtung für Gruppenbefestigungen mit Dübeln der Größe M8, M12 und M16, die im wesentlichen der Auszieheinrichtung für Einzeldübel in der Fläche und am Rand entspricht, dargestellt. Bild 4.3 zeigt die Ausziehvorrichtung der Versuche von Opferkuch (2000) und Lehr, Elighausen (2001) mit Verbunddübelgruppen M24.

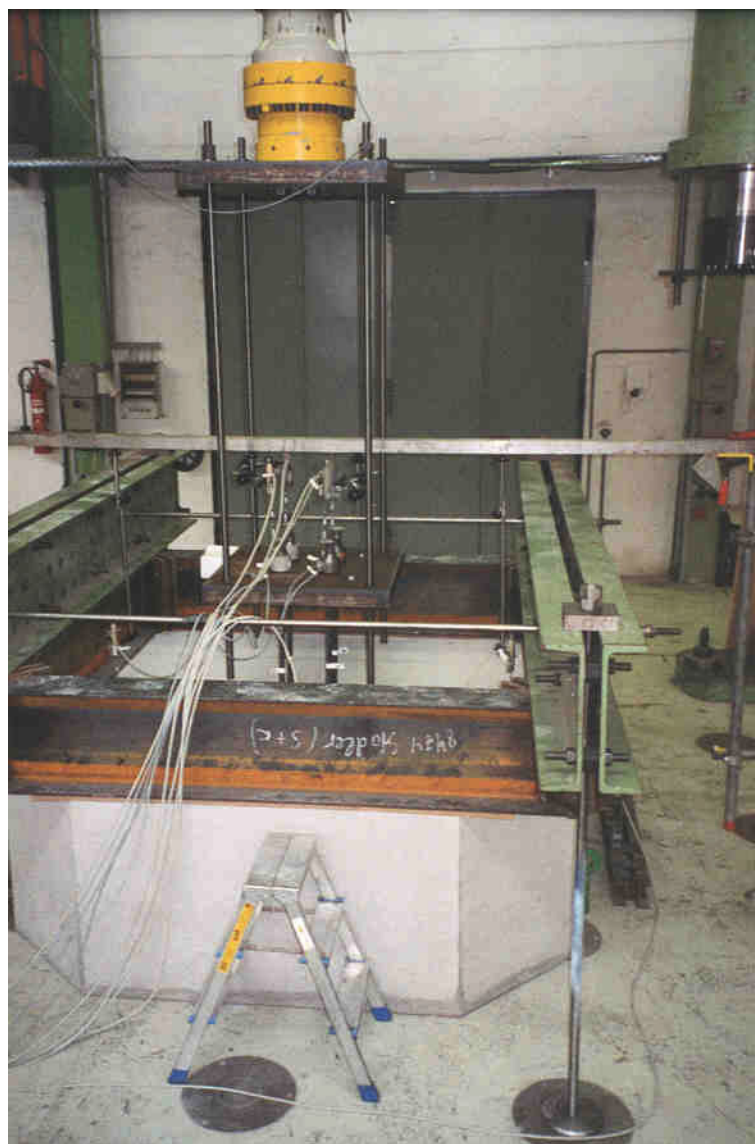


Bild 4.3: Auszieheinrichtung für zentrische Zugversuche mit Verbunddübelgruppen M24 (Opferkuch (2000), Lehr, Elighausen (2001))

4.3 Versuchsergebnisse

4.3.1 Allgemeines

Bei allen Versuchen wurden außer den Montageparametern (Durchmesser d , Schneideneckmaß, Bohrlochtiefe t , Verankerungstiefe h_{ef} und Achsabstand s) folgende Versuchsdaten aufgenommen:

- Versuchskörper: Bezeichnung, Dicke h sowie Betonfestigkeit f_{cc}
- Last-Verschiebungskurve
- Versagenslast N_U
- Verschiebung v_U bei Versagenslast N_U
- Versagensart
- Abmessungen der Ausbruchkegel: Durchmesser und Tiefe (nur bei Lehr, Eligehausen (1998/4), Hilt (1996), Wagner (1998), Lehr, Eligehausen, Opferkuch (2001), Lehr, Eligehausen (2001)).

Die Versagensarten wurden wie folgt bezeichnet:

- CC: Betonversagen, Ausbildung eines Betonausbruchkegels über die gesamte Verankerungstiefe h_{ef}
- B: Verbundversagen zwischen Mörtel und Bohrlochwandung entsprechend Bild 2.23a
- B1: Verbundversagen zwischen Mörtel und Ankerstange entsprechend Bild 2.23b
- CCB/CCB1: kleiner Betonausbruch auf der Oberfläche und Verbundversagen entlang der restlichen Verankerungstiefe
- S: Stahlversagen
- SP: Spalten des Versuchskörpers

Auf eine detailliertere Darstellung wird verzichtet. Die Versuchsergebnisse der Gruppenbefestigungen sind bei Lehr, Eligehausen (1998/4), Hilt (1996); Wagner (1998), Spieth (1995) Lehr, Eligehausen, Opferkuch (2001) zusammengefaßt, wo sich weitere Querverweise befinden. Die Ergebnisse der Versuche mit randnahen Dübeln sind bei Popo-Ola, Newman (1995) dokumentiert. Alle Ergebnisse der Versuche mit Einzelbefestigungen sind Lehr, Elighausen (1998/1) zu entnehmen, wo sich ebenfalls weitere Querverweise befinden.

Eine Zusammenstellung der einzelnen Versuchsergebnisse befindet sich im Anhang. Anhang B enthält die Daten aller Versuche mit Gruppenbefestigungen und Anhang C

der Versuche zur Untersuchung des Randeinflusses. Ergebnisse von Vergleichsversuchen mit Einzeldübeln sind in Anhang D zusammengestellt. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefaßt.

4.3.2 Einzeldübel in der Bauteilfläche

4.3.2.1 Versagensarten

Bei Lehr, Eligehausen (1997/1) und Lehr, Eligehausen (1997/3) ist das Versagen der Einzeldübel exakt dokumentiert. Bei jedem Dübel, bei dem Betonausbruch auftrat, ist Tiefe t_{cone} und Durchmesser d_{cone} des Ausbruchkörpers vermessen worden.

In Bild 4.4 sind die Mittelwerte der Ausbruchkegeltiefen t_{cone} über der Verankerungstiefe h_{ef} für Versuche mit Dübeln M8, M12 und M16 aufgetragen. Die Tiefe der Ausbruchkegel t_{cone} beträgt ca. 10 mm bis 50 mm, im Mittel ca. 30 mm, wobei die Versuchsergebnisse stark streuen. Ein wesentlicher Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} ist kaum zu erkennen.

Bild 4.4b für Mörtel SP zeigt, daß die Ausbruchkegeltiefe t_{cone} nahezu unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} ist. Mit Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} geht das Versagen in ein kombiniertes Verbundversagen mit Betonversagen (CCB / CCB1) über. Bei Verankerungstiefen $h_{\text{ef}} > 8d$ wird Verbundversagen maßgebend. Der Beton ist nahezu nicht mehr am Versagen beteiligt. Die entstehenden

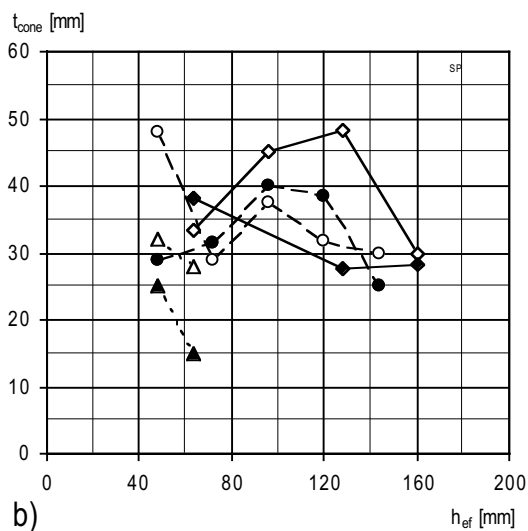
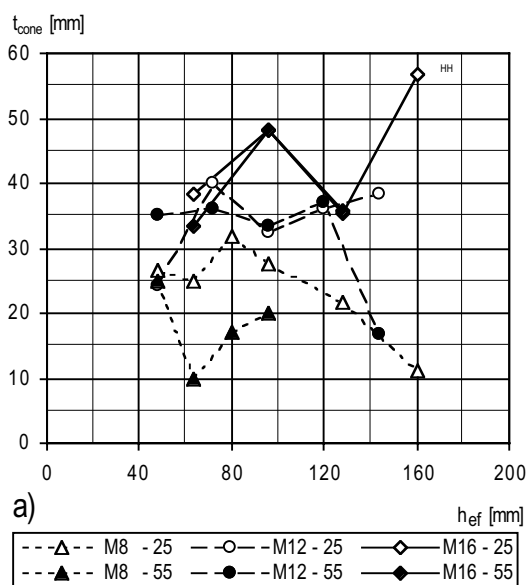


Bild 4.4: Tiefe t_{cone} der Ausbruchkörper von zentrischen Zugversuchen mit Verbunddübeln (Einzeldübel) (Lehr, Eligehausen (1998/1))
a) Mörtel HH b) Mörtel SP

Ausbruchkegel sind eher als ein Abplatzen des oberflächennahen Betons anzusehen.

Für die Versuche mit Einzeldübeln bei Spieth (1995) liegen keine Angaben über die Ausbruchkörper vor.

4.3.2.2 Last-Verschiebungsverhalten

In Bild 4.5 und Bild 4.6 sind typische Last-Verschiebungskurven von zentrischen Ausziehversuchen mit einzelnen Verbunddübeln (Mörtel HH) in niederfestem und hochfestem Beton aufgetragen (Lehr, Eligehausen (1998/1)). Es fällt auf, daß bei den Versuchen in hochfestem Beton die Last-Verschiebungskurven steiler ansteigen, wobei in der Regel höhere Versagenslasten N_U erreicht werden als in den Versuchen in niederfestem Beton. Das bedeutet, daß die Versagenslasten N_U in niederfestem und hochfestem Beton etwa bei gleichen Verschiebungen v_U erreicht werden.

In Bild 4.7 und Bild 4.8 sind Last-Verschiebungskurven von zentrischen Ausziehversuchen mit einzelnen Verbunddübeln unter Verwendung von Mörtel SP dargestellt. Es zeigt sich, daß der Anstieg der Last-Verschiebungskurven etwa gleich steil ist für Versuche in niederfestem und hochfestem Beton. In hochfestem Beton werden jedoch höhere Ausziehlasten erreicht. Es ergibt sich also für diesen Verbundmörtel kein wesentlicher Unterschied in der Steifigkeit bei Verwendung in niederfestem und hochfestem Beton.

Bild 4.9 zeigt Last-Verschiebungskurven von zentrischen Ausziehversuchen mit Einzeldübeln, bei denen die Mörtel B und D verwendet wurden (Spieth (1995)). Die Verschiebungen bei Höchstlast N_U sind höher als bei den Versuchsreihen mit den Injektionsmörteln HH und SP. Die Lasten steigen bei zunehmender Verschiebung bei Versuchen mit dem großen Durchmesser (\varnothing 15,9 mm) schneller an als bei den Versuchen mit dem geringeren Durchmesser (\varnothing 12,7 mm). Bei Versuchen mit Mörtel D ist das Last-Verschiebungsverhalten bei Versuchen mit geringerer Betonfestigkeit günstiger als bei den Versuchen mit höherer Betonfestigkeit. Auch ist zu erkennen, daß bei Versuchen mit großer Verankerungstiefe h_{ef} die Verschiebungen v_U geringer sind als bei Versuchen mit geringeren Verankerungstiefen h_{ef} .

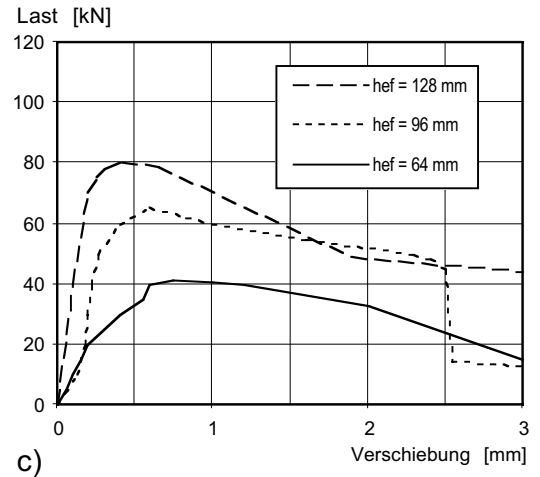
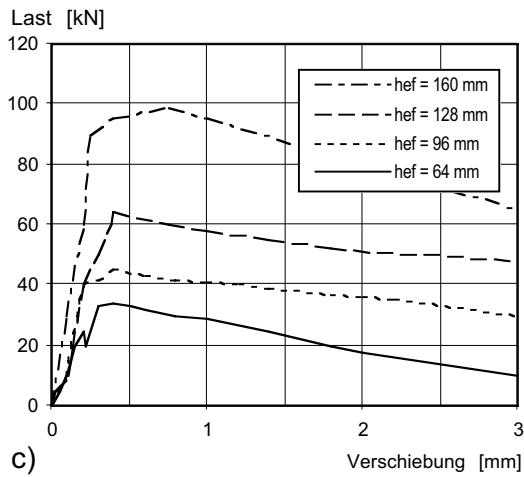
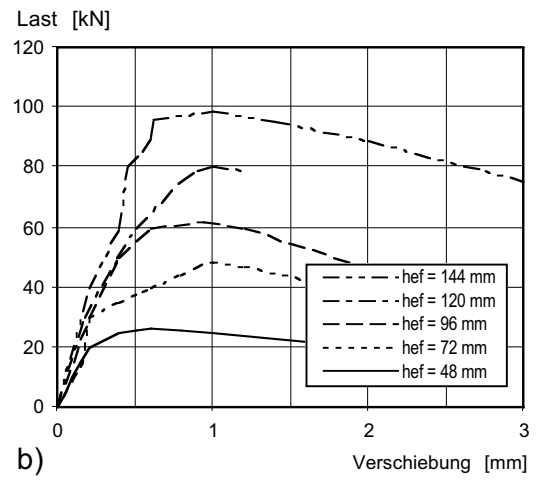
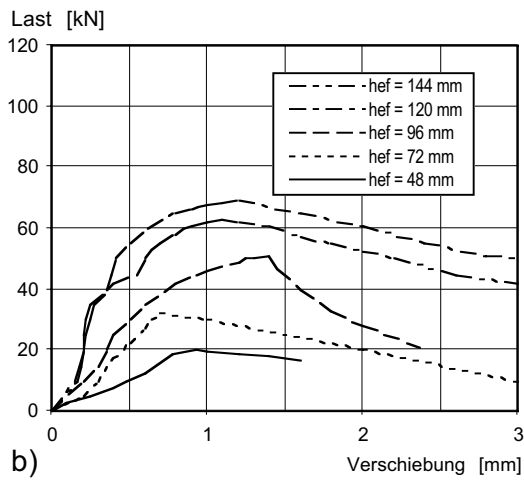
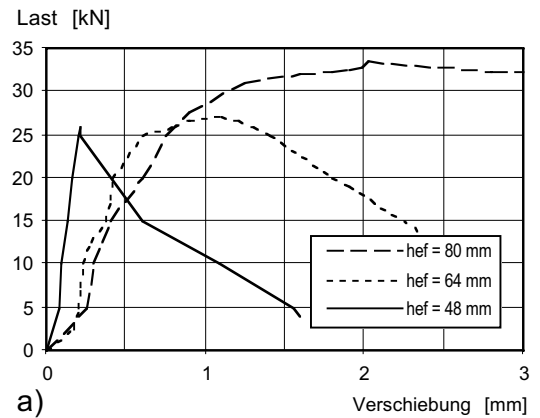
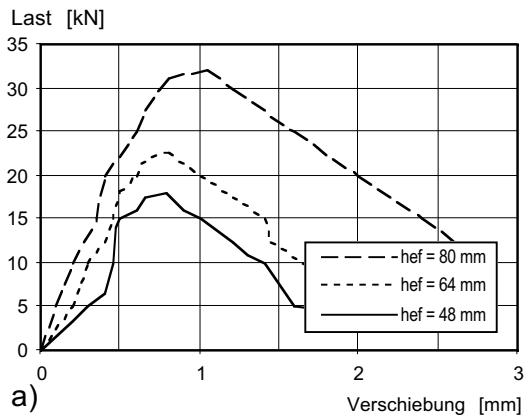


Bild 4.5: Last-Verschiebungskurven von Einzeldübeln in der Bauteilfläche, Verbunddübel Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Lehr, Eligehausen (1998/1))

- a) M8 b) M12
- c) M16

Bild 4.6: Last-Verschiebungskurven von Einzeldübeln in der Bauteilfläche, Verbunddübel Mörtel HH, $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ (Lehr, Eligehausen (1998/1))

- a) M8 b) M12
- c) M16

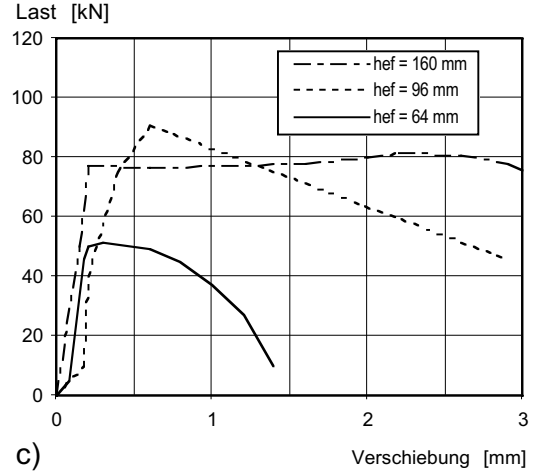
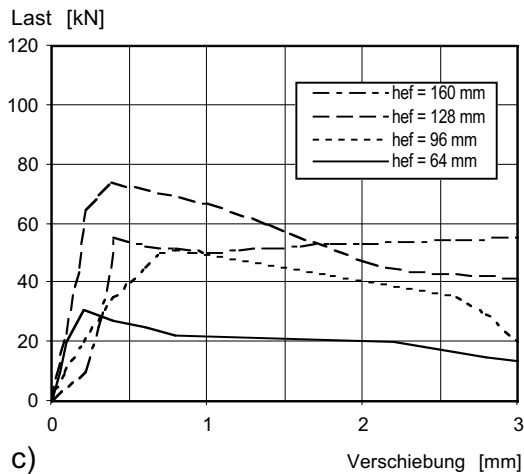
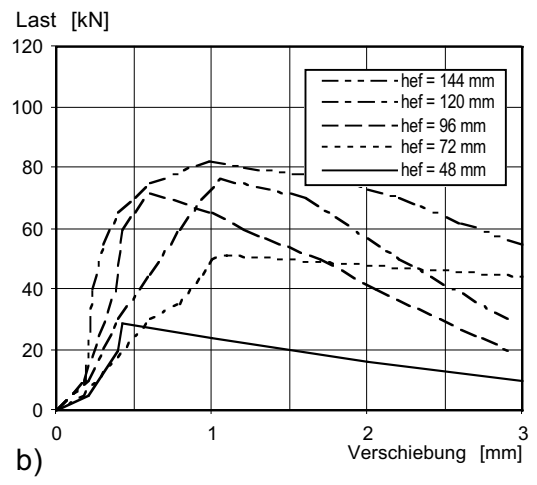
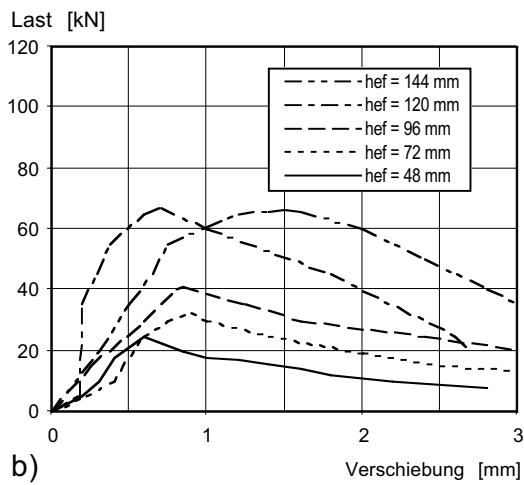
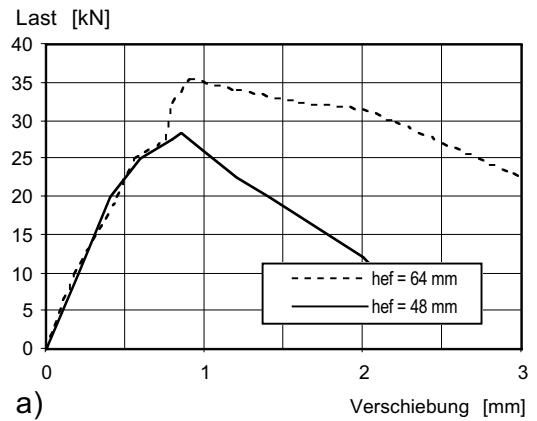
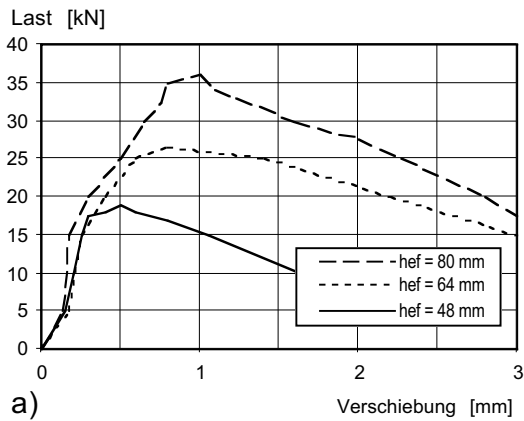


Bild 4.7: Last-Verschiebungskurven von Einzeldübeln in der Bauteilfläche, Verbunddübeln Mörtel SP, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Lehr, Elgehausen (1998/1))

- a) M8 b) M12
- c) M16

Bild 4.8: Last-Verschiebungskurven von Einzeldübeln in der Bauteilfläche, Verbunddübeln Mörtel SP, $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ (Lehr, Elgehausen (1998/1))

- a) M8 b) M12
- c) M16

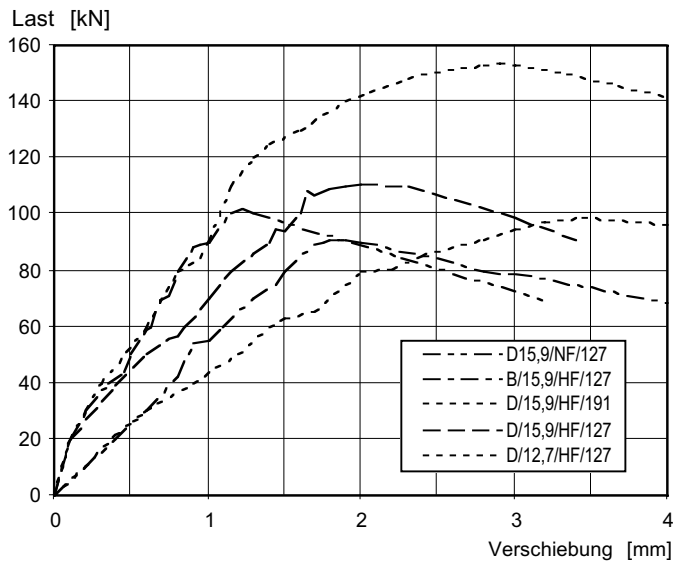


Bild 4.9: Last-Verschiebungskurven von Einzeldübeln in der Bauteilfläche, Verbunddübeln in niederfestem und hochfestem Beton, Mörtel D und B (Spieth (1995))

4.3.2.3 Versagenslasten

Die Ergebnisse der 146 Versuche, die mit Mörtel HH durchgeführt wurden, sind in Tabelle 4.7 angegeben. Von den einzelnen Versuchsserien ist jeweils die Anzahl der Versuche, der Mittelwert, der Variationskoeffizient und die Versagensarten angegeben. Alle wichtigen Daten der Einzelversuche mit Mörtel HH sind Lehr, Eligehausen (1997/1) und Opferkuch (2000) zu entnehmen und in Anhang D zusammengestellt.

Tabelle 4.8 können die Ergebnisse (Mittelwerte, Variationskoeffizienten und Versagensarten) der 113 Versuche mit einzelnen Verbunddübeln, bei denen Mörtel SP eingesetzt war, entnommen werden. Die Ergebnisse der Einzelversuche sind bei Lehr, Eligehausen (1997/3) beschrieben und in Anhang D zusammengestellt.

DÜBEL			BETON-FESTIGKEIT		ANZAHL VER-SUCHE	MITTEL-WERT [KN]	VARI-ATIONS-COEFF. [%]	VERSAGEN
DURCH-MESSER d_{nom} [mm]	VERANKERUNGSTIEFE		1)	2)				
	h_{ef} [mm]	h_{ef} / d_{nom}						
8	48	6	25,9/26,6		10	15,7	17,8	4xCCB1/6xCCB
8	48	6		74,5	5	23,3	9,4	3xCCB1/2xCCB
8	64	8	26,7/26,6		8	21,5	9,9	4xCCB1/4xCCB
8	64	8		55,4	3	26,9	2,1	3xCCB1
8	80	10	23,5/25,9/ 26,6		9	26,7	13,6	4xCCB1/4xCCB 1xCCB/B1
8	80	10		55,4	5	31,4	10,9	4xCCB1/1xS
8	96	12	26,4/26,6		8	24,1	20,8	2xCCB1/4xCCB 1xS/1xCCB/B1
8	96	12		59,0	6	34,8	2,0	2xCCB/4xS
8	128	16	27,8		3	29,7	21,1	3xCCB
8	160	20	27,6		4	35,6	20,0	2xB / 2xCCB
12	48	4	26,7		3	16,1	6,6	2xCCB/1xCC
12	48	4		59,0	3	26,4	5,0	1xCCB1/2xCCB
12	72	6	28,0/26,6		10	35,4	5,4	2xCCB1/8xCCB
12	72	6		59,0	5	44,1	10,4	1xCCB1/4xCCB
12	96	8	26,4/28,0		6	38,6	25,9	4xCCB1/2xCCB
12	96	8		59,0	3	60,2	12,2	2xCCB1/1xCCB
12	120	10	28,0		5	48,1	27,2	4xCCB1/1xCCB
12	120	10		59,0	5	75,4	13,7	5xCCB1
12	144	12	28,1		3	61,7	4,9	2xCCB1/1xCCB
12	144	12		59,0	3	101,7	5,2	3xCCB1
12	192	16	33,7/30,2		5	72,4	24,5	5xCCB1
16	64	4	26,4		3	31,0	3,1	3xCCB
16	64	4		62,1	3	34,9	16,3	3xCCB
16	96	6	30,6		3	44,3	5,0	3xCCB
16	96	6		65,1	3	66,6	9,5	3xCCB
16	128	8	29,6/24,9 /30,6		10	50,8	21,0	1xCCB1/7xCCB 2xCCB/B1
16	128	8		65,1	6	68,4	11,1	3xCCB1/3xCCB/B1
16	160	10	24,9		3	99,9	2,5	2xCCB1/1xCCB
24	288	12	23,7		3	256,2	6,2	3 x CCB

1) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ 2) $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 4.7: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8, M12 und M16 (Einzelbefestigungen) mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1), Opferkuch (2000))

DÜBEL			BETON FESTIGKEIT		ANZAHL VER- SUCHE	MITTEL- WERT [KN]	VARI- ATIONS- COEFF. [%]	VERSAGEN
DURCH- MESSER d_{nom} [mm]	VERANKERUNGSTIEFE		1)	2)				
	h_{ef} [mm]	h_{ef} / d_{nom}						
8	48	6	23,2		5	19,0	4,5	5xCCB
8	48	6		61,8	5	28,0	7,0	5xCCB/2xCCB1
8	64	8	20,8		5	24,5	18,0	5xCCB
8	64	8		72,1	5	34,1	9,3	4xCCB1/1xB1
8	80	10	30,6		5	36,0	10,8	5xCCB
8	96	12	30,6		5	41,2	7,7	3xCCB1/2xS
12	48	4	23,2		5	21,6	5,4	2xCCB/3xCC
12	48	4		72,1	5	27,1	8,5	4xCCB/1xCC
12	72	6	26,6		5	34,6	2,3	5xCCB
12	72	6		61,8	7	40,9	22,1	4xCCB/1xCCB1 2xCCB/B1
12	96	8	26,0/24,4		7	53,9	36,4	5xCCB/2xCCB1
12	96	8		52,9/63,7	6	66,6	5,9	6xCCB
12	120	10	27,5		3	62,0	9,3	3xCCB
12	120	10		57,5	5	71,3	7,9	4xCCB/1xB
12	144	12	33,5/24,9		8	63,6	9,6	8xCCB
12	144	12		57,5	5	70,9	12,8	5xCCB
16	64	4	26,0		3	30,2	9,9	3xCCB
16	64	4		63,7/58,1	5	36,2	40,4	4xCCB/1xCC
16	96	6	26,0/30,6		5	44,4	20,1	5xCCB
16	128	8	30,6		3	72,7	3,0	3xCCB
16	128	8		59,9	2	91,9	-----	CCB/B1- CCB/B
16	160	10	24,9		3	45,9	18,1	3xCCB
16	160	10		59,9	3	80,0	3,9	3xCCB

1) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ 2) $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 4.8: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8, M12 und M16 (Einzelbefestigungen) mit Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

Mit den Mörteln D und B wurden insgesamt 21 Versuche durchgeführt. Es wurden zwei verschiedene Dübel Durchmesser d und zwei verschiedene Verankerungstiefen h_{ef} geprüft. Die Betonfestigkeiten f_{cc} variierten zwischen $f_{cc} = 34,7 \text{ N/mm}^2$ und $f_{cc} = 51,7 \text{ N/mm}^2$. Die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen sowie die Versagensarten können Tabelle 4.9 entnommen werden. Alle wichtigen Daten zu den Einzelversuchen mit Mörtel D und B sind bei Spieth (1995) beschrieben und in Anhang D zusammengestellt.

MÖRTEL	DÜBEL			BETON FESTIGKEIT [N/mm ²]	ANZAHL VER- SUCHE	MITTEL- WERT [KN]	VARI- ATIONS- COEFF. [%]
	DURCH- MESSER d _{nom} [mm]	VERANKERUNGSTIEFE					
		h _{ef} [mm]	h _{ef} / d _{nom}				
D	12,7	127	10	46,6	4	89,8	8,1
	15,8	127	8	51,7	4	94,5	10,9
	15,8	190,5	12	46,6	5	164,0	6,2
	15,8	127	8	34,7	3	92,3	10,2
B	15,8	127	8	42,1	5	93,4	4,8

Tabelle 4.9: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln Ø 12,7 und Ø 15,9 (Einzelbefestigungen) mit Mörtel D und B (Spieth (1995))

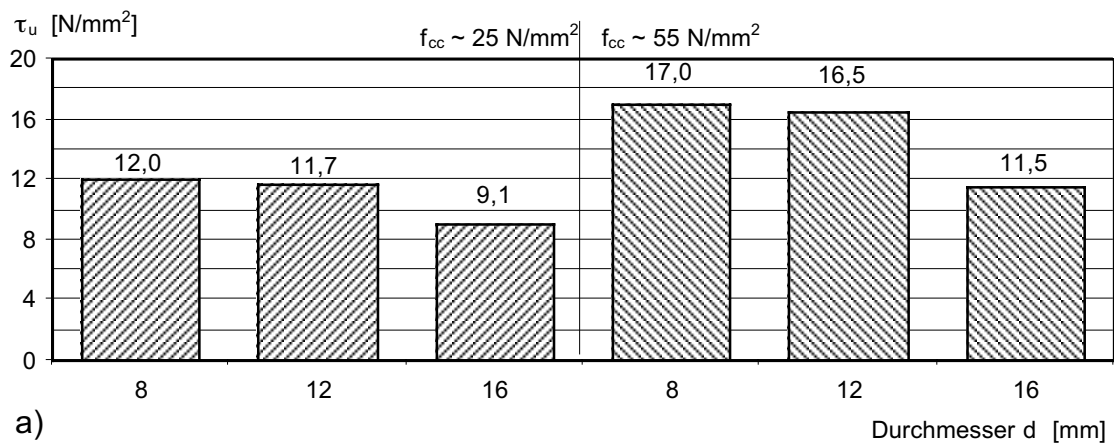
4.4.2.4 Auswertung

4.4.2.4.1 Einfluß der geometrischen Parameter auf die Verbundfestigkeit τ_u

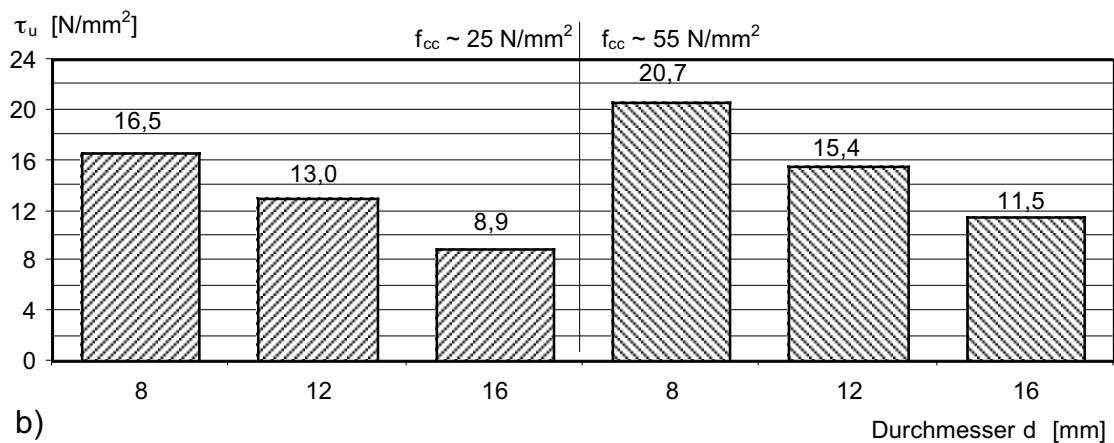
In Bild 4.10 sind die nach Gl. (2.1) berechneten Verbundfestigkeiten τ_u für die geprüften Dübeldurchmesser 8 mm, 12 mm und 16 mm für die Versuche mit Mörtel HH und Mörtel SP aufgetragen. Zunächst ist für beide Verbundmörtel eine Abhängigkeit von der Betonfestigkeit erkennbar. Für die Versuche in Prüfkörpern mit höherer Betonfestigkeit ($f_{CC} \sim 55 \text{ N/mm}^2$) liegen die mittleren Verbundfestigkeiten τ_u höher.

Bei Mörtel HH (Bild 4.10a) unterscheiden sich die Verbundfestigkeiten τ_u für die Durchmesser $d = 8 \text{ mm}$ und 12 mm wenig. Für Durchmesser $d = 16 \text{ mm}$ ist die Verbundfestigkeit τ_u etwas geringer. Bei Mörtel SP (Bild 4.10a) fällt die Verbundfestigkeit verhältnismäßig gleichmäßig mit Zunahme des Dübeldurchmessers d ab.

Für Verbunddübel mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} > 4 d$ wird als Versagen Herausziehen beobachtet. Dabei bildet sich in der Regel ein oberflächennaher Ausbruchkegel mit einer von der Verankerungstiefe h_{ef} unabhängigen Tiefe von $t_{cone} \sim 2 d$ bis $3 d$ (Eligehausen, Mallée, Rehm (1997)). Geht man davon aus, daß die Verbundfestigkeit τ_u über die Verankerungstiefe h_{ef} gleichmäßig verteilt ist, müßte bei gleichem Dübeldurchmesser d die Verbundfestigkeit τ_u unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} gleich bleiben, d. h. die Versagenslast N_u nimmt mit der Verankerungstiefe h_{ef} zu.



a)



b)

Bild 4.10: Einfluß des Ankerstangendurchmessers d auf die mittlere Verbundfestigkeit τ_u von Verbunddübeln M8, M12 und M16 (Einzeldübel, weite Abstützung), Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1), Lehr, Eligehausen (1997/3)

a) Mörtel HH

b) Mörtel SP

In Bild 4.11 und Bild 4.12 wird der Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die mittlere Verbundfestigkeit τ_u untersucht. Ausgewertet sind die zum Vergleich mit Verbunddübelgruppenbefestigungen und Verbunddübelbefestigungen nahe am Bauteilrand durchgeführten Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1) mit Mörtel HH und von Lehr, Eligehausen (1997/3) mit Mörtel SP. Bei Mörtel HH (Bild 4.11) ist das oben beschriebene Verhalten für die hier ausgewerteten Versuche nicht eindeutig zu erkennen. Für beide untersuchten Betonfestigkeitsgruppen nimmt bei den Dübeln M8 die Verbundfestigkeit τ_u mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} ab. Bei Dübeln M12 nimmt die Verbundfestigkeit τ_u mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} bei beiden Betonfestigkeitsgruppen zu. Für die Dübel M16 läßt sich bei den verschiedenen

Betonfestigkeitsgruppen kein einheitlicher Verlauf ablesen. Bei Mörtel SP (Bild 4.12) ist für die Durchmesser 12 mm und 16 mm ein Ansteigen der Verbundfestigkeit τ_u mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} bis zum Verhältnis $h_{ef} / d = 8$ in beiden Betonfestigkeitsgruppen zu erkennen. Bei weiterer Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} fällt die Verbundfestigkeit τ_u wieder ab.

Bei Meszaros (2001) wurden die Versuche von Lehr, Elgehausen (1997/1) und Lehr, Elgehausen (1997/3) zusammen mit weiteren vergleichbaren Versuchen ausgewertet. Es ergibt sich für Dübel M12 eine ähnliche Tendenz wie in Bild 4.11 und Bild 4.12 dargestellt. Ein wesentlicher Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die mittlere Verbundfestigkeit τ_u wird auch dort nicht festgestellt.

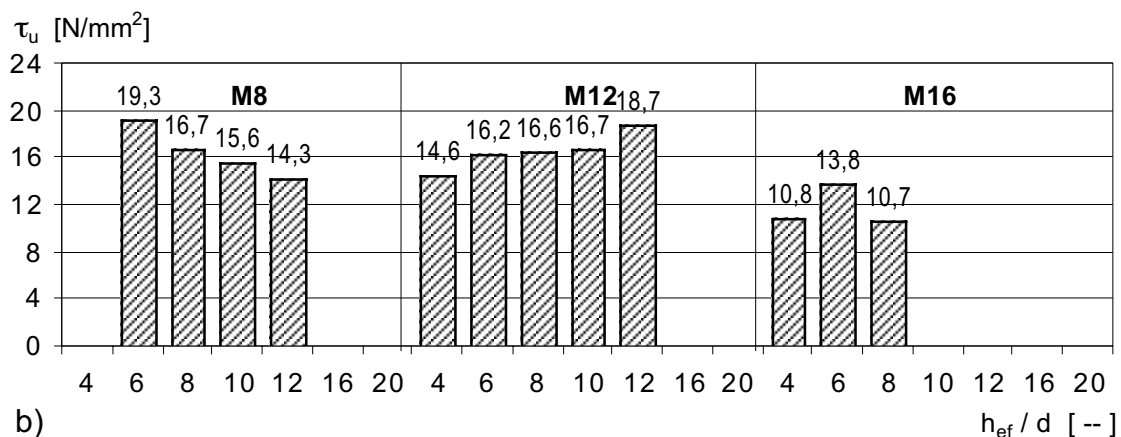
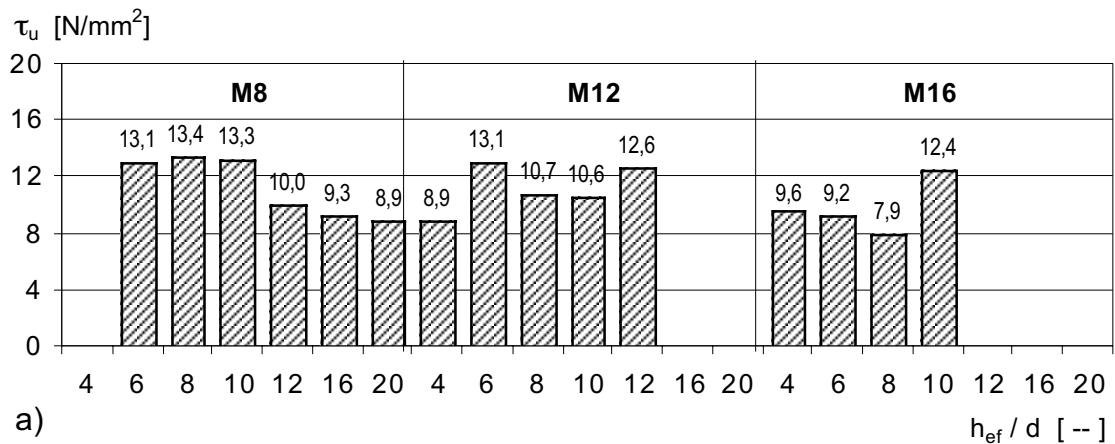


Bild 4.11: Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die mittlere Verbundfestigkeit τ_u von Verbundeinzeldübeln M8, M12 und M16, Mörtel HH, weite Abstützung, Versuche von Lehr, Elgehausen (1997/1)

a) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

b) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

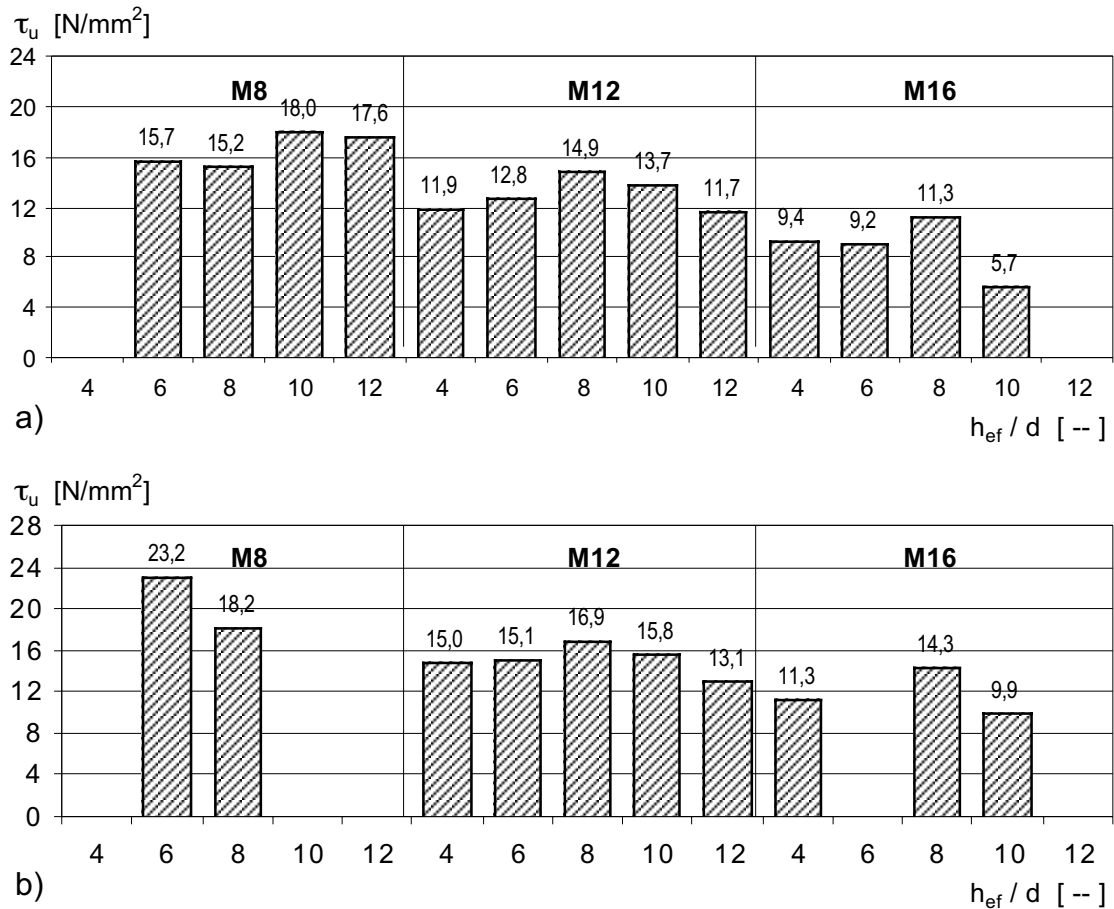


Bild 4.12: Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die mittlere Verbundfestigkeit τ_u von Verbundeinzeldübeln M8, M12 und M16, Mörtel HH, weite Abstützung, Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1)
 a) $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ b) $f_{cc} \sim 35 \text{ N/mm}^2$

Da die bei Lehr, Eligehausen (1997/1) und Lehr, Eligehausen (1997/3) unter gleichen Bedingungen wie die in dieser Arbeit beschriebenen Gruppenbefestigungen (Lehr, Eligehausen (1998/4), Hilt (1996), Wagner (1998)) und Befestigungen am Bauteilrand (Popo-Ola, Newman (1995)) bezüglich Bohrlochreinigung und Setzen der Dübel sowie Betonzusammensetzung und Betonfestigkeiten f_{cc} durchgeführt wurden, wird bei späteren Untersuchungen innerhalb dieser Arbeit die für die einzelnen Durchmesser in Abhängigkeit von der Betonfestigkeitsgruppe ermittelte Verbundfestigkeit τ_u nach Tabelle 4.10 eingesetzt.

DÜBEL- DURCHMESSER	MÖRTEL HH		MÖRTEL SP	
	$f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$	$f_{CC} \sim 55 \text{ N/mm}^2$	$f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$	$f_{CC} \sim 55 \text{ N/mm}^2$
8	12,0	17,0	16,5	20,7
12	11,7	16,5	13,0	15,4
16	9,1	11,5	8,9	11,5

Tabelle 4.10: Mittlere Verbundfestigkeiten τ_u für die Auswertung von Verbunddübelgruppenbefestigungen und Befestigungen nahe am Bauteilrand

Mit Verbunddübeln M24 wurden Versuche mit nur einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 12 d = 288 \text{ mm}$ durchgeführt (Lehr, Elgehausen, Opferkuch (2001)). Entsprechende Vergleichsversuche mit Einzeldübeln sind ebenfalls beschrieben. Es ergibt sich für die Verankerungstiefe $h_{ef} = 12 d$ als Verbundfestigkeit $\tau_u = 11,8 \text{ N/mm}^2$.

Ein weiterer geometrischer Einfluß auf die Verbundfestigkeit τ_u von Verbunddübeln ist der Ringspalt im Verhältnis zum Stabdurchmesser. Das Verhältnis Ringspalt zu Ankerstangendurchmesser ist abhängig vom Dübeldurchmesser d und vom Bohrlochdurchmesser d_{cut} . Die Differenz des Bohrlochdurchmessers d_{cut} und des Dübeldurchmessers d richtet sich nach den Angaben der Hersteller von Verbundsystemen. Sie ist in der Regel abhängig vom Dübeldurchmesser d .

Es ergibt sich für das nach Gl. (4.1) errechnete Verhältnis Ringspalt zu Dübeldurchmesser:

$$\rho_i = ((d_{cut} - d) / 2) / d \quad (4.1)$$

mit $d_{cut} =$ Bohrlochdurchmesser
 $d =$ Dübeldurchmesser

Bei den vorliegenden Versuchen wurde bei den Dübeldurchmessern $\leq 16 \text{ mm}$ der Bohrlochdurchmesser d_{cut} um 2 mm größer gewählt als der Dübeldurchmesser d . Das Verhältnis ρ_i für die hier verwendeten Durchmesser kann Tabelle 4.11 entnommen werden. Das Verhältnis wird kleiner mit zunehmendem Dübeldurchmesser d . Bei den hier beschriebenen experimentellen Untersuchungen beträgt der Ringspalt $(d_{cut} - d) / 2$ immer 1 mm, weswegen das Verhältnis ρ_i dem Kehrwert des Dübeldurchmessers d entspricht. Der Einfluß des Ringspaltes ist somit direkt vom Dübeldurchmesser abhängig. Es erfolgen daher keine weiteren Untersuchungen zum Einfluß des Ringspaltes auf die Verbundfestigkeit τ_u .

ANKERSTANGEN- DURCHMESSER d_{nenn}	BOHRLOCH- DURCHMESSER d_{cut}	RINGSPALT	ρ_i
mm	mm	mm	-----
8	10	2	0,125
12	14		0,083
16	18		0,062

Tabelle 4.11: Verhältnis ρ_i für Ankerstangen $\varnothing 8$, $\varnothing 12$ und $\varnothing 16$ nach Gl. (4.1)

4.4.2.4.2 Einfluß der Betonfestigkeit auf die Verbundfestigkeit τ_u

Der Einfluß der Betonfestigkeit wird üblicherweise mit der Beziehung nach Gl. (4.2) beschrieben:

$$\tau_u \sim f_{\text{CC}}^n \quad (4.2)$$

Wie bereits in Abschnitt 2.2.2.1 beschrieben, versagen Verbunddübel mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} in der Regel mit einem Betonausbruch. Bei großen Verankerungstiefen h_{ef} tritt Verbundversagen auf. Für Betonversagen gilt: $N_u \sim f_{\text{CC}}^{0,5}$. Bei Verbundversagen bei großen Verankerungstiefen h_{ef} wird davon ausgegangen, daß die Betonfestigkeit keinen wesentlichen Einfluß hat. Bei mittleren Verankerungstiefen ($8 d \leq h_{\text{ef}} \leq 12 d$) wird erwartet: $N_u \sim f_{\text{CC}}^{0,3}$.

Bei den Einzelversuchen mit großem Randabstand mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1)) und Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3)) wurde der Einfluß der Betonfestigkeit f_{CC} untersucht. Es wurden Versuche in Prüfkörpern mit einer Festigkeit $f_{\text{CC}} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ und einer Festigkeit $f_{\text{CC}} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ durchgeführt.

In Bild 4.13 und Bild 4.14 ist das Verhältnis der Verbundfestigkeit τ_u bei Ausziehversuchen mit weiter Abstützung mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1)) und Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3)) in Versuchskörpern mit einer Betonfestigkeit $f_{\text{CC}} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ und $f_{\text{CC}} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ aufgetragen. Die Verhältniswerte sind für die Dübeldurchmesser 8 mm, 12 mm und 16 mm angegeben. Die Verhältniswerte werden für die einzelnen Verankerungstiefen h_{ef} gebildet. Zusätzlich wird für jeden Dübeldurchmesser eine potentielle Regression durchgeführt. Die Exponenten der Beziehung nach Gl. (4.2) sind in Tabelle 4.12 zusammengefaßt. Zusätzlich ist der Exponent nach Gl. (4.2) für alle Durchmesser angegeben.

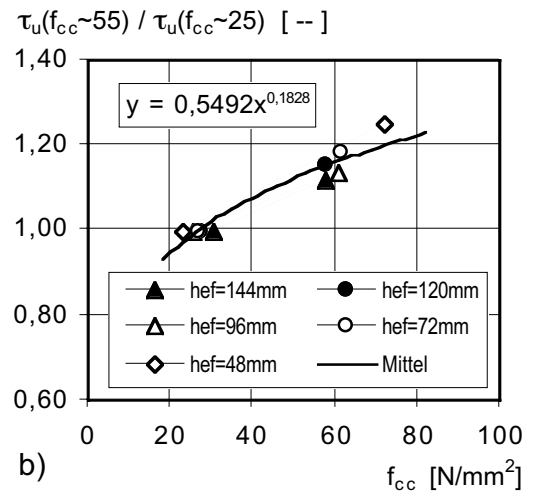
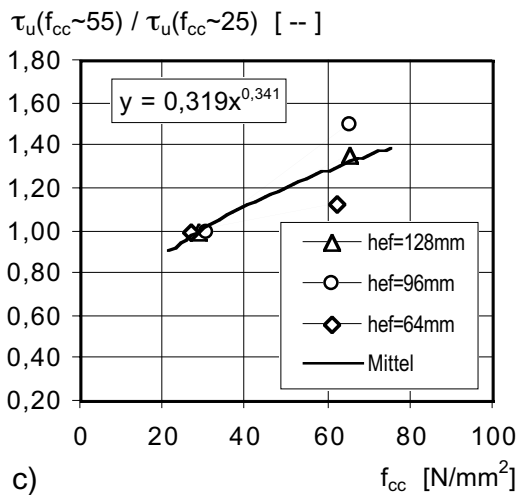
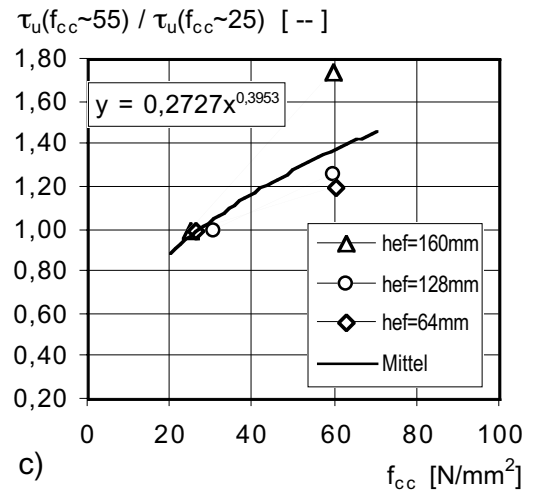
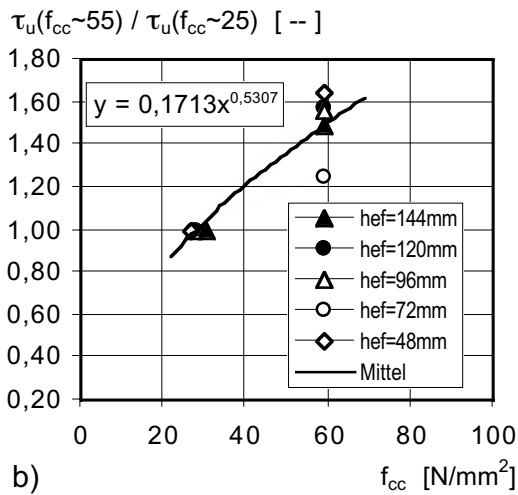
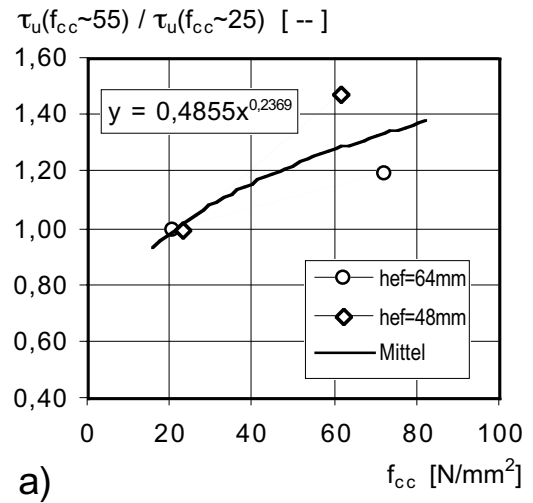
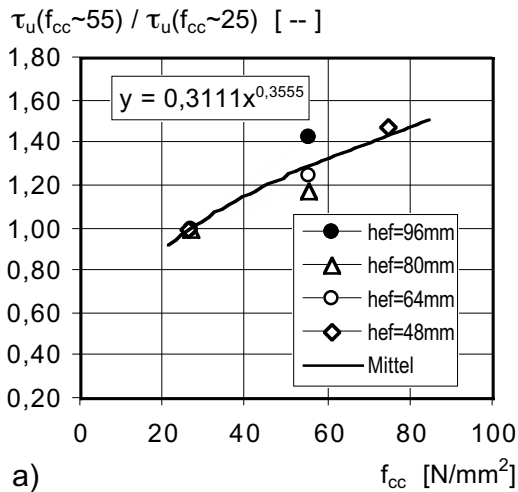


Bild 4.13: Einfluß der Betonfestigkeit auf die Verbundfestigkeit von Einzeldübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/1))
a) M8 b) M12
c) M16

Bild 4.14: Einfluß der Betonfestigkeit auf die Verbundfestigkeit von Einzeldübeln, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1998/1))
a) M8 b) M12
c) M16

DÜBELDURCHMESSER	MÖRTEL HH	MÖRTEL SP
8	0,36	0,24
12	0,53	0,18
16	0,34	0,39
alle	0,37	0,20

Tabelle 4.12: Exponent n zur Berücksichtigung des Einflusses der Betonfestigkeit nach Gl. (4.2) aus Versuchen mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1)) und Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

Die hier ausgewerteten Versuche bestätigen nicht den erwarteten Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} auf die Verbundfestigkeit τ_u . Teilweise ist der Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} bei Dübeln mit großen Verankerungstiefen h_{ef} größer als bei Dübeln mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} . Der Exponent n nach Gl. (4.2) verhält sich für die untersuchten Mörtel unterschiedlich. Während bei Mörtel HH bei Dübeln M12 der größte Exponent erreicht wird, ergibt sich für Mörtel SP bei Dübeln M12 der geringste Exponent. Es ist zu beachten, daß mit Dübeln M12 die meisten Versuche durchgeführt wurden.

Bei Meszaros (2002) wurden die Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1) und Lehr, Eligehausen (1997/3) zusammen mit anderen Versuchen ausgewertet. Bei der Auswahl der gemeinsam ausgewerteten Versuche wurde darauf geachtet, daß die Versuche einer Grundgesamtheit angehörten. Dort ergibt sich im Hinblick auf den Dübeldurchmesser eine ähnliche Tendenz: Bei Mörtel HH nimmt der Exponent nach Gl. (4.2) mit Zunahme des Dübeldurchmessers d ab. Bei Mörtel SP nimmt der Exponent nach Gl. (4.2) mit Zunahme des Dübeldurchmessers d zu. Bei Meszaros (2002) wird im Mittel ein Exponent von 0,28 für Mörtel HH und ein Exponent von 0,31 für Mörtel SP ermittelt.

4.4.2.4.3 Weitere Einflußfaktoren auf die Verbundfestigkeit τ_u

Weitere Faktoren, die einen Einfluß auf die Verbundfestigkeit τ_u haben können, sind:

- das Alter des als Ankergrund dienenden Betons
- die Feuchtigkeit des Ankergrundes
- die Qualität der Bohrlochreinigung
- die Oberflächenrauigkeit des Bohrloches
- die Gelierzeit und die Viskosität des Verbundmörtels

Diese Einflüsse sind bei Meszaros (2002) untersucht und ausgewertet.

Durch Verwendung von Prüfkörpern mit gleicher Betonzusammensetzung sowie große Sorgfalt beim Setzen der Verbunddübel konnten diese Einflüsse bei den hier vorgestellten Untersuchungen mit Verbundeinzeldübeln sowie auch bei den Versuchen mit Verbunddübelgruppen und Versuchen mit Verbunddübeln nahe am Bauteilrand nahezu ausgeschaltet werden.

4.4.2.5 Vergleich mit numerischen Untersuchungen

4.4.2.5.1 Brucharten

In Tabelle 4.13 sind die bei den numerischen Untersuchungen ermittelten und die in experimentellen Untersuchungen beobachteten Versagensarten gegenübergestellt. Bei den numerischen Untersuchungen ergibt sich für Verankerungstiefen $h_{ef} \geq 144$ mm als Versagensart Verbundversagen. Bei den experimentellen Untersuchungen versagen die Einzeldübel unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} überwiegend durch Verbundversagen mit Betonausbruch. Die Tiefe des Betonausbruchs t_{cone} betrug in der Regel 30 bis 40 mm. Das entspricht ungefähr dem Dreifachen des Dübeldurchmessers. Für große Verankerungstiefen h_{ef} versagen daher die Dübel hauptsächlich durch Verbundbruch.

VERANKERUNGS TIEFE		VERSAGENSART	
h_{ef} [mm]	h_{ef}/d [--]	FE-Rechnung	Experimentelle Untersuchungen
48	4	CCB	2 x CCB / 1 x CC
96	8	CCB	4 x CCB1 / 2 x CCB
144	12	B	2 x CCB1 / 1 x CCB
192	16	B	5 x CCB1

Tabelle 4.13: Gegenüberstellung der Versagenslasten aus den numerischen (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999)) und experimentellen (Lehr, Eligehausen (1997/1)) Untersuchungen an Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung

4.4.2.5.2 Last-Verschiebungsverhalten

In Bild 4.15 sind Last-Verschiebungskurven von numerischen und experimentellen Untersuchungen aufgetragen. Von den experimentellen Untersuchungen sind ausgewählte Kurven eingetragen, deren Versagenslast $N_{u,test}$ höher liegen als die jeweiligen Mittelwerte der Versuchsreihen.

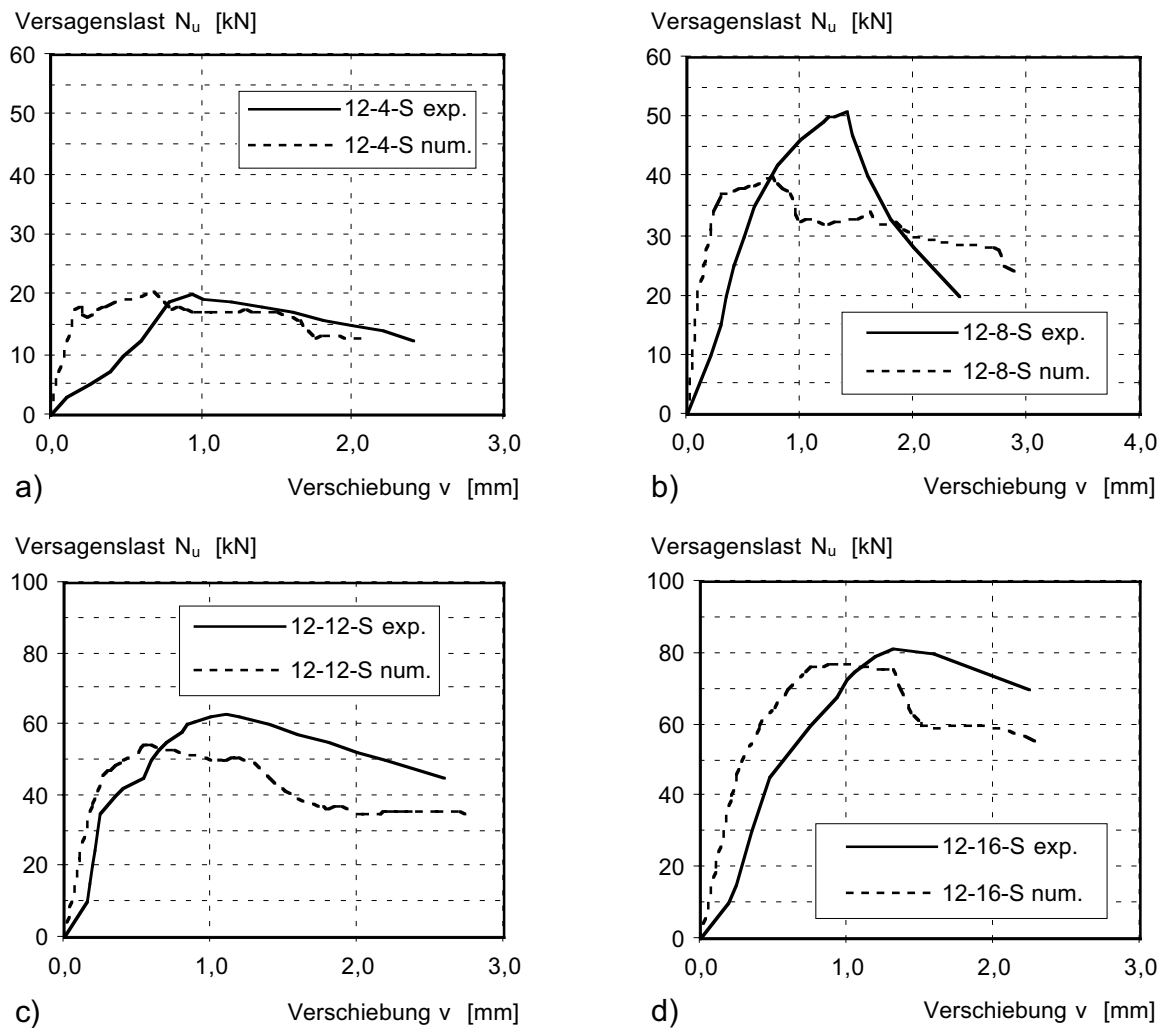


Bild 4.15: Last-Verschiebungskurven von Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung, numerische (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999)) und experimentellen (Lehr, Eligehausen (1997/1)) Untersuchungen

a) $h_{ef} = 48$ mm

b) $h_{ef} = 96$ mm

c) $h_{ef} = 144$ mm

d) $h_{ef} = 144$ mm

Die numerisch und experimentell ermittelten Last-Verschiebungskurven verlaufen qualitativ ähnlich. Allerdings ist die Anfangssteifigkeit der numerisch ermittelten Last-Verschiebungskurven deutlich größer als die der gemessenen Kurven. In den Versuchen wurden die Höchstlasten bei Verschiebungen erreicht, die ca. dem 1,5 bis 2,0-fachen der Verschiebungen aus den numerischen Untersuchungen entsprachen.

Die Ergebnisse zeigen, daß in die numerischen Untersuchungen qualitativ richtige Last-Verschiebungskurven ergeben. Die Verschiebungen sind jedoch insgesamt klein. Offenbar wurde die Steifigkeit des Verbundmörtels überschätzt.

4.4.2.5.3 Versagenslasten

In Tabelle 4.14 sind die Versagenslasten aus den numerischen Berechnungen $N_{u,calc}$ von Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999) den Mittelwerten vergleichbarer Versuchsreihen $N_{u,test}$ von Lehr, Eligehausen (1997/1) gegenübergestellt. Das Verhältnis $N_{u,calc} / N_{u,test}$ zeigt, daß die in den numerischen Untersuchungen ermittelten Versagenslasten N_u im Mittel gut mit den experimentell gefunden Werten übereinstimmen.

VERANKERUNGS TIEFE		VERSAGENSLAST		$N_{u,calc} / N_{u,test}$
h_{ef}	h_{ef} / d	$N_{u,calc}$	$N_{u,test}$	
mm	----	kN	kN	----
48	4	20,4	16,1	1,27
96	8	40,2	38,6	1,04
144	12	54,4	61,7	0,88
192	16	77,1	72,4	1,06

Tabelle 4.14: Gegenüberstellung der Versagenslasten aus den numerischen (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999)) und experimentellen (Lehr, Eligehausen (1997/1)) Untersuchungen an Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung

4.4.2.5.4 Abhängigkeit der Verbundfestigkeit τ_u von der Dübelgeometrie

In Bild 4.16 sind die Verbundfestigkeiten τ_u aus den FE-Rechnungen (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999)) sowie die in den experimentellen Untersuchungen in (Lehr, Eligehausen (1997/1)) ermittelten Verbundfestigkeiten τ_u über dem Ankerstangendurchmesser d und der Verankerungstiefe h_{ef} aufgetragen.

Es ergibt sich eine ähnliche Abhängigkeit der Verbundfestigkeit τ_u vom Ankerstangendurchmesser d bei den numerischen und bei den experimentellen Untersuchungen (Bild 4.16a). Die Verankerungstiefe betrug $h_{ef} = 144$ mm.

Der Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} (Bild 4.16b) auf die Verbundfestigkeit τ_u ist in den experimentellen Untersuchungen mit Dübeln $d = 12$ mm nicht klar erkennbar. Bei den Versuchen mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 48$ mm trat Betonausbruch auf. Daher liegt die tatsächliche Verbundfestigkeit τ_u wahrscheinlich höher. Bei den Untersuchungen an Dübeln mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} \geq 72$ mm ist der Einfluß unterschiedlicher Mörtelchargen zu erkennen. Die Versuche mit den Verankerungstiefen $h_{ef} = 72$ mm und $h_{ef} = 144$ mm wurden mit Verbundmörtel einer anderen Charge als die Versuche mit den Verankerungstiefen $h_{ef} = 96$ mm und $h_{ef} = 120$ mm durchgeführt.

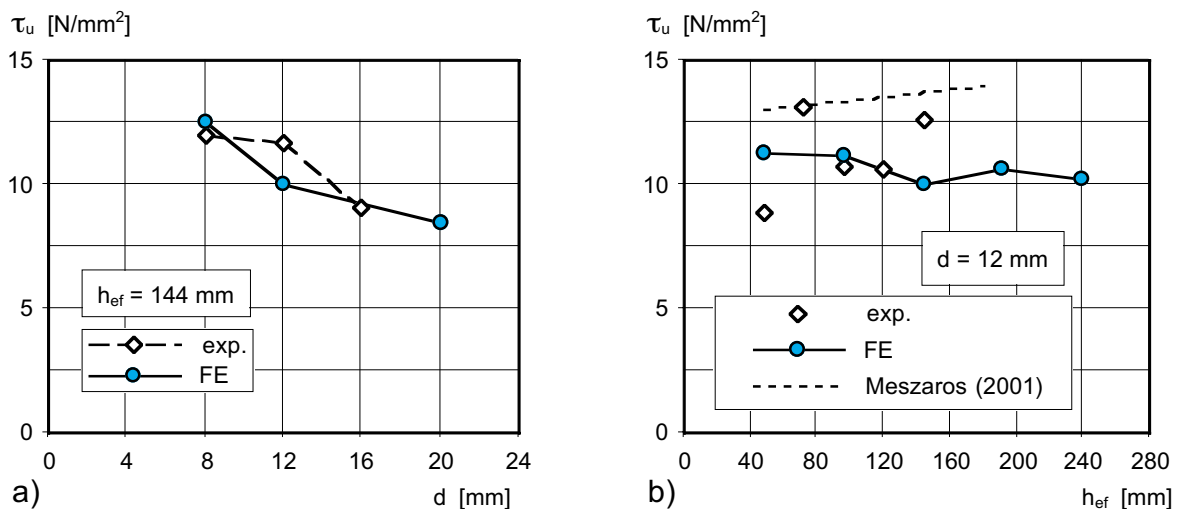


Bild 4.16: Einfluß der Ankergeometrie auf die Verbundfestigkeit τ_u

- a) Verbundfestigkeit τ_u in Abhängigkeit vom Ankerstangendurchmesser d
- b) Verbundfestigkeit τ_u in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe h_{ef}

Betrachtet man die Versuche mit den Verankerungstiefen $h_{ef} = 72$ mm und $h_{ef} = 144$ mm, läßt sich eine ähnliche Tendenz wie bei den FE-Berechnungen feststellen. Das gleiche gilt für die Versuche mit den Verankerungstiefen $h_{ef} = 96$ mm und $h_{ef} = 120$ mm. Mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} nimmt die Verbundfestigkeit τ_u leicht ab. Bei Meszaros (2001) wurden die Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1) mit anderen Versuchen zusammen ausgewertet. In Bild 4.16b ist die von Meszaros (2002) gefundene Beziehung zwischen Verbundfestigkeit τ_u und Verankerungstiefe h_{ef} für Mörtel HH bei Dübeln M12 mitangegeben. Während Meszaros (2002) eine geringe Zunahme der Verbundfestigkeit τ_u mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} ermittelt, ergibt sich nach den numerischen Untersuchungen eine geringe Abnahme der Verbundfestigkeit τ_u mit ansteigender Verankerungstiefe h_{ef} . Allerdings ist der Einfluß der Verankerungstiefe h_{ef} auf die Verbundfestigkeit τ_u bei den numerischen Untersuchungen relativ gering. Insgesamt ist festzustellen, daß die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen brauchbar mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen übereinstimmen. Dies gilt sowohl für den qualitativen Verlauf der Last-Verschiebungskurven, die Versagensarten, die Höchstlasten N_u , den Einfluß der Durchmesser d sowie der Verankerungstiefe h_{ef} auf die Verbundfestigkeit τ_u . Lediglich die Steifigkeit der numerisch ermittelten Last-Verschiebungskurven ist größer als die der gemessenen Kurven.

4.4.3 Gruppenbefestigungen

4.4.3.1 Versagensarten

Bei Lehr, Eligehausen (1998), Hilt (1996) und Wagner (1998) ist das Versagen der Gruppenbefestigungen mit Mörtel HH und SP dokumentiert. Es wurde jeweils die Tiefe t_{cone} an jedem Dübel sowie der Durchmesser d_{cone} eines gemeinsamen Ausbruchkegels bzw. der einzelnen Ausbruchkegel vermessen. In Bild 4.17, Bild 4.18 und Bild 4.19 ist die mittlere Ausbruchkegeltiefe t_{cone} über der Verankerungstiefe h_{ef} für die Versuche mit Mörtel HH aufgetragen.

Bei den Versuchen mit Dübeln M8 in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} = 25$ N/mm² (Bild 4.17) und in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} = 55$ N/mm² (Bild 4.18) mit einem Achsabstand $s = 1,0 h_{ef}$ zeigt sich, daß bis zu einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 80$ mm = $10 d$ die Tiefe des Ausbruchkegels t_{cone} ungefähr 70 % bzw. 80 % der Verankerungstiefe h_{ef} entspricht. Danach fällt die bezogene Ausbruchkegeltiefe t_{cone} / h_{ef} stark ab.

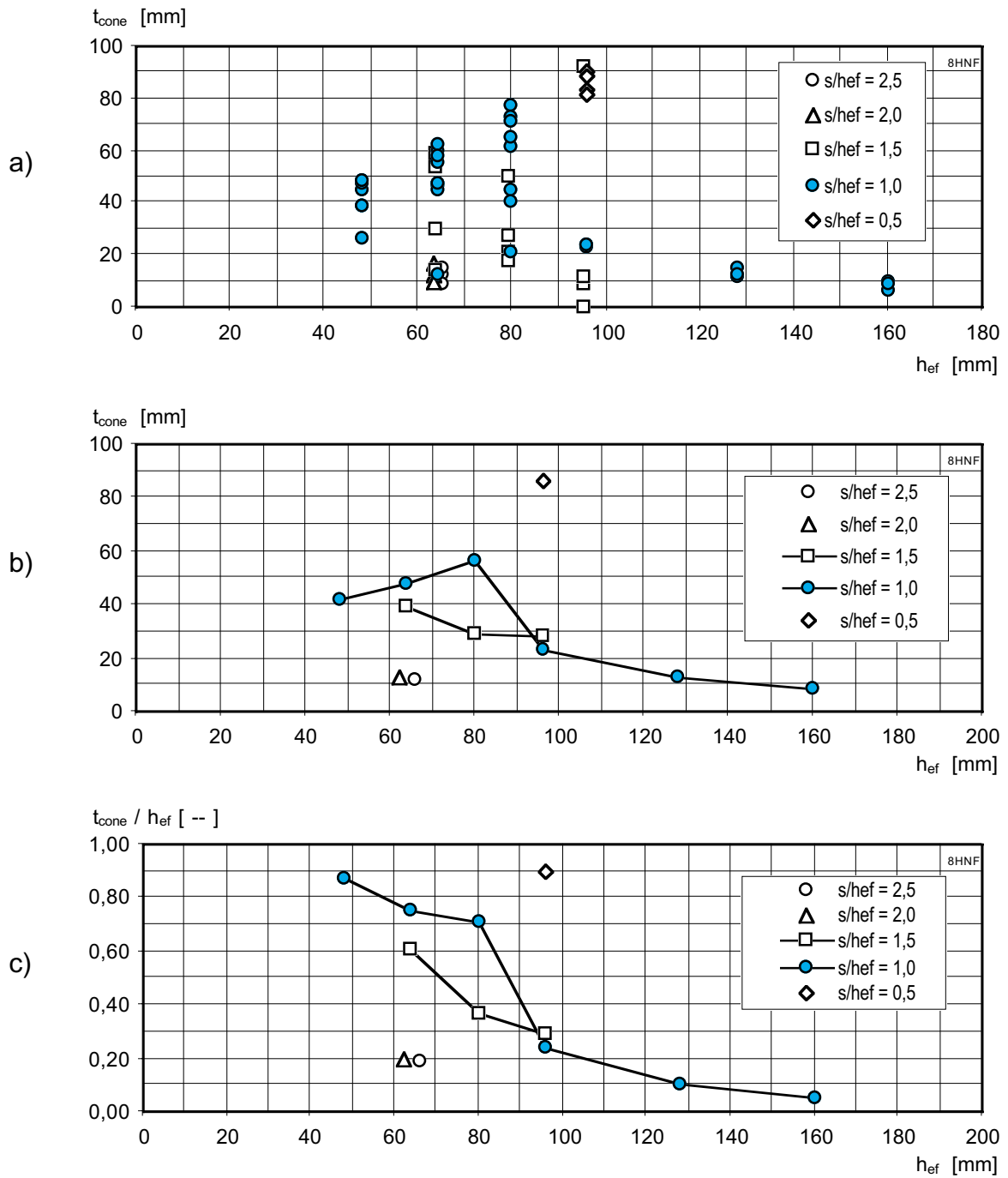


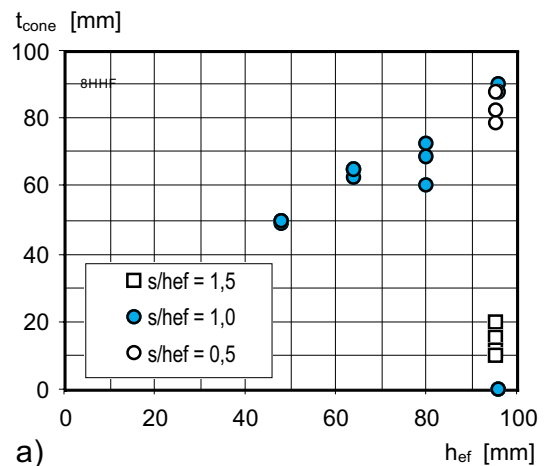
Bild 4.17: Tiefe der Ausbruchkörper von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Versuche mit Mörtel HH, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998) und Wagner (1998)

- a) Einzelwerte
- b) Mittelwerte
- c) auf h_{ef} bezogene Mittelwerte

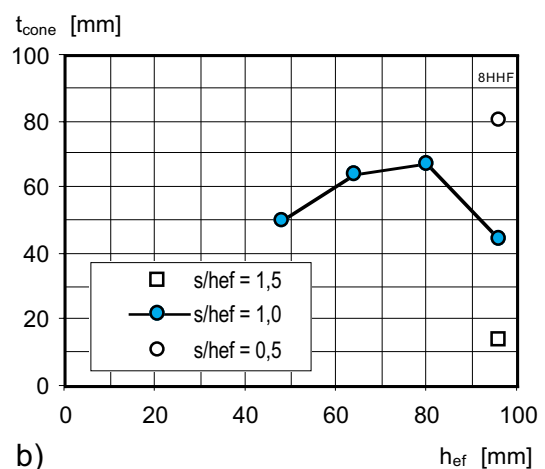
Bei den experimentellen Untersuchungen wurde mit einem Achsabstand $s = 1,0 h_{ef}$ und einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 80 \text{ mm}$ Verbundversagen mit Betonversagen festgestellt. Bei diesen Befestigungen versagt jedoch hauptsächlich der Verbund. Außerdem wird deutlich, daß bei Gruppenbefestigungen mit $s / h_{ef} > 1,5$ Betonausbruch beim Versagen eine untergeordnete Rolle spielt. Befestigungsgruppen mit einem Achsabstand $s / h_{ef} = 0,5$ weisen tiefe Ausbruchkegel auf, was auf Betonausbruch hinweist.

Bei Versuchen mit Gruppenbefestigungen mit Dübeln M12 und Mörtel HH entsprechen die mittleren Ausbruchkegeltiefen t_{cone} ungefähr der Verankerungstiefe h_{ef} bei der Verankerungstiefe $h_{ef} = 48 \text{ mm} = 4 d$ für Achsabstände $s \leq 2,0 h_{ef}$ (Bild 4.19c). Nimmt die Verankerungstiefe h_{ef} zu, sinkt das Verhältnis Ausbruchkegeltiefe zu Verankerungstiefe t_{cone} / h_{ef} ab. Die bezogene Ausbruchkegeltiefe t_{cone} / h_{ef} nimmt ab bei großen Verankerungstiefen h_{ef} und großen Achsabständen s .

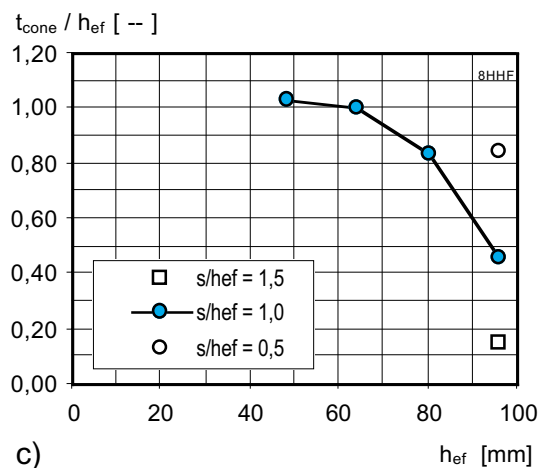
Bei Betrachtung der Einzelwerte ist zu erkennen, daß die Ausbruchtiefen t_{cone} der einzelnen Versuche einer Versuchsreihe stark streuen. So sind 3 Ausbruchkegeltiefen t_{cone} der Verbunddübelgruppen mit Dübeln M12 und $s / h_{ef} = 1,5$ bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96 \text{ mm}$ sehr gering, während bei einer Befestigungsgruppe eine Ausbruchkegeltiefe $t_{cone} \sim 90 \text{ mm}$ auftritt.



a)



b)



c)

Bild 4.18: Tiefe der Ausbruchkörper von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Versuche mit Mörtel HH, $f_{cc} = 55 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1998) / Wagner (1998)

a) Einzelwerte b) Mittelwerte

c) auf h_{ef} bezogene Mittelwerte

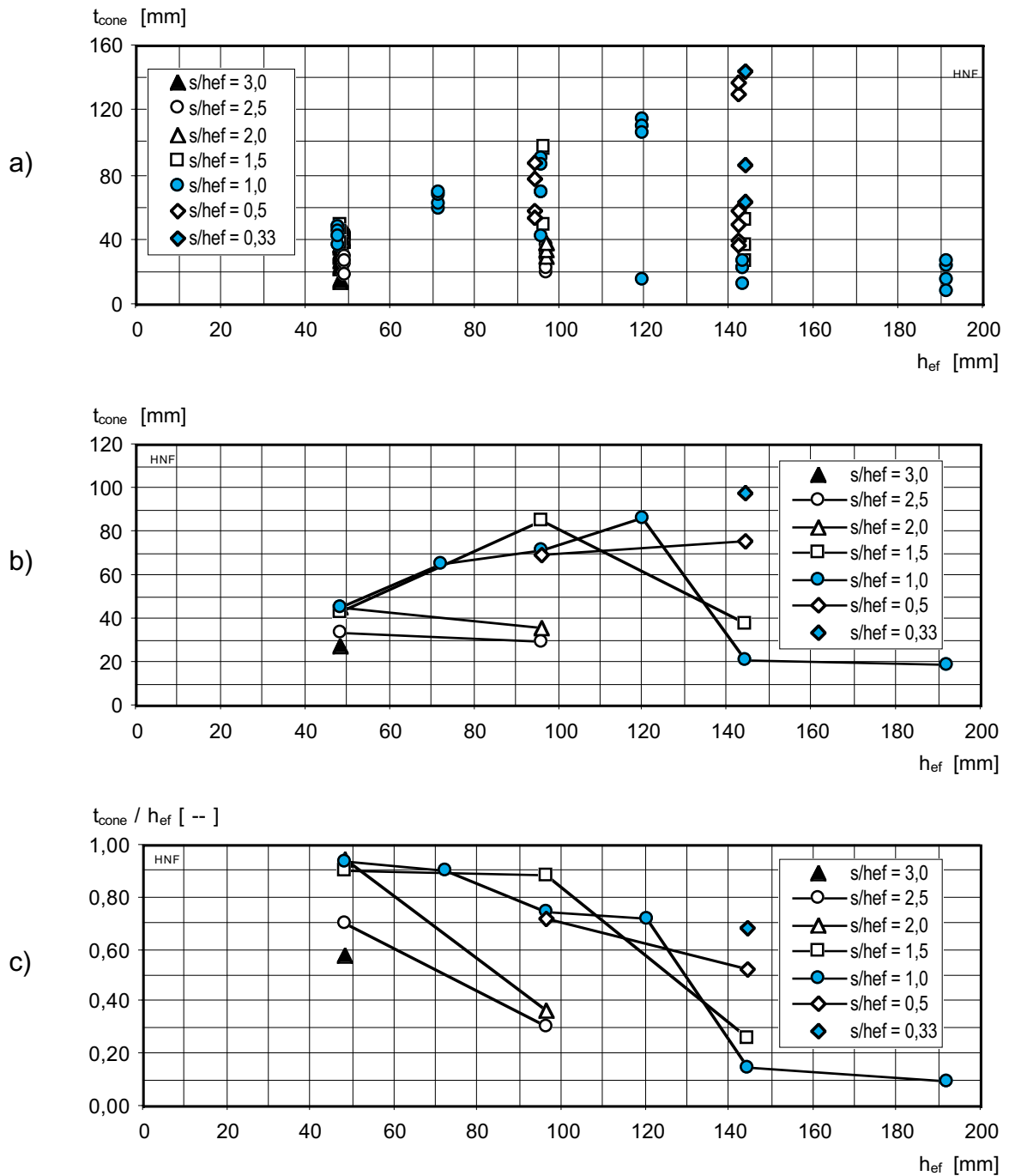


Bild 4.19: Tiefe der Ausbruchkörper von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Versuche mit Mörtel HH, $f_{CC} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998) und Wagner (1998)

- a) Einzelwerte
- b) Mittelwerte
- c) auf h_{ef} bezogene Mittelwerte

Bei dieser Verankerungstiefe und dem Achsabstand $s / h_{ef} = 1,5$ wechselt gerade die Versagensart. Je nach Betonbeschaffenheit des Prüfkörpers und tatsächlich vorhandener Verbundfestigkeit τ_u kann sowohl Betonausbruch wie auch Verbundversagen mit Betonversagen auftreten. Für den Achsabstand $s / h_{ef} = 1,0$ ist dieser Wechsel der Bruchart bzw. die großen Unterschiede in der Ausbruchkegeltiefe t_{cone} schon bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96$ mm zu sehen.

In Bild 4.20 und Bild 4.21 sind die mittleren Ausbruchkegeltiefen t_{cone} über der Verankerungstiefe h_{ef} für die Versuche mit Dübeln M12 und Mörtel SP aufgetragen. Bei Versuchen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$ (Bild 4.20) stimmt die mittlere Ausbruchkegeltiefe t_{cone} mit der Verankerungstiefe h_{ef} für Versuche bis zu einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96 = 8d$ unabhängig vom Achsabstand s etwa überein. Bei einem Achsabstand $s = 0,5 h_{ef}$ nimmt t_{cone} bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 144$ mm leicht ab. Bei größeren Achsabständen s nimmt t_{cone} bereits bei $h_{ef} = 120$ mm deutlich ab.

Bei Versuchen mit Dübeln M12 in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} = 55 \text{ N/mm}^2$ (Bild 4.21) verringert sich das Verhältnis Ausbruchkegeltiefe zu Verankerungstiefe t_{cone} / h_{ef} kontinuierlicher als bei den Versuchen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$. Allerdings ist eine Abnahme auch ab einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 120$ mm und einem Achsabstand $s = 0,5 h_{ef}$ festzustellen. Bei großen Achsabständen s kommt es schon bei einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96$ mm zu geringen Ausbruchkegeltiefen t_{cone} , was auf ein Versagen der einzelnen Dübel hinweist. Auch hier ist eine starke Streuung der Einzelwerte beim Wechsel der Versagensart festzustellen.

Bei Gruppenversuchen mit Dübeln M16 in Beton mit niedrigen Festigkeiten f_{cc} zeigt sich eine ähnliche Tendenz wie bei Gruppenbefestigungen mit Dübeln M12 (Bild 4.22). Auch bei Dübeln M16 streuen die Ausbruchkegeltiefen t_{cone} innerhalb einer Versuchsreihe sehr stark.

Bei den Versuchen mit Mörtel SP ist der Übergang vom Betonversagen zum Verbundversagen klarer erkennbar als bei den Versuchen mit Mörtel HH. Insgesamt liegen mehr Versuche mit Mörtel HH vor. Bei allen Versuchsreihen mit einer Verankerungstiefe h_{ef} , bei der ein Wechsel der Versagensart zu erwarten ist, streut die Ausbruchkegeltiefe t_{cone} deutlich.

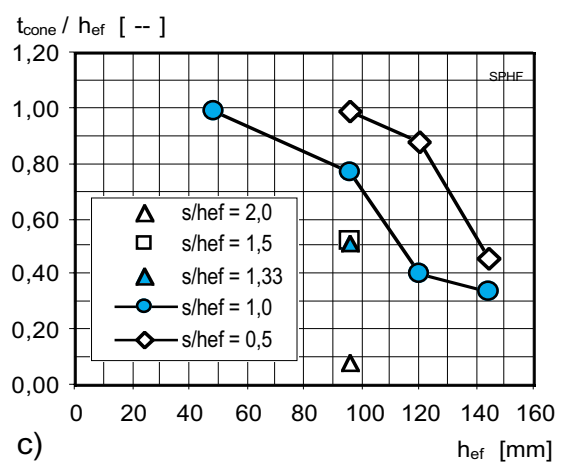
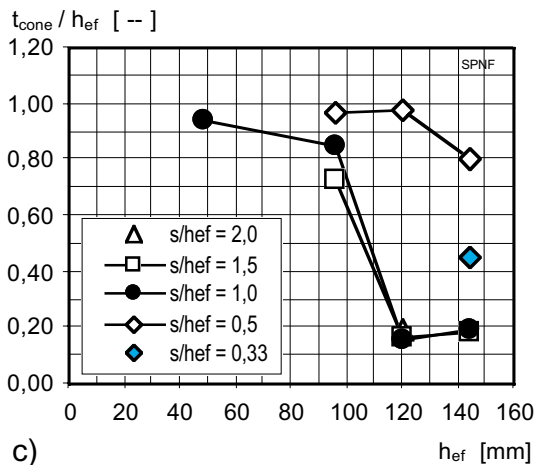
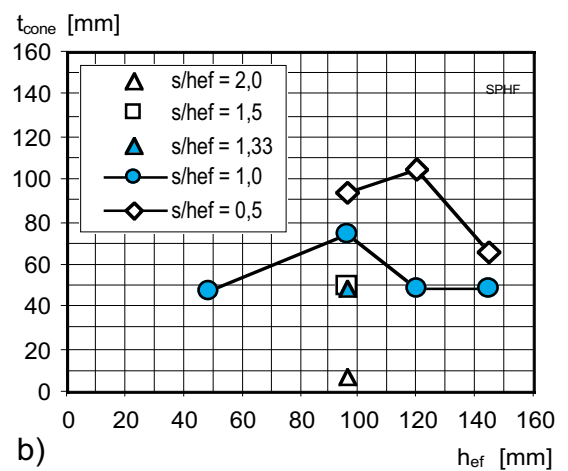
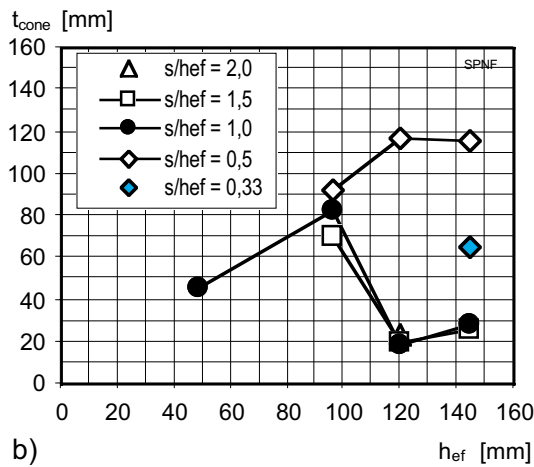
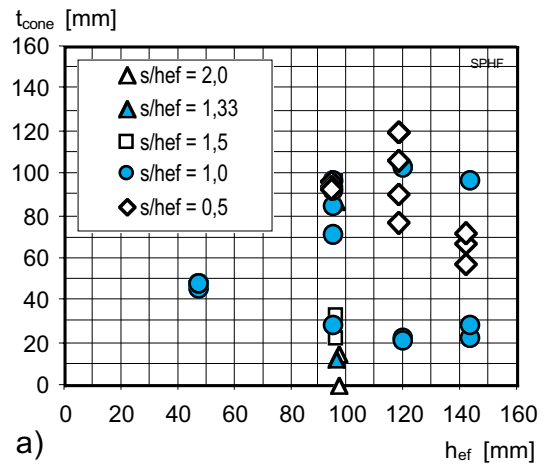
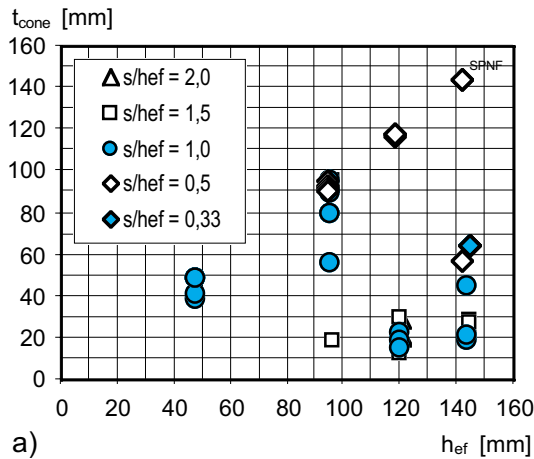


Bild 4.20: Tiefe der Ausbruchkörper von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Versuche mit Mörtel SP, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)

- a) Einzelwerte b) Mittelwerte
c) auf h_{ef} bezogene Mittelwerte

Bild 4.21: Tiefe der Ausbruchkörper von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Versuche mit Mörtel SP, $f_{cc} = 55 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)

- a) Einzelwerte b) Mittelwerte
c) auf h_{ef} bezogene Mittelwerte

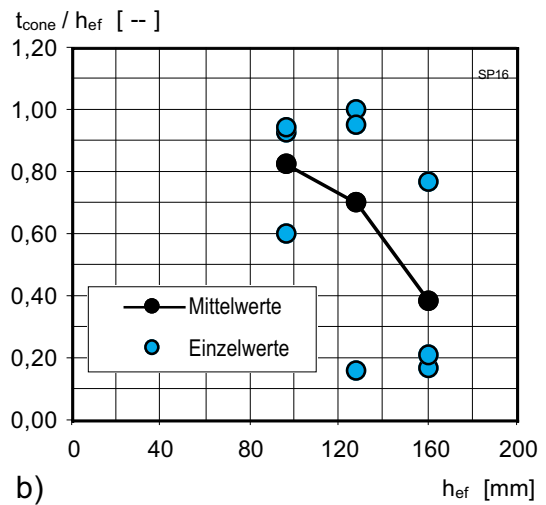
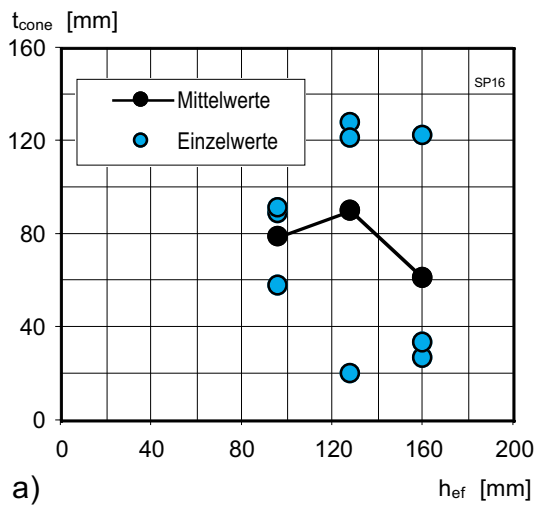


Bild 4.22: Tiefe der Ausbruchkörper von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln M16, $s = 1,0 h_{ef}$, mit Mörtel SP, Einzel- und Mittelwerte, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Hilt (1996)

- a) Ausbruchkegeltiefe t_{cone} über Verankerungstiefe h_{ef}
- b) Verhältnis Ausbruchkegeltiefe zu Verankerungstiefe t_{cone} / h_{ef} über Verankerungstiefe h_{ef}

Bei den experimentellen Untersuchungen wurden die Ausbruchkörper wie in Bild 4.23, Bild 4.24 und Bild 4.25 dargestellt beobachtet. Es ist zu erkennen, daß bei kleinem Achsabstand s unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} ($h_{ef} \leq 12d$) die Tiefe des Ausbruchkegels t_{cone} der Verankerungstiefe h_{ef} der Befestigung entspricht (Bild 4.23). Nimmt bei gleichbleibender Verankerungstiefe h_{ef} der Achsabstand s zu, versagen die Befestigungsgruppen bei kleinem Achsabstand s durch einen gemeinsamen Betonausbruch (Bild 4.25a) und bei größerem Achsabstand s versagen die einzelnen Dübel ähnlich wie Einzeldübel. Es bilden sich

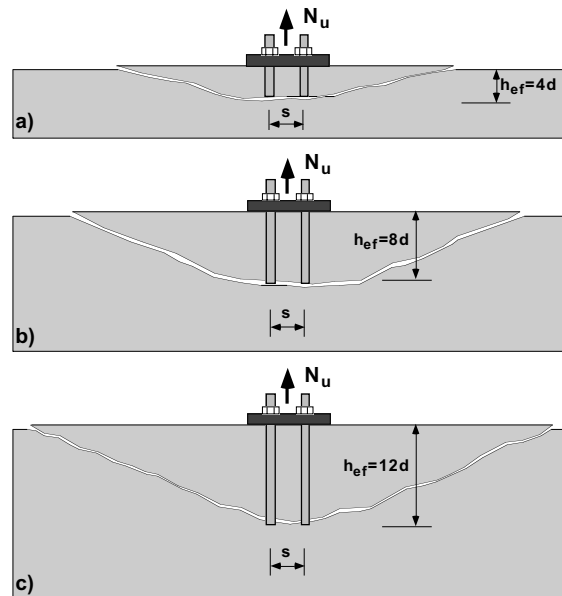


Bild 4.23: Versagen von Gruppenbefestigungen: Betonversagen bei konstantem Achsabstand s und Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef}

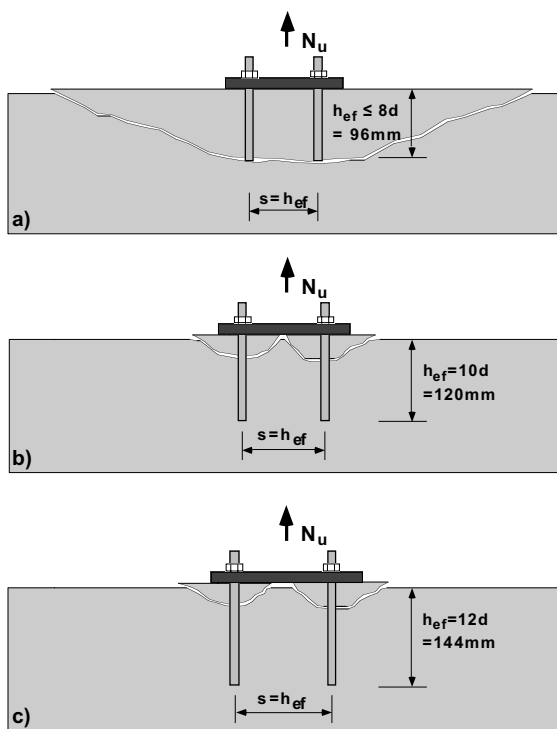


Bild 4.24: Versagen von Gruppenbefestigungen: Wechsel der Versagensart bei konstantem Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} und Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef}

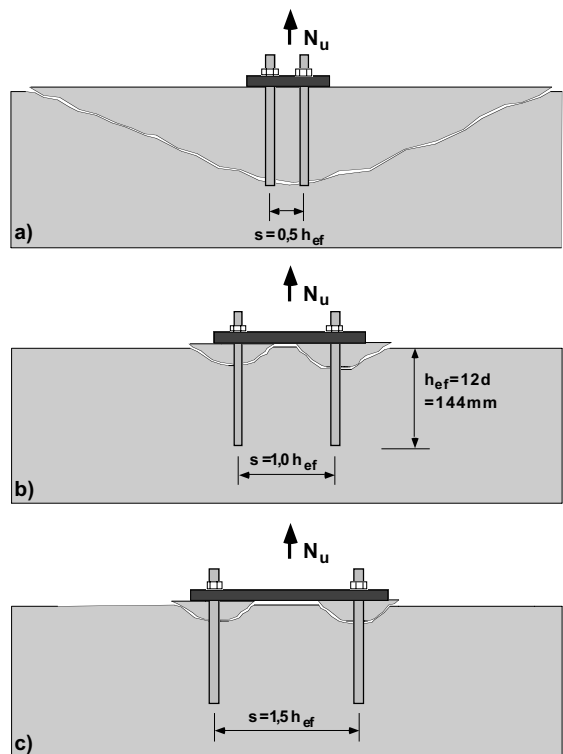


Bild 4.25: Versagen von Gruppenbefestigungen: Wechsel der Versagensart bei konstanter Verankerungstiefe h_{ef} und Zunahme des Verhältnisses Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef}

dann einzelne Ausbruchkegel um jeden Dübel aus (Bild 4.25c). Bleibt das Verhältnis s/h_{ef} konstant, nimmt jedoch die Verankerungstiefe h_{ef} zu, versagen bei tiefen Verankerungen die einzelnen Dübel der Befestigungen ebenfalls wie Einzeldübel, während bei Verankerungen mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} Betonausbruch für die gesamte Befestigung eintritt (Bild 4.24).

Inwieweit bei den hier vorgestellten experimentellen Untersuchungen tatsächlich reines Verbundversagen aufgetreten ist, konnte nicht festgestellt werden, da die Schädigungen des Ankergrundes nicht sichtbar waren. Auch kann durch diese Versuche nicht genau festgestellt werden, ob das Versagen des Verbundes oder des Ankergrundes Ursache für das Versagen der Gruppenbefestigung ist.

4.4.3.2 Last-Verschiebungsverhalten

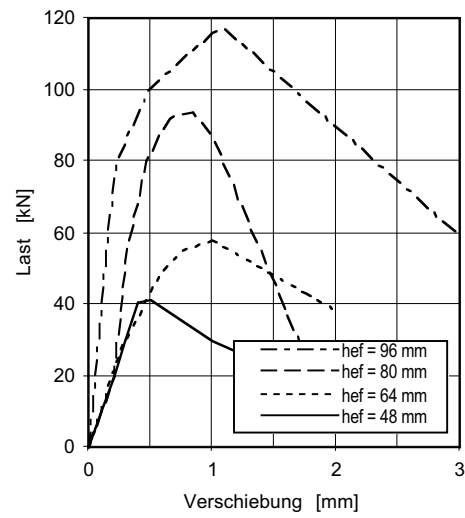
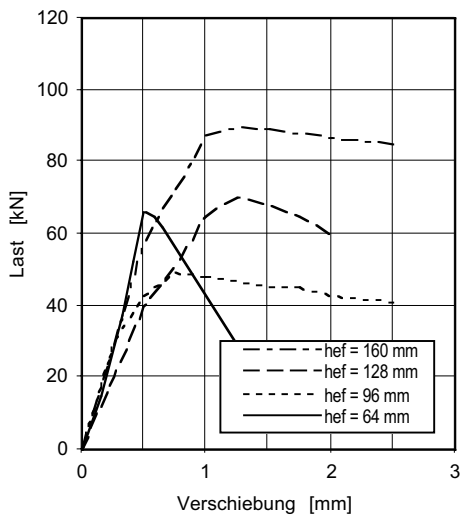
In den Bildern 4.26 bis 4.32 sind typische Last-Verschiebungskurven von Ausziehversuchen mit Verbunddübelgruppen dargestellt.

Die einzelnen Kurven unterscheiden sich von der Lasthöhe her. Dübelgruppen mit geringerem Ankerdurchmesser d erreichen bei gleicher Verankerungstiefe h_{ef} und gleichem Achsabstand s keine so hohen Ausziehkräfte wie Dübelgruppen mit größeren Dübeldurchmessern d .

Mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} nehmen die Versagenslasten N_u zu. Die Last-Verschiebungskurven von Dübeln mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} steigen zunächst nahezu linear an und fallen nach Erreichen der Höchstlast stark ab (Bild 4.26a: Dübel M8, $h_{ef} = 64$ mm, $s / h_{ef} = 1,0$; Bild 4.26 b: Dübel M8, $h_{ef} = 48$ mm, $s / h_{ef} = 1,0$; Bild 4.27a: Dübel M12, $h_{ef} = 96$ mm, $s / h_{ef} = 1,0$). Das deutet auf Betonausbruch hin. Dieses Verhalten ist bei Versuchen mit Mörtel HH ausgeprägter als bei Versuchen mit Mörtel SP. Bei Gruppenbefestigungen mit großen Verankerungstiefen h_{ef} zeigt sich eine abnehmende Steigung bis zur Höchstlast. Die Last-Verschiebungskurven fallen nach Erreichen der Höchstlast flach ab, was auf Verbundversagen hinweist.

Bei zunehmendem Achsabstand s nehmen die Versagenslasten der Gruppenbefestigungen ebenfalls zu. Bei Gruppenbefestigungen mit geringem Achsabstand s fallen die Last-Verschiebungskurven nach Erreichen der Höchstlast steiler ab als bei Versuchen mit großem Achsabstand s (Bild 4.27b: bel M12, $h_{ef} = 96$ mm, $s / h_{ef} = 0,5$; $s / h_{ef} = 1,0$).

Die Last-Verschiebungskurven der Ausziehversuche mit Mörtel HH und Ankerstangen M8 in Beton mit geringeren Festigkeiten f_{cc} verlaufen weniger steil als die der Versuche in Beton mit höheren Festigkeiten f_{cc} (Bild 4.26). Bei den Versuchen mit Mörtel SP und Ankerstangen M12 ergeben sich etwa die gleichen Steigungsverhältnisse für die Last-Verschiebungskurven in Versuchskörpern mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 25$ N/mm² (Bild 4.29) und mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55$ N/mm² (Bild 4.30).



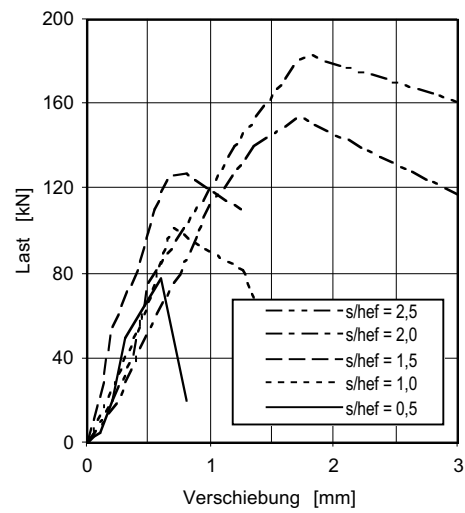
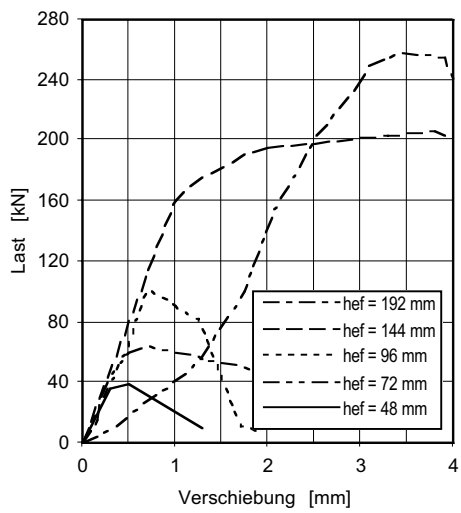
a)

b)

Bild 4.26: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø8 mm, Mörtel HH, $s/h_{ef} = 1,0$, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998) und Wagner (1998)

a) $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$

b) $f_{cc} = 55 \text{ N/mm}^2$



a)

b)

Bild 4.27: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø12 mm, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998) und Hilt (1996)

a) $s/h_{ef} = 1,0$

b) $h_{ef} = 96 \text{ mm}$

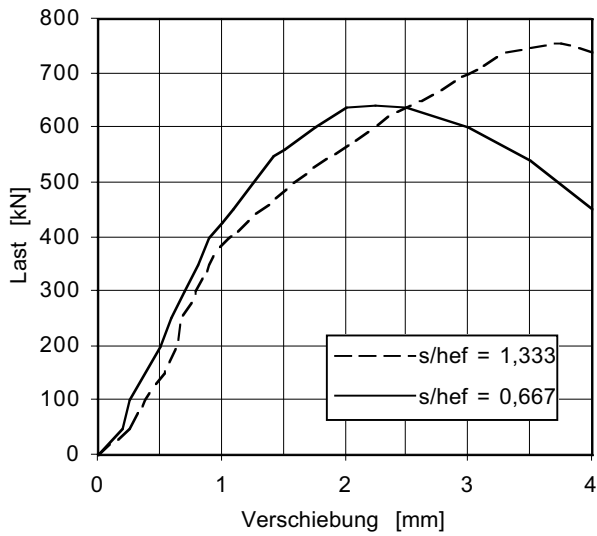
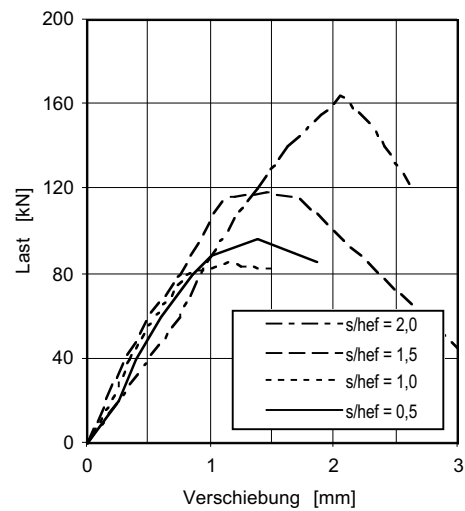
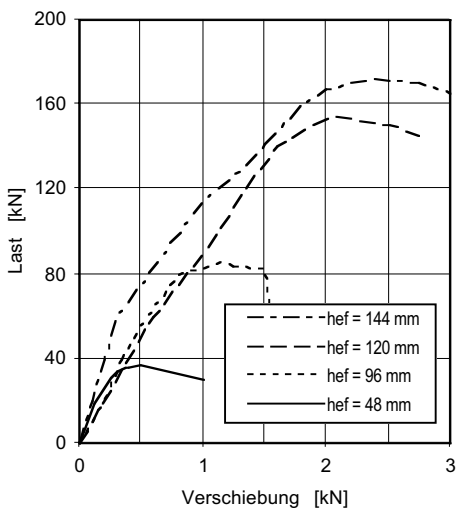


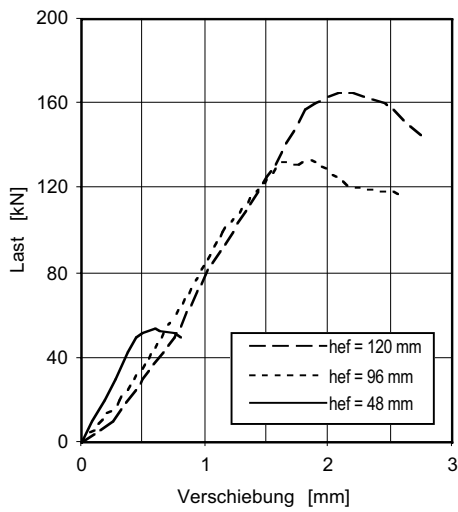
Bild 4.28: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln $\varnothing 24$ mm, $f_{cc} = 25$ N/mm², Mörtel HH, Versuche von Lehr, Elgehausen, Opferkuch (2001)



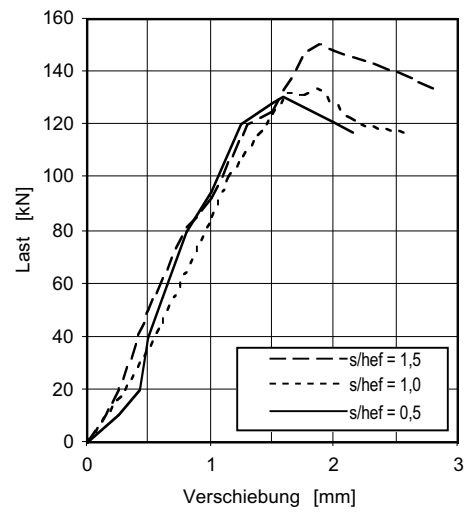
a)

b)

Bild 4.29: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln $\varnothing 12$ mm, Mörtel SP, $f_{cc} = 25$ N/mm², Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)



a)

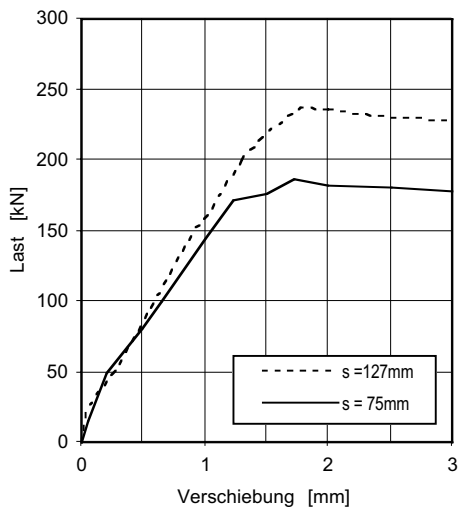


b)

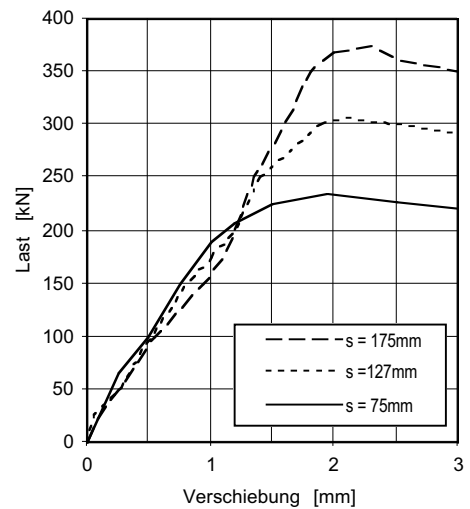
Bild 4.30: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln $\varnothing 12$ mm, $f_{cc} = 55$ N/mm², Mörtel SP, Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)

a) $s/h_{ef} = 1,0$

b) $h_{ef} = 96$ mm



a)

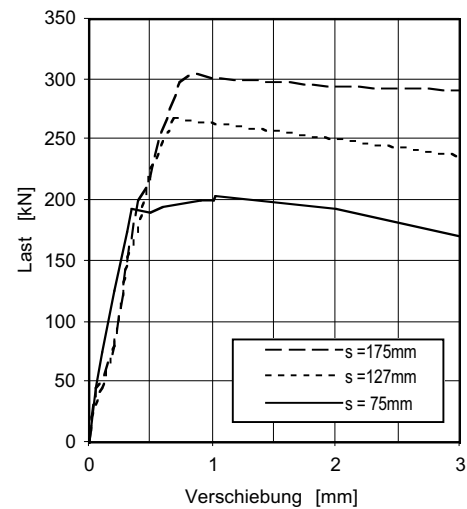
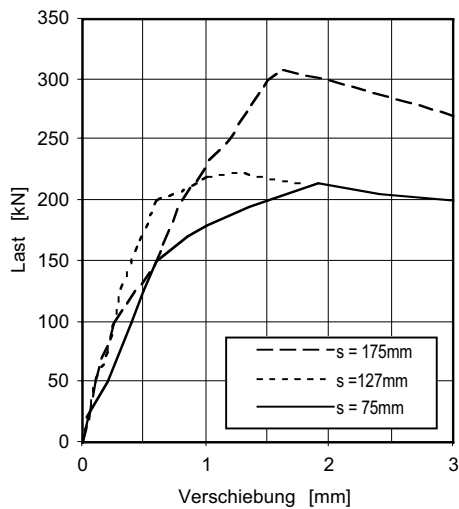


b)

Bild 4.31: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln, Mörtel D, Versuche von Spieth (1995)

a) $\varnothing 12,7$ mm, $h_{ef} = 127$ mm

b) $\varnothing 15,9$ mm, $h_{ef} = 190,5$ mm



a)

b)

Bild 4.32: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln $\varnothing 15,9$ mm, $h_{ef} = 127$ mm, Versuche von Spieth (1995)

a) Mörtel D

b) Mörtel B

Die Höchstlasten von Versuchen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55$ N/mm² liegen höher als die von Versuchen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55$ N/mm² unabhängig vom verwendeten Mörtel mit Ausnahme der Höchstlasten der Versuche mit Dübeln M8 mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 48$ mm = 6d.

Die Last-Verschiebungskurven der Versuche mit Mörtel D und B (Spieth (1995)) verlaufen größtenteils steiler als die der Versuche mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998), Wagner (1998)) und Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998)). Möglicherweise wird dieses Verhalten durch die Versuchsdurchführung hervorgerufen. Die Versuche mit Mörtel D und B wurden an einem anderen Prüfinstitut als die Versuche mit Mörtel HH und Mörtel SP durchgeführt.

Die Last-Verschiebungskurven der Versuche mit Mörtel SP weisen ein einheitlicheres Steigungsverhalten auf gegenüber den Kurven mit Mörtel HH. Bei Versuchen mit Mörtel HH mit Dübeln M8 nimmt die Steigung der Kurven mit Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} zu. Bei Versuchen mit Dübeln M12 nimmt die Steigung mit Zunahme des Verhältnisses Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} zu. Die Last-Verschiebungskurve des Versuchs mit Mörtel HH und Dübeln M12 mit einer

Verankerungstiefe $h_{ef} = 192$ mm hat bei geringen Lasten eine sehr große Anfangsverschiebung (Bild 4.27a). Diese ist auf Schlupf in der Versuchseinrichtung zurückzuführen. Ab einer Last von $N = 80$ kN verläuft die Kurve etwa mit der gleichen Steigung wie die Kurven mit Dübeln mit geringeren Verankerungstiefen h_{ef} .

4.4.3.3 Versagenslasten

In Tabelle 4.15 sind die Mittelwerte der Versagenslasten N_u aller Versuchsreihen mit Vierfachbefestigungen, bei denen Mörtel HH in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 25$ N/mm² eingesetzt wurde, zusammengestellt. Tabelle 4.16 beinhaltet die Mittelwerte der Versagenslasten N_u von Versuchen mit Gruppenbefestigungen mit Mörtel HH in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55$ N/mm². Die Versagensarten sind jeweils mitangegeben.

Die Mittelwerte der Versagenslasten der einzelnen Versuchsreihen mit Mörtel SP in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 25$ N/mm² sind in Tabelle 4.17 enthalten. Die Mittelwerte der Ergebnisse aus den Versuchsreihen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55$ N/mm² sind in Tabelle 4.18 zusammengestellt. Den Tabellen können die Versagensarten ebenfalls entnommen werden.

\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	s	s / h_{ef}	n	N_u	V	VERSAGEN
mm	mm	----	mm	----	----	kN	%	----
8	48	6	48	1,0	4	35,6	17,5	4xCC
	64	8	64	1,0	4	56,2	2,9	4xCC
	80	10	80	1,0	3	90,5	2,5	1xCC / 2xCCB
	96	12	48	0,5	4	101,6	1,5	4xCCB1
			96	1,0	3	108,7	5,6	2xCCB / 1xB
			144	1,5	4	132,3	8,6	4xCCB

Tabelle 4.15: Ergebnisse der Versuche mit Verbunddübelgruppenbefestigungen, Mörtel HH, $f_{cc} = 55$ N/mm², Versuche von Wagner (1998)

\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	s	s / h_{ef}	n	N_u	V	VERSAGEN	
mm	mm	----	mm	----	----	kN	%	----	
8	48	6	48	1,0	7	29,4	7,5	7xCCB	
			64	1,0	9	46,7	23,5	9xCCB	
	64	8	96	1,5	4	67,5	2,0	4xCCB	
			128	2,0	4	78,4	9,6	4xCCB	
			160	2,5	3	77,0	4,0	3xCCB	
			120	1,5	4	74,1	8,2	4xCCB	
	80	10	80	1,0	8	70,4	6,0	8xCCB	
			120	1,5	4	74,1	8,2	4xCCB	
	96	12	48	0,5	4	63,8	11,2	3xCCB / 1xCCB/SP	
			96	1,0	3	42,4	12,1	3xCCB	
			144	1,5	4	106,9	3,0	2xCCB / 1xB / 1xCCB/S	
	128	16	128	1,0	3	69,8	0,5	3xCCB	
160	20	160	1,0	3	93,5	8,1	3xCCB		
12	48	4	48	1,0	8	31,7	20,8	4xCC / 4xCCB	
			72	1,5	12 (14) ¹⁾	30,0	10,7	2xCC / 10xCCB	
			96	2,0	8	46,8	13,8	4xCC / 4xCCB	
			120	2,5	11	43,9	20,1	9xCCB / 2xSP	
			144	3,0	11	58,0	21,4	9xCCB / 2xCCB1	
	72	6	72	1,0	4	63,0	1,7	4xCCB	
	96	8	48	0,5	4	81,8	6,4	4xCCB	
			96	1,0	5	88,0	12,7	3xCCB / 2xCCB/SP	
			144	1,5	4	129,6	2,7	1xCC / 3xCCB	
			192	2,0	4	149,3	7,7	4xCCB	
			240	2,5	6	128,0	21,4	6xCCB	
	120	10	120	1,0	4	130,1	6,8	2xCC/SP / 2xCCB/SP	
	144	12	48	0,333	3	106,1	12,4	3xCCB	
			72	0,5	6	149,8	8,9	5xCCB / 1xCCB/SP	
			144	1,0	5	179,3	11,4	4xCCB / 1xS	
			216	1,5	3	211,8	1,9	3xCCB	
	192	16	192	1,0	4	258,0	12,5	2xCCB / 1xCCB/S / 1xCCB/SP	
	16	128	8	128	1,0	4	168,7	9,4	4xCCB
	24	28	12	192	0,667	3	630,1	5,01	3 x CC
				384	1,333	5 (3) ¹⁾	809,1	20,6	5 x CCB

1) Versuche wurden bei den weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt (vgl. Lehr, Elgehausen (1998) und Lehr, Elgehausen, Opferkuch (2001))

Tabelle 4.16: Ergebnisse der Versuche mit Verbunddübelgruppenbefestigungen, Mörtel HH, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998), Hilt (1996), Wagner (1998), Lehr, Elgehausen, Opferkuch (2001)

\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	s	s / h_{ef}	n	N_u	V	VERSAGEN
mm	mm	-----	mm	-----	-----	kN	%	-----
12	48	4	48	1,0	6	34,6	4,7	4xCC / 2xCCB
			96	8	48	0,5	4	85,3
	96	1,0			6	98,3	14,2	1xCC / 5xCCB
	144	1,5			3	155,4	6,1	2xCC / 1xCCB
	120	10	60	0,5	3	117,0	6,1	3xCCB
			120	1,0	3	145,1	5,2	3xCCB
			180	1,5	3	139,6	10,9	3xCCB
			240	2,0	3	176,1	4,9	3xCCB
	144	12	48	0,33	3	129,5	8,9	3xCCB
			72	0,5	3	126,5	8,8	2xCC / 1xCCB
			144	1,0	3	162,7	4,7	3xCCB
			216	1,5	3	220,3	0,6	3xCC
	16	96	6	96	1,0	4	76,5	11,0
128		8	128	1,0	3	117,0	3,2	1xCC/2xCCB
160		10	160	1,0	3	224,1	4,9	1xCC/2xCCB

Tabelle 4.17: Ergebnisse der Versuche mit Verbunddübelgruppenbefestigungen, Mörtel SP, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Hilt (1996), Wagner (1998)

\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	s	s / h_{ef}	n	N_u	V	VERSAGEN
mm	mm	-----	mm	-----	-----	kN	%	-----
12	48	4	48	1,0	8	49,9	5,5	7xCC / 1xCCB
			96	8	48	0,5	3	122,8
	96	1,0			5	140,5	13,1	1xCC / 4xCCB
	128	1,33			2	178,5	2,5	1xCCB / 1xCCB/SP
	144	1,5			3	147,0	18,4	1xCC / 2xCCB
	192	2,0			2	188,7	0,1	2xSP
	120	10			60	0,5	6	135,7
			120	1,0	3	163,7	5,1	3xCCB
	144	12	48	0,33	3	180,0	9,8	3xCCB
			72	0,5	3	192,8	11,7	3xCCB

Tabelle 4.18: Ergebnisse der Versuche mit Verbunddübelgruppenbefestigungen, Mörtel SP, $f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$, Versuche von Wagner (1998)

In Tabelle 4.19 sind die Mittelwerte dieser Versuchsreihen sowie die Versagensarten der Versuche von Spieth (1995) angegeben.

Die Betonfestigkeit f_{cc} der Versuche von Spieth (1995) ($f_{cc} \sim 35 \text{ N/mm}^2 / f_{cc} \sim 50 \text{ N/mm}^2$) stimmt schlecht mit der Betonfestigkeit f_{cc} der Versuche von Lehr, Elgehausen (1998), Hilt (1996) und Wagner (1998) ($f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2 / f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$) überein. Daher werden diese Versuche bei der späteren Auswertung nicht immer mitberücksichtigt. Da der Einfluß der Betonfestigkeit auf das Tragverhalten von Dübeln mit Mörtel D und B nicht bekannt ist, wurde von einer Umrechnung abgesehen.

MÖRTEL	f_{cc}	\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	s	s / h_{ef}	n	N_u	V	VERSAGEN
----	----	mm	mm	----	mm	----	----	kN	%	----
D	50	12,7	127	10	75	0,59	3	176,5	13,1	1xCC / 2xCCB
					125	0,98	3	239,1	7,2	3xCC
		15,9	127	8	75	0,59	3	179,9	13,6	3xCC
					125	0,98	3	219,7	2,4	1xCC / 2xCCB
					175	1,38	3	280,5	7,0	1xCC / 2xCCB
					75	0,39	3	230,1	8,2	1xCC / 2xCCB
	190,5	12	125	0,66	3	330,8	5,9	1xCC / 2xCCB		
			175	0,92	3	375,9	12,4	3xCC		
	35	15,9	127	8	75	0,59	1	184,0	---	CC
					125	0,98	1	200,4	---	CCB
					175	1,38	1	272,0	---	CCB
	B	50	15,9	127	8	75	0,59	3	189,7	5,0
125						0,98	3	261,8	10,3	2xCC / 1xCCB
175						1,38	3	264,5	11,7	3xCCB

Tabelle 4.19: Ergebnisse der Versuche mit Verbunddübelgruppenbefestigungen, Mörtel D und B, Versuche von Spieth (1995)

4.4.3.4 Auswertung

4.4.3.4.1 Einfluß des Achsabstandes s

Mit Mörtel HH wurden in niederfestem Beton Versuche mit großen Achsabständen ($s \geq 2 h_{ef}$) durchgeführt. Die Achsabstände der Untersuchungen mit Mörtel SP lagen in der Regel unterhalb dieses Achsabstandes. Dabei wurden Dübelgruppen mit Verankerungstiefen mit $4d \leq h_{ef} \leq 16d$ geprüft.

In Bild 4.33 ist das Verhältnisses der Versagenslast der Gruppenbefestigung zur Versagenslast der Einzelbefestigung $N_{U,4} / N_{U,E}$ über dem Achsabstand s mit Dübeln M8 aufgetragen. Vor allem die experimentellen Untersuchungen mit Dübeln M8 in Beton mit hoher Festigkeit ($f_{cc} = 55 \text{ N/mm}^2$) zeigen die starke Abhängigkeit des Verhältnisses $N_{U,4} / N_{U,E}$ vom Ankerstangendurchmesser. Bei den Versuchen in Beton mit niedriger Festigkeit ($f_{cc} = 25 \text{ N/mm}^2$) liegen einige der Mittelwerte sehr tief ($h_{ef} = 96 \text{ mm}$ für $s = 12d$, $h_{ef} = 128 \text{ mm} / 160 \text{ mm}$). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die Versuche mit Einzeldübeln mit anderen Mörtelchargen durchgeführt werden mußten.

Aus Bild 4.33 ist zu erkennen, daß für Gruppenbefestigungen mit Dübel M8 mit Mörtel HH bei dem Achsabstand $s = 144 \text{ mm} = 18 d$ die volle Traglast von vier Einzeldübeln erreicht wird.

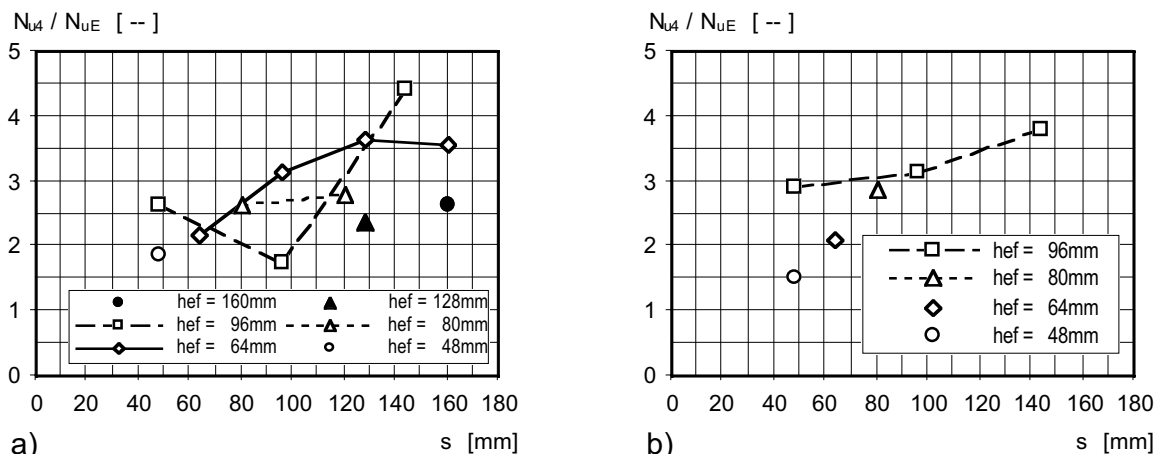


Bild 4.33: Versagenslast der Gruppenbefestigung zur vierfachen Versagenslast des Einzeldübels $N_{U,G} / N_{U,E}$ über dem Achsabstand s, Dübel M8, Mörtel HH, Mittelwerte der Versuche von Lehr, Elgehausen (1998) und Wagner (1998)

- a) Versuche in Beton mit $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$
- b) Versuche in Beton mit $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

In Bild 4.34 und Bild 4.35 ist das Verhältnis der Versagenslast der Gruppenbefestigung zur Versagenslast der Einzelbefestigung $N_{U,4} / N_{U,E}$ für Versuche mit Dübeln M12 mit Mörtel HH und Mörtel SP über dem Achsabstand s aufgetragen.

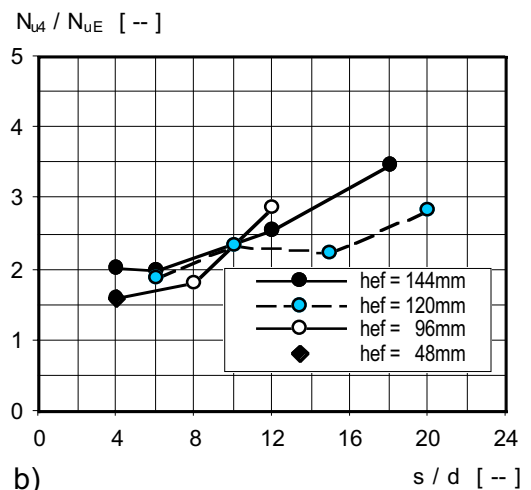
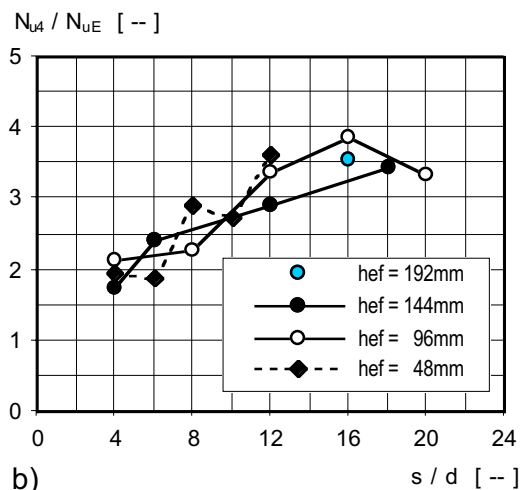
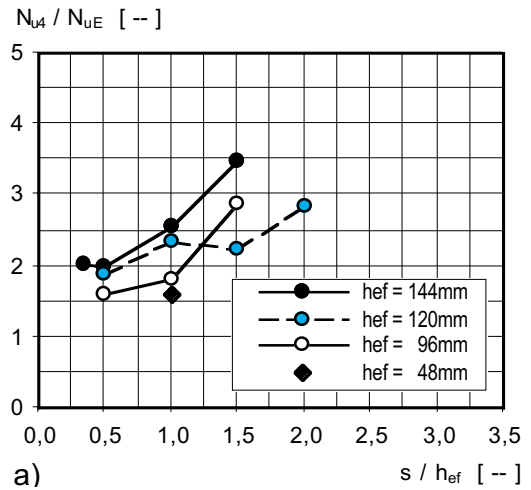
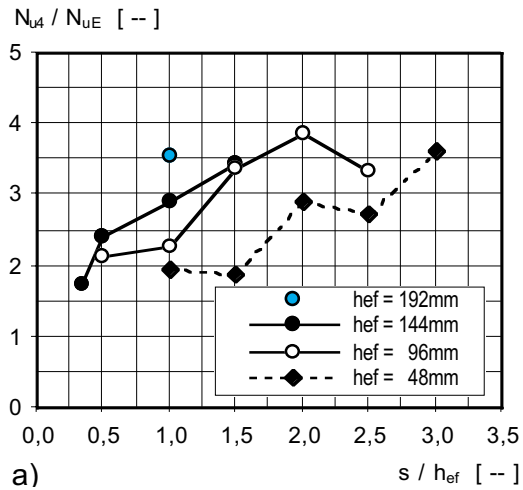


Bild 4.34: Versagenslast der Gruppenbefestigung zur vierfachen Versagenslast des Einzeldübels $N_{u,G}/N_{u,E}$, Dübel M12, Mörtel HH, Mittelwerte der Versuche von Lehr, Eligehausen (1998) und Wagner (1998)

Bild 4.35: Versagenslast der Gruppenbefestigung zur vierfachen Versagenslast des Einzeldübels $N_{u,G}/N_{u,E}$, Dübel M12, Mörtel SP, Mittelwerte der Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)

a) über s / h_{ef} b) über s / d

a) über s / h_{ef} b) über s / d

Bei den dargestellten Versuchen mit Dübeln M12 in Beton mit niedriger Festigkeit ($f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$) mit Mörtel HH und Mörtel SP wird deutlich, daß das Verhältnis der Versagenslast der Gruppenbefestigung zur Versagenslast der Einzelbefestigung $N_{U,4}$

/ $N_{u,E}$ eher vom Verhältnis Achsabstand zum Ankerstangendurchmesser s / d abhängig ist als vom Verhältnis Achsabstand zur Verankerungstiefe s / h_{ef} . Für das Verhältnis $s / d \sim 16$ bis 18 erreicht die Gruppenbefestigung ungefähr die vierfache Versagenslast eines Einzeldübels. Ein Achsabstand s in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe h_{ef} , bei dem die Gruppenversagenslast $N_{u,4}$ der Versagenslast von vier Einzeldübeln entspricht, läßt sich aus Bild 4.33, Bild 4.34 und Bild 4.35 nicht eindeutig bestimmen.

4.4.3.4.2 Einfluß der Betonfestigkeit

Versuche mit vergleichbaren Parametern bezüglich Verankerungstiefe h_{ef} und Achsabstand s in Beton mit niedrigen und hohen Festigkeiten ($f_{cc} \sim 25/55 \text{ N/mm}^2$) wurden mit Dübeln M8 und Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998), Wagner (1998)) sowie mit Dübeln M12 und Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998)) durchgeführt. In Tabelle 4.20 ist das Verhältnis der Versagenslasten in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ zu denen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ $N_{u,55} / N_{u,25}$ zusammengestellt.

\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	s	s / h_{ef}	$N_{u,NF}$	$N_{u,HF}$	$N_{u,NF} / N_{u,HF}$
mm	mm	-----	mm	-----	kN	kN	-----
8 Mörtel HH	48	6	48	1,0	29,4	35,6	1,21
	64	8	64	1,0	46,7	56,2	1,20
	80	10	80	1,0	70,4	90,5	1,29
	96	12	48	0,5	63,8	101,6	1,59
			96	1,0	42,4	108,7	2,56
			144	1,5	106,9	132,3	1,24
12 Mörtel SP	48	4	48	1,0	34,6	49,9	1,44
	96	8	48	0,5	85,3	122,8	1,44
			96	1,0	98,3	140,5	1,43
			144	1,5	155,4	147,0	0,95
	120	10	60	0,5	117,0	135,7	1,16
			120	1,0	145,1	163,7	1,13
	144	12	48	0,333	129,5	180,0	1,39
			72	0,5	126,5	192,8	1,52

Tabelle 4.20: Verhältnis der Versagenslasten von Gruppenbefestigungen in niederfestem und hochfestem Beton $N_{u,55} / N_{u,25}$, Versuche mit Dübel M8, Mörtel HH von Eligehausen (1998) und Wagner (1998) und Versuche mit Dübel M12, Mörtel SP nach Hilt (1996) und Wagner (1998)

Bei den experimentellen Untersuchungen mit Dübeln M8 ergibt sich für Versuche mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96$ und einem Achsabstand $s = 96$ mm für das Verhältnis Versagenslast in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ zu denen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ $N_{u,55} / N_{u,25} = 2,56$. Dieser Wert ist auf sehr niedrige Versagenslasten in Beton mit der geringeren Festigkeit $N_{u,25}$ zurückzuführen. Bei einer Auswertung ohne diese Versuche liegt das Verhältnis der Versagenslasten in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$ zu denen in Beton mit einer Festigkeit $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ bei $1,2 \leq N_{u,25} / N_{u,55} \leq 1,6$.

Auch bei den Versuchen mit Dübeln M12 und Mörtel SP ist das Verhältnis $N_{u,HF} / N_{u,NF} \leq 1,6$. Mit Zunahme des Achsabstandes s und mit Zunahme der Verankerungstiefe h_{ef} nimmt das Verhältnis $N_{u,55} / N_{u,25}$ ab. Da bei Verankerungen mit kleinem Achsabstand s und mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} hauptsächlich Betonversagen auftritt, ist es verständlich, daß die Festigkeit des Betons f_{cc} hier einen größeren Einfluß auf die Versagenslasten N_u hat.

In Bild 4.36 ist das Verhältnis $N_{u,55} / N_{u,25}$ über der für jede Versuchsserie gewählten Betonfestigkeit aufgetragen. Die eingetragenen potentiellen Regressionen ergeben eine ähnliche Potenz wie bei den Versuchen an Einzeldübeln. Ausreißer wurden vernachlässigt.

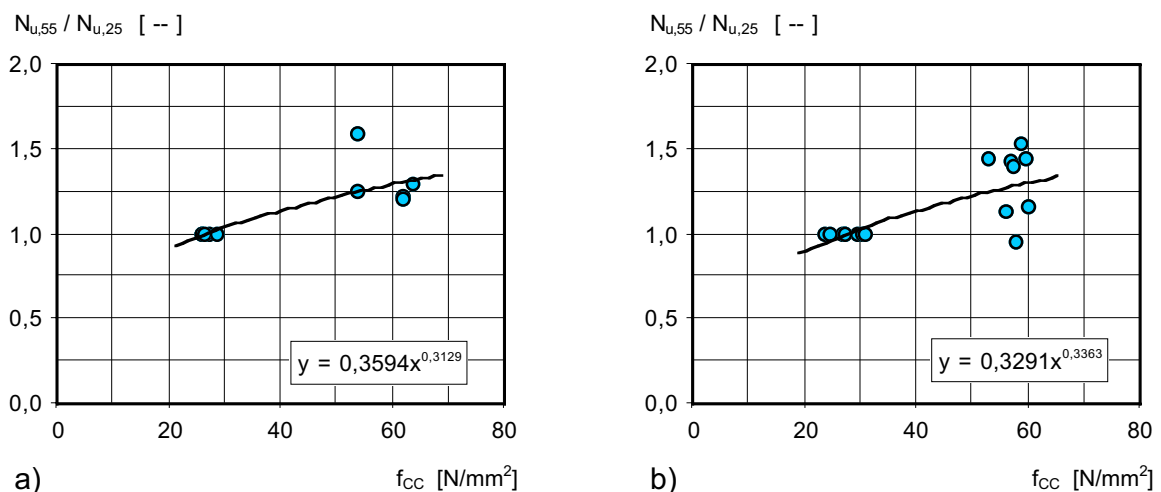


Bild 4.36: Einfluß der Betonfestigkeit f_{cc} auf das Verhältnis der Versagenslasten von Gruppenbefestigungen in niederfestem und hochfestem Beton $N_{u,HF} / N_{u,NF}$ von zentrischen Zugversuchen mit Gruppenbefestigungen

- a) Versuche mit Dübel M8, Mörtel HH von Lehr, Elgehausen (1998/4) und Wagner (1998)
- b) Versuche mit Dübel M12, Mörtel SP von Hilt (1996) und Wagner (1998)

4.4.3.5 Vergleich mit numerischen Untersuchungen

4.4.3.5.1 Brucharten

In Tabelle 4.21 sind die Versagensarten, die bei den numerischen Untersuchungen ermittelt wurden, denen in den experimentellen Untersuchungen beobachteten gegenübergestellt. Es fällt auf, daß bei großen Verankerungstiefen h_{ef} die Versagensarten nicht mehr übereinstimmen. In den numerischen Untersuchungen werden die Versagensarten „B“ (Verbundversagen) und „FPO“ (False pullout failure) ermittelt, während bei den experimentellen Untersuchungen kombiniertes Versagen aus Betonausbruch mit Verbundversagen zu beobachten ist. Dabei ist zu beachten, daß die Ausbruchkegel in den experimentellen Untersuchungen verhältnismäßig klein sind. Weiterhin ist es nicht möglich, die Versagensart „FPO“ im Versuch einwandfrei festzustellen.

DÜBELDURCH- MESSER d [mm]	VERANKERUNGS- TIEFE h_{ef} [mm]	h_{ef} / d [--]	ACHSAB- STAND s [mm]	s / h_{ef} [--]	VERSAGENS-ART ¹⁾	
					FE-Rechnung	Experimentelle Untersuchungen
8	96	12	96	1,0	CCB	3xCCB
	160	20	160	1,0	B	3xCCB
12	48	4	48	1,0	CC	4xCC/4xCCB
			96	2,0	CC	4xCC/4xCCB
			144	3,0	CC	9xCC/2xCCB1
	96	8	48	0,5	CC	4xCCB
			96	1,0	CCB	3xCCB/2xCCB/SP
			144	1,5	CCB	1xCC/3xCCB
			192	2,0	B	4xCCB
			240	2,5	B	6xCCB
	144	12	48	0,33	CC	3xCCB
			144	1,0	FPO	4xCCB/1xS
			216	1,5	B	3xCCB
	192	16	192	1,0	B	2xCCB/1xCCB/S/ 1xCCB7SP

Tabelle 4.21: Gegenüberstellung der Versagensarten aus den numerischen Untersuchungen (Li, Lehr (1998)) und den experimentellen Untersuchungen (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998)) an Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung

4.4.3.5.2 Last-Verschiebungsverhalten

In Bild 4.37 sind Last-Verschiebungskurven aus numerischen und experimentellen Untersuchungen mit Dübeln M12 und Mörtel HH gegenübergestellt.

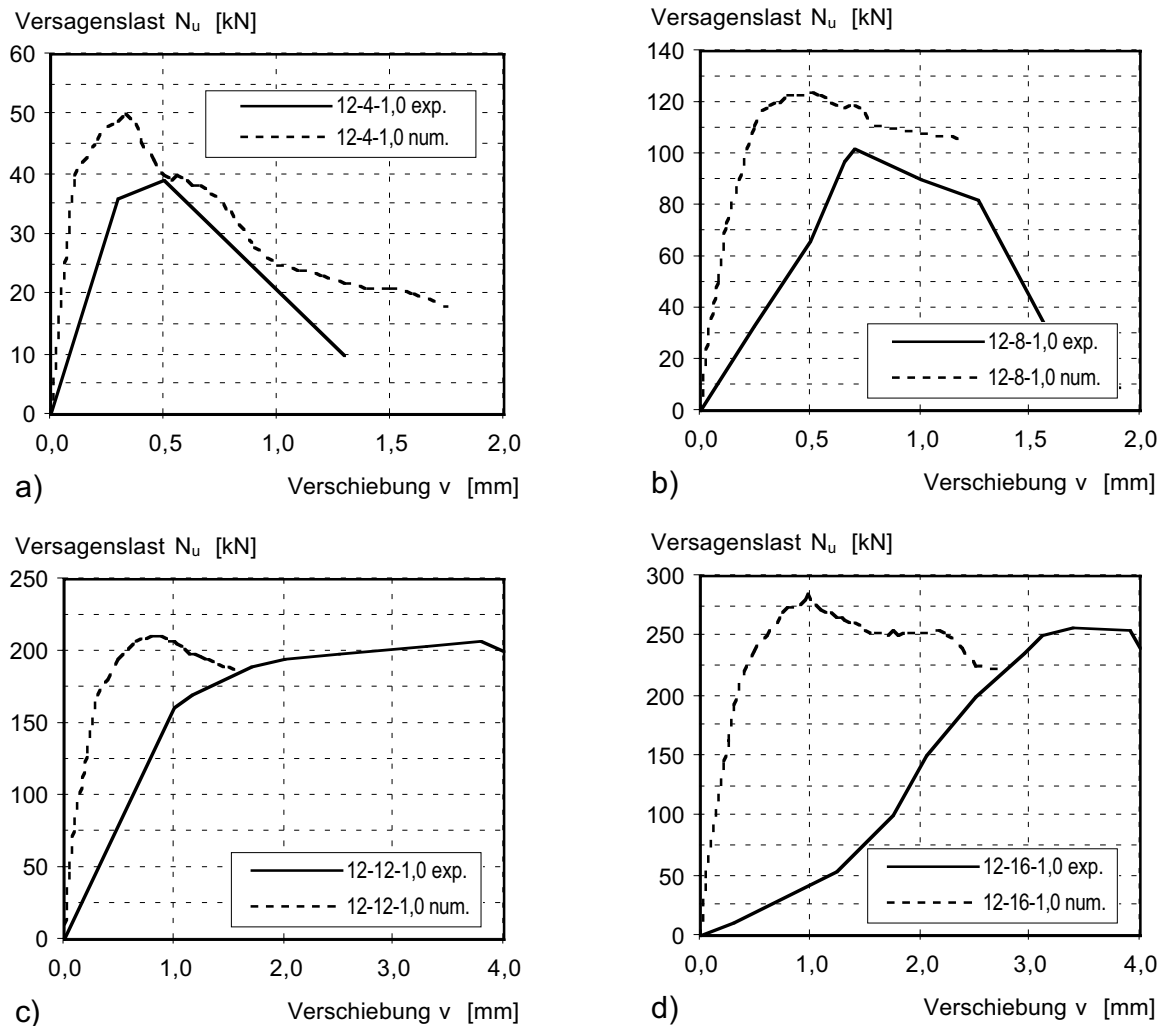


Bild 4.37: Last-Verschiebungskurven von Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung, numerische Untersuchungen (Li, Lehr (1998)) und experimentelle Untersuchungen (Lehr, Elgehausen (1998/4), Wagner (1998))

- | | |
|----------------------|----------------------|
| a) $h_{ef} = 48$ mm | b) $h_{ef} = 96$ mm |
| c) $h_{ef} = 144$ mm | d) $h_{ef} = 144$ mm |

Es ist zu erkennen, daß die Höchstlasten $N_{u,calc}$ für große Verankerungstiefen $h_{ef} \geq 96$ mm ungefähr mit den Versagenslasten aus den Versuchen $N_{u,test}$ übereinstimmen. Die in experimentellen Untersuchungen ermittelten Verschiebungen $v_{u,test}$ bei Höchstlast $N_{u,test}$ sind allerdings ungefähr dreimal so groß wie die bei den numerischen Untersuchungen ermittelten Verschiebungen $v_{u,calc}$ bei der Versagenslast $N_{u,calc}$.

4.4.3.5.3 Versagenslasten

In Tabelle 4.22 sind die Versagenslasten aus FE-Berechnungen und experimentellen Untersuchungen gegenübergestellt. Das Verhältnis der numerisch ermittelten zu den experimentell ermittelten Versagenslasten ist mit angegeben und in Bild 4.38 aufgetragen.

VERANKERUNGS TIEFE		ACHSABSTAND		VERSAGENSLAST		$N_{u,calc} / N_{u,test}$
h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	$N_{u,calc}$	$N_{u,test}$	
mm	-----	mm	-----	kN	kN	-----
48	4	48	1,0	50,1	31,7	1,58
		96	2,0	66,0	46,8	1,41
		144	3,0	76,7	58,0	1,32
96	8	48	0,5	98,4	81,8	1,20
		96	1,0	124,1	88,0	1,41
		144	1,5	142,4	129,6	1,10
		192	2,0	144,9	149,3	0,97
		240	2,5	148,6	128,0	0,86
144	12	48	0,333	132,2	106,1	1,25
		144	1,0	180,2	179,3	1,01
		216	1,5	221,1	211,8	1,04
192	16	192	1,0	284,3	258,0	1,10

Tabelle 4.22: Gegenüberstellung der Versagenslasten aus den numerischen Untersuchungen (Li, Lehr (1998)) und den experimentellen Untersuchungen (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998)) an Verbunddübeln M12 unter zentrischer Zugbelastung

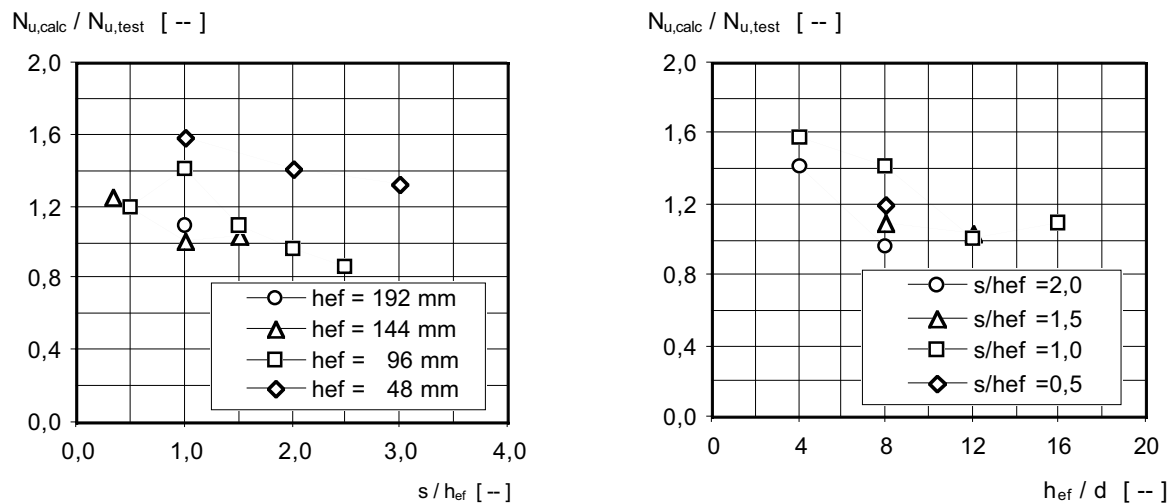


Bild 4.38: Vergleich der numerischen Untersuchungen (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999)) und den experimentellen Untersuchungen (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

Obwohl bei geringen Verankerungstiefen h_{ef} die Versagensarten verhältnismäßig gut übereinstimmen, ergeben sich Unterschiede in den Versagenslasten N_u . Eine gute Übereinstimmung der Versagenslasten N_u ergibt sich bei solchen Verankerungstiefen h_{ef} , bei denen Verbundversagen auftritt.

4.4.3.5.4 Verhältnis der Traglast von Gruppenbefestigungen zur Traglast von Einzelbefestigungen

In Bild 4.39 ist das Verhältnis $N_{u,group} / N_{u,single}$ über dem Verhältnis Achsabstand zu Ankerstangendurchmesser s / d für die FE-Rechnungen von Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999) und die experimentellen Untersuchungen (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998)) aufgetragen.

Bei den FE-Rechnungen ist der kritische Achsabstand $s_{cr} = 20 d$ gut erkennbar. Bei den experimentellen Untersuchungen wird im wesentlichen bei einem Achsabstand $s = 16 d$ die vierfache Versagenslast des Einzeldübels erreicht. Der abfallende Mittelwert der Versuchsserie mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 96 \text{ mm}$ und dem Achsabstand $s = 144 \text{ mm}$ ist auf die hohen Versagenslasten der Einzeldübel $N_{u,single}$ zurückzuführen.

Auch in Hinblick auf den kritischen Achsabstand s_{cr} kann eine befriedigende Übereinstimmung zwischen FE-Rechnungen und experimentellen Untersuchungen festgestellt werden.

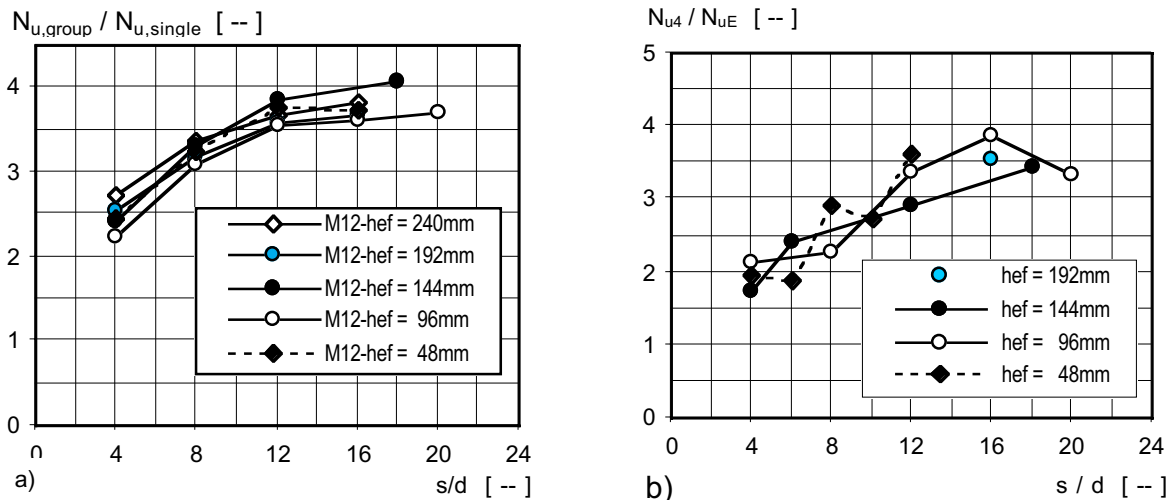


Bild 4.39: Verhältnis der Versagenslast einer Gruppenbefestigung zur vierfachen Versagenslast einer Einzelbefestigung $N_{u,group} / N_{u,single}$ über dem Verhältnis Achsabstand zu Ankerstangendurchmesser s / d

- a) FE-Rechnungen (Lehr, Li, Eligehausen, Ozbolt (1999))
- b) experimentelle Untersuchungen (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

4.4.4 Einzelbefestigungen am Bauteilrand

4.4.4.1 Versagensarten

Bei Popo-Ola, Newman (1995) sind die Versagensarten der einzelnen Ausziehversuche am Rand dokumentiert. In Bild 4.41 und Bild 4.42 ist der Anteil der Versagensarten für jede Versuchsreihe aufgetragen. Die Benennung der Versagensarten entspricht Abschnitt 2.5.3. Dabei werden Versuchsreihen, bei denen überwiegend als Versagensart Stahlversagen oder Spalten des Probekörpers auftritt, nicht berücksichtigt. Stahlversagen und Spalten des Probekörpers ist der Vollständigkeit halber bei den Versuchsreihen aufgeführt, wo andere Versagensarten überwiegen. In der Regel liegen die Versagenslasten auf einem einheitlichen Niveau bei geringer Streuung, so daß eine gemeinsame Auswertung möglich erscheint.

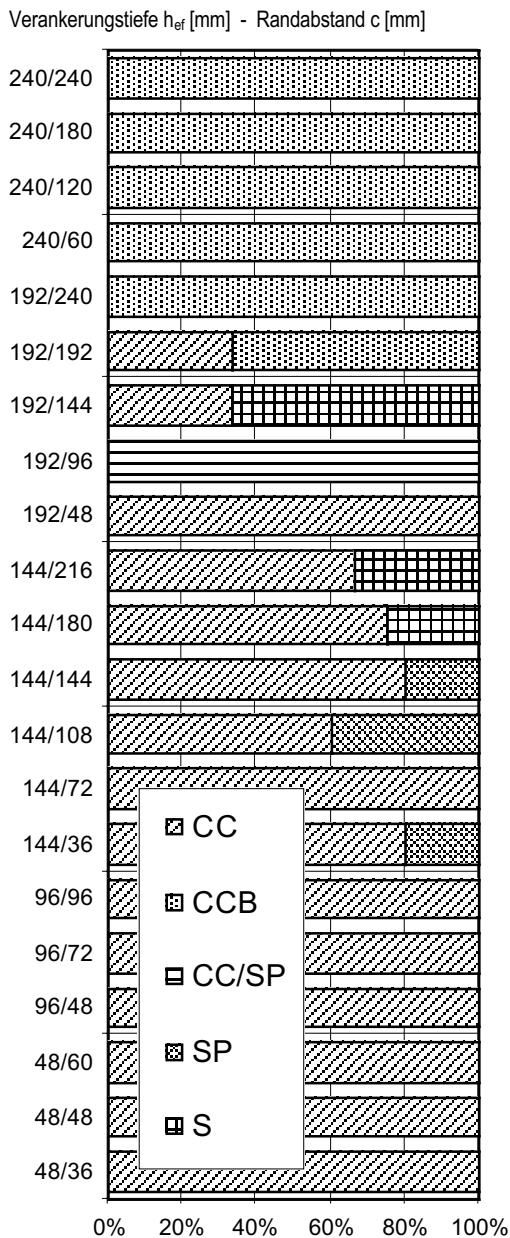


Bild 4.40: Anteil der Versagensarten bei zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln am Bauteilrand, Verbunddübeln M12 mm in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

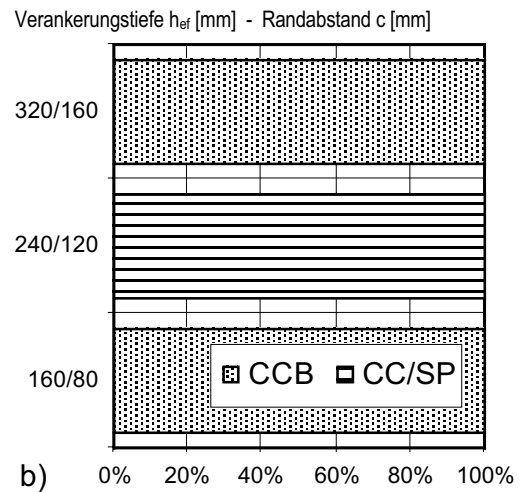
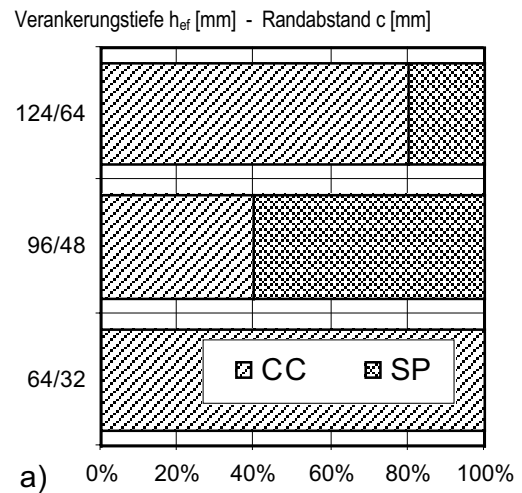


Bild 4.41: Anteil der Versagensarten bei zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln am Bauteilrand, Versuche in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

- a) Verbunddübel M8
- b) Verbunddübel M20

Es ist zu erkennen, daß bei geringen Verankerungstiefen h_{ef} unabhängig vom Durchmesser Betonversagen auftritt. Bei geringen Randabständen c ist dieser Ausbruch muschelförmig, wie in Bild 4.42 dargestellt. Je größer der tatsächliche

Randabstand c wird, desto mehr geht das Versagen in ein kombiniertes Verbundversagen mit Betonversagen wie beim Einzeldübel in der Bauteilfläche über. Eine direkte Abhängigkeit vom Verhältnis Randabstand zu Verankerungstiefe c / h_{ef} ist nicht zu beobachten.

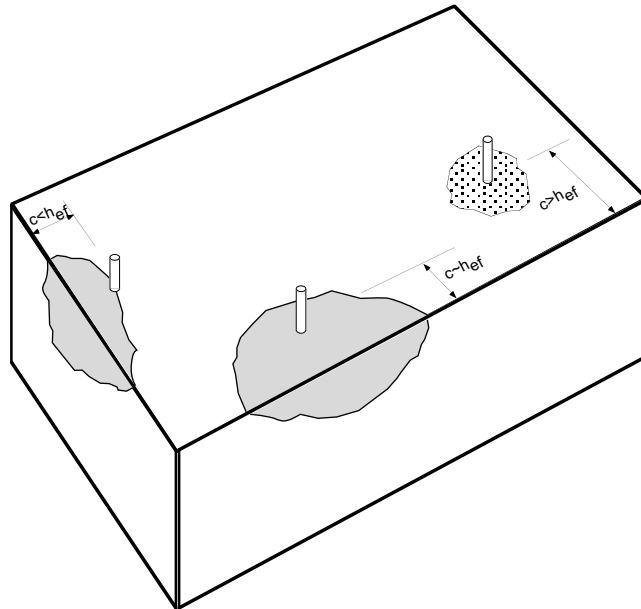


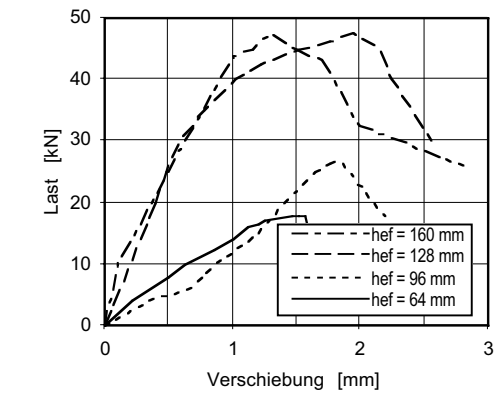
Bild 4.42: Versagensarten bei zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln am Bauteilrand

4.4.4.2 Last-Verschiebungsverhalten

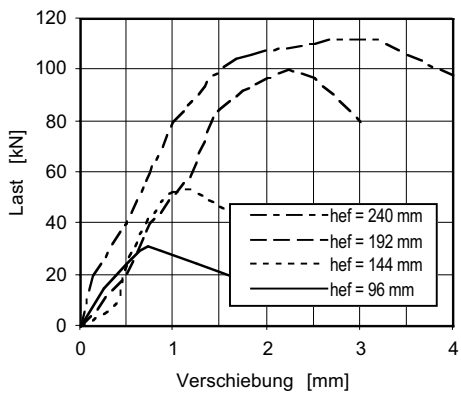
In Bild 4.43 sind für Ausziehversuche mit Verbunddübeln bei denen der Randabstand $c = 0,5 h_{ef}$ war, typische Last-Verschiebungskurven dargestellt.

Bei Versuchen mit Dübeln M8 verlaufen die Last-Verschiebungskurven für die Verankerungstiefen $h_{ef} = 48$ mm und 96 mm mit gleicher Steigung. Die Kurven der Versuche mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 128$ mm und 160 mm verlaufen steiler.

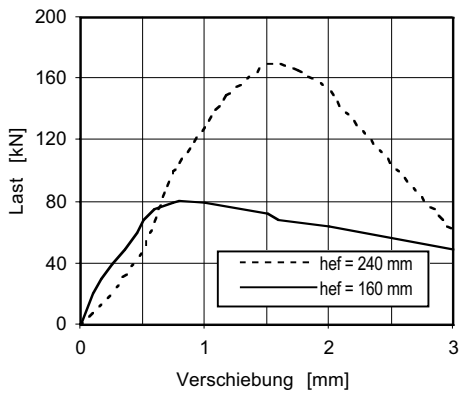
Für Versuche mit Dübeln M12 ergibt sich ein gleichmäßiges Last-Verschiebungsverhalten unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} . Versuche mit großer Verankerungstiefe h_{ef} erreichen höhere Versagenslasten N_U bei Verschiebungen v_U , die größer sind als bei Versuchen mit geringeren Verankerungstiefen h_{ef} . Mit Zunahme des Ankerstangendurchmessers d nehmen die Verschiebungen v bei der Versagenslast N_U ab.



a)



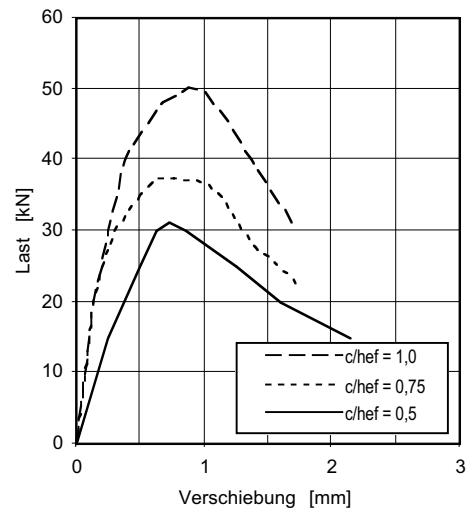
b)



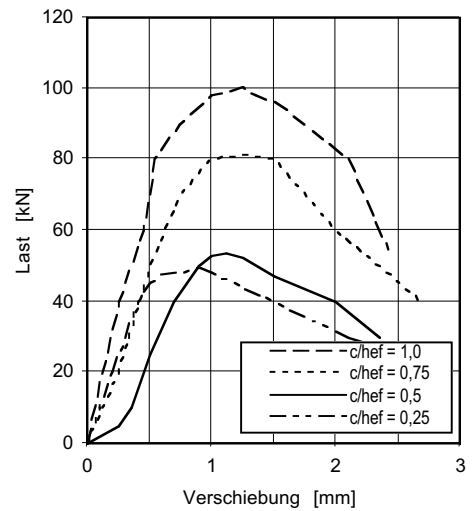
c)

Bild 4.43: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln am Bauteilrand, Verbunddübel in niederfestem Beton, Mörtel HH, $s/h_{ef} = 0,5$ (Popo-Ola, Newman (1995))

- a) M8 b) M12
c) M20



a)



b)

Bild 4.44: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln am Bauteilrand, Verbunddübeln $\varnothing 12$ mm in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

- a) $h_{ef} = 96$ mm
b) $h_{ef} = 144$ mm

In Bild 4.44 sind Last-Verschiebungskurven von Versuchen mit unterschiedlichen Verhältnissen Randabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} aufgetragen. Erwartungsgemäß wachsen die Versagenslasten N_U mit zunehmendem Achsabstand an. Die Verschiebungen v_U bei Höchstlast N_U nehmen mit zunehmendem Randabstand c ab.

4.4.4.3 Versagenslasten

In Tabelle 4.23 sind die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen mit Befestigungen nahe an einem Bauteilrand der Versuche nach Popo-Ola, Newman (1995) zusammengestellt. Die Versagensarten sind mitangegeben. Da unterschiedliche Mörtelchargen zum Einsatz kamen, ist das Versuchsdatum mitangegeben. Alle wichtigen Angaben zu den Versuchen an einem Bauteilrand sind Anhang C zu entnehmen.

Bild 4.45 zeigt die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen mit Dübeln M12. Es ist zu erkennen, daß bei Versuchen mit Dübeln mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 192$ mm und $h_{ef} = 240$ mm einzelne Versuchsreihen mittlere Versagenslasten aufweisen, die gegenüber den restlichen Versuchsreihen mit der gleichen Verankerungstiefe h_{ef} sehr hoch bzw. sehr niedrig liegen. Bei Versuchen mit Dübeln mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 192$ mm wurde bei den Randabständen $c = 0,25 h_{ef} = 48$ mm und $c = 0,5 h_{ef} = 96$ mm Mörtelcharge A, die auch bei den Versuchsreihen mit geringeren Verankerungstiefen h_{ef} größtenteils eingesetzt wurde, verwendet. Bei den Versuchsreihen mit einem Randabstand $c \geq 0,75 h_{ef} = 144$ mm wurde Mörtelcharge B verwendet. Daher können die Mittelwerte der Versuchsreihen mit Randabständen $c \geq 0,75 h_{ef} = 144$ mm zu niedrig liegen. Allerdings wurde bei den Versuchen mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 240$ mm einheitlich die Mörtelcharge B verwendet. Hier ist der gleiche Abfall der Versagenslast $N_{u,R}$ bei einem Randabstand $c \geq 0,75 h_{ef} = 180$ mm zu beobachten. Möglicherweise liegt hier ein Einfluß der Versuchsdurchführung vor.

\emptyset	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	c	c / h_{ef}	$h_{conc}^{1)}$	n	N_u	V	VERSAGEN	VERSUCHS-DATUM		
mm	mm	-----	mm	-----	mm	-----	kN	%	-----			
8	64	8	32	0,5	90	5	16,2	11,3	5 x CC	9.95		
	96	12	48	0,5	12	5	25,8	14,7	2 x CC / 3 x SP	8.95		
	128	16	64	0,5	180	5	45,7	4,4	4 x CC / 1 x SP	9.95		
	160	20	80	0,5	400	7	46,4	9,6	1 x B / 1 x SP / 5 x S	1.97		
12	48	4	36	0,75	90	5	13,4	7,9	5 x CC	9.95		
			48	1,0	90	4	15,0	2,6	4 x CC	9.95		
			60	1,25	90	3	16,3	0,3	3 x CC	9.95		
	96	8	48	120	0,5	120	4	27,7	10,1	4 x SP	8.95	
				240	5	33,2	5,1	5 x CC	10.96			
			72	120	0,75	120	4	30,4	7,7	4 x SP	8.95	
				240	5	36,7	2,8	5 x CC	10.96			
			96	1,0	120	1,0	120	4	25,7	13,6	4 x SP	8.95
					240	5	49,0	5,8	5 x CC	10.96		
	144	12	36	180	0,25	180	5	49,1	4,0	4 x CC / 1 x SP	9.95	
				72	180	0,5	180	5	56,8	9,2	1 x CC / 4 x SP	9.95
					300	5	65,7	6,6	5 x CC	10.96		
			108	0,75	220	5	78,9	3,2	3 x CC / 2 x SP	9.95		
			144	1,0	260	5	95,5	4,5	4 x CC / 1 x SP	9.95		
			180	1,25	300	4	86,9	5,5	3 x CC / 1 x S	10.96		
			216	1,5	300	3	89,5	0,3	2 x CC / 1 x S	10.96		
	192	16	48	0,25	260	4	84,2	5,2	5 x CC	9.95		
			96	0,5	260	5	104,3	6,1	5 x CC/SP	9.95		
			144	0,75	400	3	84,1	4,5	1 x CCB / 2 x S	1.97		
			192	1,0	400	3	87,2	14,4	2 x CCB / 1 x CC	1.97		
240			1,25	400	4	98,1	7,4	4 x CCB	1.97			
20	160	8	80	0,5	320	5	76,4	7,8	5 x CCB	1.97		
	240	12	120	0,5	340	3	179,4	16,2	3 x CC/SP	10.95		
	320	16	160	0,5	650	5	164,3	8,9	5 x CCB	1.97		

1) h_{conc} = Dicke des Prüfkörpers

Tabelle 4.23: Ergebnisse der Versuche mit Einzeldübeln nahe eines Bauteilrandes in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

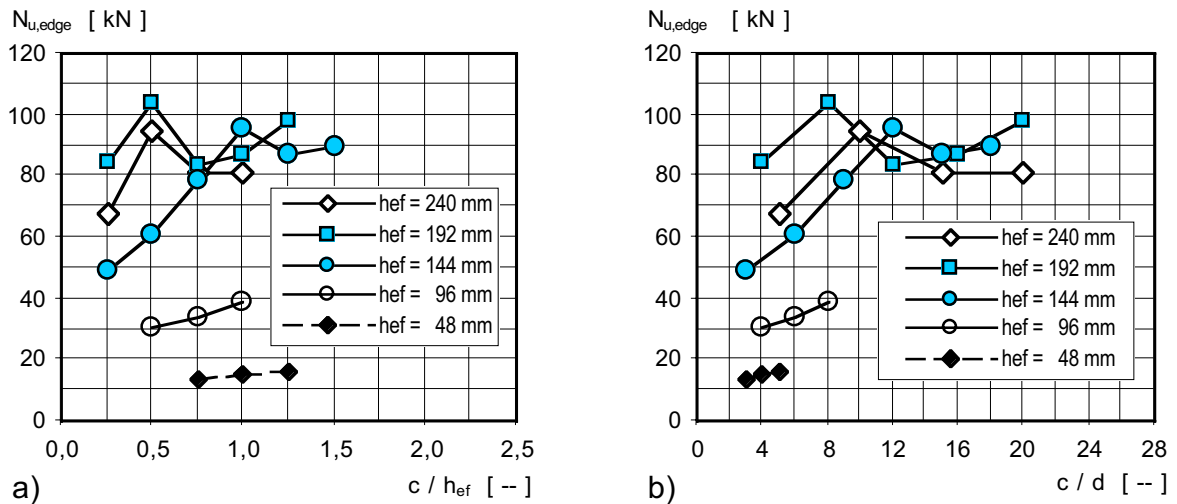


Bild 4.45: Versagenslast $N_{u,edge}$ von randnahen Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Popo-Ola, Newman (1995))

a) über c / h_{ef} b) über c / d

4.4.4.4 Einfluß des Randabstandes c

Bei den Versuchen nahe am Bauteilrand (Popo-Ola, Newman (1995)) wird das Verhältnis der zentrischen Ausziehlast des Verbunddübels am Bauteilrand zur Ausziehlast eines Verbunddübels, der frei von Randeinflüssen ist, $N_{u,edge} / N_{u,single}$ untersucht. In Bild 4.46 ist das Verhältnis $N_{u,edge} / N_{u,single}$ über dem Verhältnis Randabstand zur Verankerungstiefe c / h_{ef} bzw. Randabstand zum Ankerstangendurchmesser c / d aufgetragen.

Als Versagenslasten des Einzeldübeln $N_{u,single}$ wurden die Mittelwerte der Versuchsreihen von Lehr, Eligehausen (1998/1) eingesetzt. Bei den Versuchsreihen mit Dübeln M12 und der Verankerungstiefe $h_{ef} = 144 \text{ mm}$ wurde als Last des Einzeldübeln $N_{u,single}$ der Mittelwert der Versuche eingesetzt, bei denen bei zunehmendem Randabstand keine Laststeigerung mehr zu erkennen war. Das waren die Versuche mit Randabständen $c \geq 1,0 h_{ef} = 144 \text{ mm}$ (vgl. Bild 4.45).

In Bild 4.46 ist zu erkennen, daß bei einem Randabstand $c = 1,0 h_{ef}$ bzw. $c \sim 9 d$ kein Einfluß des Bauteilrandes auf die Versagenslast N_U zu erwarten ist. Mit welcher Abnahme der Versagenslast N_U bei geringen Randabständen c und großen Verankerungstiefen h_{ef} zu rechnen ist, läßt sich aus den Versuchsreihen mit Dübeln M12 und den Verankerungstiefen $h_{ef} = 192 \text{ mm}$ und $h_{ef} = 240 \text{ mm}$ nicht ablesen.

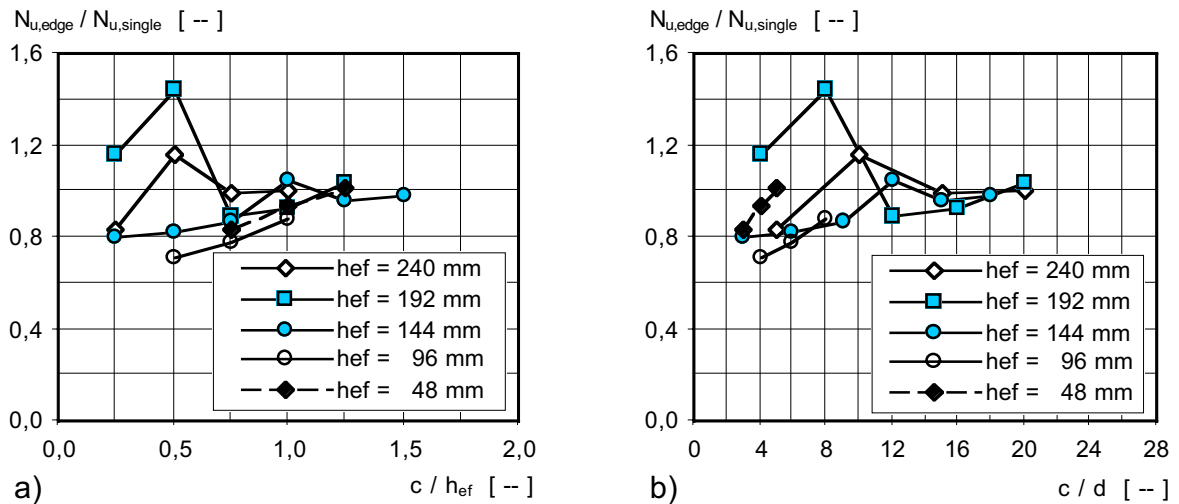


Bild 4.46: Versagenslasten von randnahen Verbunddübeln zur Versagenslast des Einzeldübeln in der Bauteilfläche $N_{u,edge} / N_{u,single}$, Dübel M12, Mörtel HH, $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Popo-Ola, Newman (1995))

a) über c / h_{ef} b) über c / d

4.4.5 Einzelbefestigungen in der Bauteilecke

4.4.5.1 Versagensarten

Bei den Versuchen mit Verbunddübeln in der Bauteilecke (Popo-Ola, Newman (1995)) trat in der Regel muschelförmiges Betonversagen zu beiden Bauteilrändern hin auf. In einem Fall trat Spalten auf. Bei den Versuchen mit Dübeln M12 mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 240 \text{ mm}$ wurde die Stahltragfähigkeit der Ankerstange erreicht.

4.4.5.2 Last-Verschiebungsverhalten

In Bild 4.47 sind einige typische Last-Verschiebungskurven von zentrischen Ausziehversuchen in der Bauteilecke aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß die Höchstlasten N_U bei größeren Verschiebungen v_U als bei den Versuchen an einem Bauteilrand (vgl. Bild 4.37) auftraten. Mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} sowie mit zunehmendem Randabstand c steigen die Versagenslasten N_U erwartungsgemäß an.

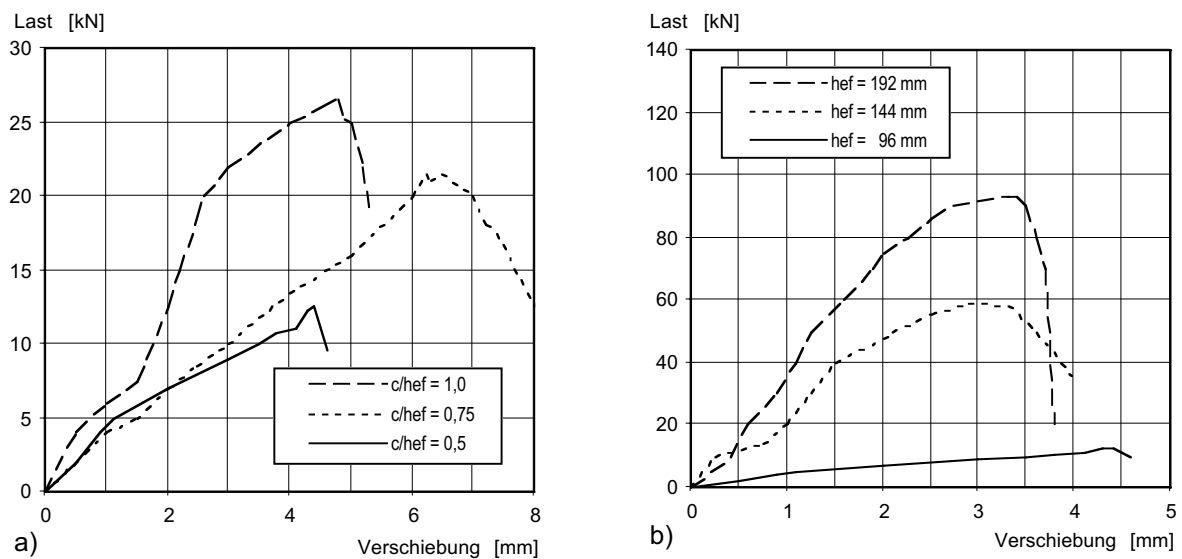


Bild 4.47: Last-Verschiebungskurven von zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln M12 in der Bauteilecke, Mörtel HH, $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Popo-Ola, Newman (1995))

a) $h_{ef} = 96 \text{ mm}$ b) $c / h_{ef} = 0,5$

4.4.5.3 Versagenslasten

Tabelle 4.24 enthält die Versagenslasten der Versuche mit Dübeln M12 in der Bauteilecke von Popo-Ola, Newman (1995). In Bild 4.48 sind die Versagenslasten von Versuchen an zwei Bauteilrändern aufgetragen. Die Einzelwerte zu den Versuchen sind in Anhang C zusammengestellt.

h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	c ¹⁾	c / h_{ef}	h_{conc} ²⁾	n	N_u	V	VERSAGEN	VERSUCHS-DATUM
mm	-----	mm	-----	mm	-----	kN	%	-----	
96	8	48	0,5	120	4	13,0	20,6	4 x CC	8.95
		72	0,75	120	3	24,1	12,0	3 x CC	8.95
		96	1,0	120	4	25,1	12,3	3 x CC / 1 x CC/SP	8.95
144	12	72	0,5	180	4	59,4	8,1	4 x CC	9.95
192	16	96	0,5	260	4	89,0	4,5	4 x CC	9.95
240	20	120	0,5	340	4	111,7	3,9	4 x S	10.95

1) $c_1 = c_2$

2) h_{conc} = Dicke des Prüfkörpers

Tabelle 4.24: Ergebnisse der Versuche mit Einzeldübeln in der Bauteilecke, Mörtel HH, $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Popo-Ola, Newman (1995))

Die Versuche mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 20 d = 240 \text{ mm}$ werden in die weiteren Auswertungen nicht miteinbezogen, da wegen zu geringer Stahlfestigkeit die Ankerstangen versagten.

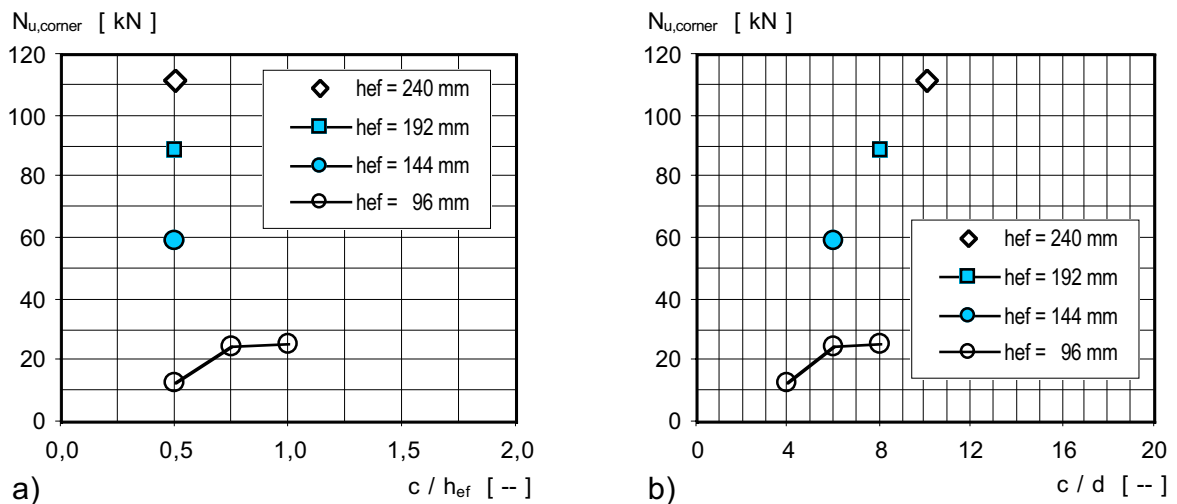


Bild 4.48: Mittelwerte der Versagenslasten N_u von zentrischen Zugversuchen mit Einzeldübeln M12 in der Bauteildecke, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Popo-Ola, Newman (1995))

a) über dem Verhältnis c / h_{ef} b) über dem Verhältnis c / d

4.4.5.4 Einfluß des Eckabstandes c

Für die von Popo-Ola, Newman (1995) durchgeführten Versuche mit Verbunddübeln M 12 an der Bauteilecke ist in Bild 4.49 das Verhältnis der Versagenslast eines am Bauteilrand gesetzten Dübels zu der Versagenslast des in der Bauteilfläche gesetzten Dübels $N_{u,corner} / N_{u,single}$ über dem Verhältnis Randabstand zu Verankerungstiefe c / h_{ef} bzw. dem Verhältnis Randabstand zu Dübelndurchmesser c / d aufgetragen. Für die Versagenslasten der Dübel in der Fläche $N_{u,single}$ wurden die gleichen Werte wie bei der Auswertung der Versuche an einem Bauteilrand herangezogen. Die Mittelwerte der Versuchsreihen mit Verbunddübeln M12 mit der Verankerungstiefe $h_{ef} = 96 \text{ mm}$ an einem Bauteilrand sind in Bild 4.49 zum Vergleich miteingetragen.

Es liegt nur eine beschränkte Anzahl von Versuchen mit Verbunddübeln an der Bauteilecke vor. Daher kann der Einfluß des Eckabstandes nur ansatzweise gezeigt werden. Bild 4.49 zeigt, daß für Verbunddübel M12 mit einer Verankerungstiefe $h_{ef} = 96 \text{ mm}$ bei $c / h_{ef} = 0,75$ bzw. $c / d \geq 6$ der Einfluß von zwei Bauteilrändern gleich ist

wie der Einfluß eines Bauteilrandes. Es wird vermutet, daß nur bei sehr kleinen Randabständen ein zweiter Randabstand einen Einfluß hat. Betrachtet man alle Eckversuche gemeinsam, scheint bei einem Randabstand $c \sim 9 d$ im Mittel die volle Versagenslast N_u eines Einzeldübels ohne Randeinfluß erreicht zu sein.

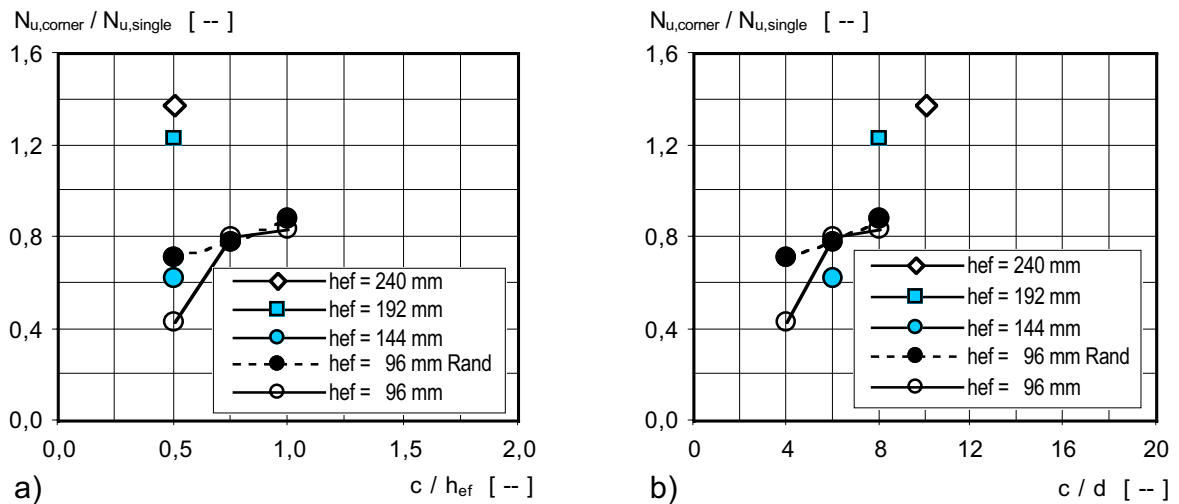


Bild 4.49: Verhältnis der Versagenslasten von Verbunddübeln an der Bauteilecke zur Versagenslast von Verbunddübeln in der Fläche $N_{u,corner} / N_{u,single}$, Dübel M12, $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$ (Popo-Ola, Newman (1995))
a) über dem Verhältnis c / h_{ef} b) über dem Verhältnis c / d

4.5 Zusammenfassung der experimentellen Untersuchungen

Es wurden experimentelle Untersuchungen mit Verbunddübelgruppen und mit Verbunddübeln, die an einem Bauteilrand bzw. zwei Bauteilrändern gesetzt waren, durchgeführt. Es stehen insgesamt für die weitere Auswertung zur Verfügung:

- 319 Versuche mit Vielfachbefestigungen
- 142 Versuche an einem Bauteilrand
- 23 Versuche an der Bauteilecke

Zur Beurteilung des Achs- und Randeinflusses sind Kenntnisse über das Tragverhalten von Einzeldübeln notwendig. An Versuchen mit vergleichbaren Einzeldübeln stehen 280 durchgeführte Versuche zur Verfügung.

Alle hier zusammengefaßten Versuche sind im Anhang zusammengestellt. Weiterführende Angaben finden sich in den dort angegebenen Quellen.

Die Auswertung der experimentellen Untersuchungen hat ergeben:

- Der Einfluß des Ringspalts ρ_i ist im Bereich der hier vorgestellten Untersuchungen vernachlässigbar.
- Mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} bleiben bei den hier untersuchten Produkten die Verbundfestigkeiten τ in der Regel konstant. Mit zunehmendem Durchmesser d nimmt die Verbundfestigkeiten τ ab.
- Der Einfluß der Betonfestigkeit f_{CC} ist sowohl bei Untersuchungen an Einzeldübeln sowie auch bei Untersuchungen an Gruppenbefestigungen bei den untersuchten Produkten unterschiedlich.
- Bei Gruppenbefestigungen hängt die Bruchlast N_u nicht vom Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} ab. Sie wird besser durch das Verhältnis Achsabstand zu Dübel Durchmesser s / d beschrieben.
- Der kritische Achsabstand läßt sich besser in Abhängigkeit vom Ankerstangendurchmesser d als von der Verankerungstiefe h_{ef} finden. Beim Achsabstand $s_{cr} = 16 d$ erreicht die Versagenslast $N_{u,group}$ bei den verwendeten Verbundmörteln nahezu die vierfache Versagenslast des Einzeldübels $N_{u,single}$.
- Bei Befestigungen am Bauteilrand ist $s_{cr} = 8 d$ ein geeigneter Ansatz, bei dem die Versagenslast N_u nicht mehr vom Bauteilrand beeinflusst wird.

Ein Vergleich der experimentellen Untersuchungen mit den FE-Rechnungen zeigt:

- Bei Gruppenverankerungen mit Verankerungstiefen $h_{ef} \sim 12 d$ tritt in den numerischen Untersuchungen die Versagensart FPO (Fals Poullout Failure = falsches Herausziehen) auf. Dieses Versagen kann in den experimentellen Untersuchungen nicht festgestellt werden, da der geschädigte Teil des Ankergrundes nach dem Versuch nicht sichtbar ist. Allerdings weist das Versagen von Gruppenbefestigungen mit großen Verankerungstiefen h_{ef} und sehr geringem Achsabstand s auf diese Versagensart hin. Bei diesen Befestigungen wird der Beton zwischen den Dübeln teilweise bis zum Dübelende mit heraus gelöst.

- Die Verschiebungen der experimentellen Untersuchungen sind drei mal so groß wie die in den numerischen Untersuchungen ermittelten.
- Bei den Versagenslasten kann eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung zwischen numerischen und experimentellen Untersuchungen beobachtet werden. Vor allem bei größeren Verankerungstiefen h_{ef} , bei denen in der Regel hauptsächlich Verbundversagen auftritt, stimmen die Versagenslasten der numerischen und der experimentellen Untersuchungen gut überein.
- Die Abhängigkeit der Verbundfestigkeit τ von der Dübelgeometrie ist bei den FE-Rechnungen wie auch bei den experimentellen Untersuchungen festzustellen. Mit größer werdender Mantelfläche des Dübels fällt die Verbundfestigkeit τ ab.
- Das Erreichen der vollen Traglast einer Vierfachbefestigung mit Verbunddübeln ergibt sich bei numerischen wie bei experimentellen Untersuchungen bei einem Achsabstand $16d \leq s \leq 20d$.

5 VERGLEICH DER GEMESSENEN HÖCHSTLASTEN MIT BISHERIGEN BEMESSUNGSMODELLEN

5.1 Allgemeines

In Abschnitt 2.5 sind verschiedene Berechnungsmodelle zur Ermittlung der Versagenslasten von Verbunddübelgruppen und von Einzeldübeln nahe an einem Bauteilrand vorgestellt. Im folgenden soll die Genauigkeit dieser Modelle durch Vergleich mit den Versagenslasten N_u der in Abschnitt 5 erläuterten Versuche sowie einiger Versuche aus der Literatur überprüft werden.

Es werden folgende in Abschnitt 2.5 beschriebenen Bemessungsmodelle zur Überprüfung herangezogen:

- Rehm, Eligehausen, Mallée (1988)
- CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995))
- SIA 179 (1998)

5.2 Rehm, Eligehausen, Mallée

Bei Rehm, Eligehausen Mallée, (1988) wird zur Berechnung der Versagenslast N_u als kritischen Achsabstand $s_{cr} = 2 h_{ef}$ gewählt. Bei der Ermittlung dieses Achsabstandes s_{cr} wurden hauptsächlich die Versuche der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), ausgewertet. In Bild 5.1 sind die berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$ den Versagenslasten aus den experimentellen Untersuchungen $N_{u,test}$ von Gruppenbefestigungen gegenübergestellt. Bild 5.2 zeigt die Übereinstimmung von Versuch und Rechnung für die Befestigungen am Bauteilrand und Bild 5.3 für Zweifachbefestigungen. Bei den in Bild 5.1, Bild 5.2 und Bild 5.3 ausgewerteten Versuchen handelt es sich um handelsübliche Verbunddübel des Glaspatronensystems, bei denen die Verankerungstiefe $h_{ef} = 8 d$ bis $12 d$ beträgt.

In Bild 5.4, Bild 5.5, Bild 5.6, Bild 5.7 und Bild 5.8 sind Versuche mit Verbunddübeln des Injektionstyps ausgewertet. Es sind die Versagenslasten $N_{u,test}$ von Vierergruppen, Zweiergruppen und Befestigungen am Bauteilrand den berechneten Versagenslasten gegenübergestellt.

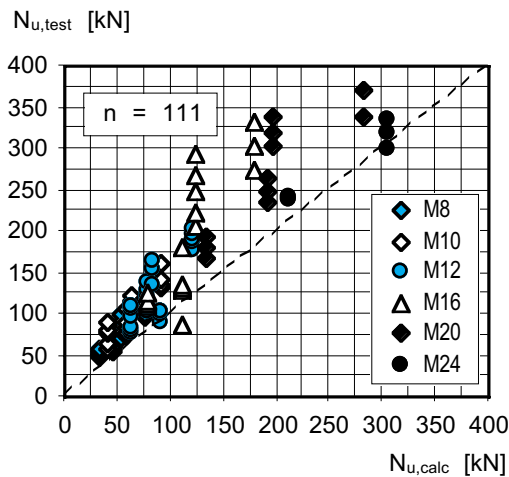


Bild 5.1: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974)

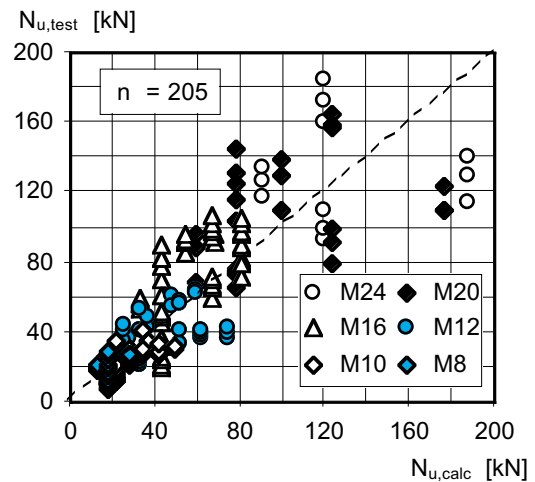


Bild 5.2: Versagenslasten von Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974)

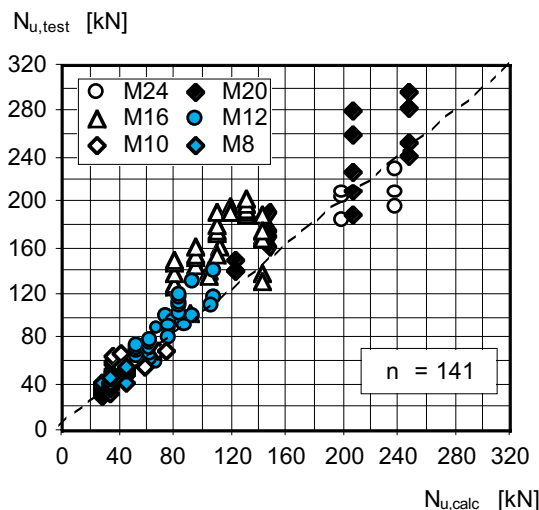


Bild 5.3: Versagenslasten von Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974)

In Tabelle 5.1 ist das Verhältnis der Versagenslasten im Versuch zur berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc}$ ausgewertet. Es ist zu erkennen, daß für die neuen experimentellen Untersuchungen von Lehr, Eligehausen (1997/1), Hilt (1996) und Wagner (1998) mit Mehrfachbefestigungen eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch besteht. Für die Versuche mit Glaspatronendübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Sell (1983)) werden die Versagenslasten von Vierfachbefestigungen teilweise stark überschätzt.

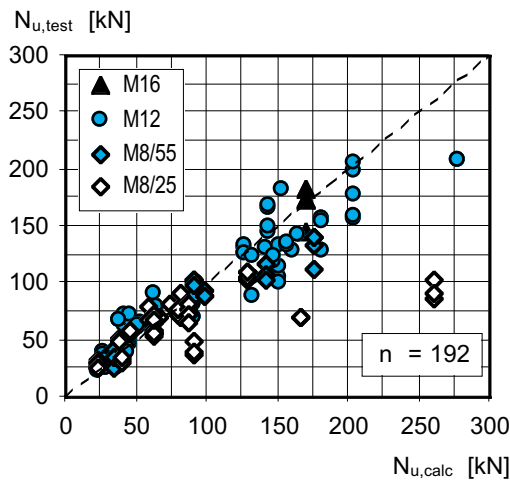


Bild 5.4: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1998/4) und Wagner (1998)

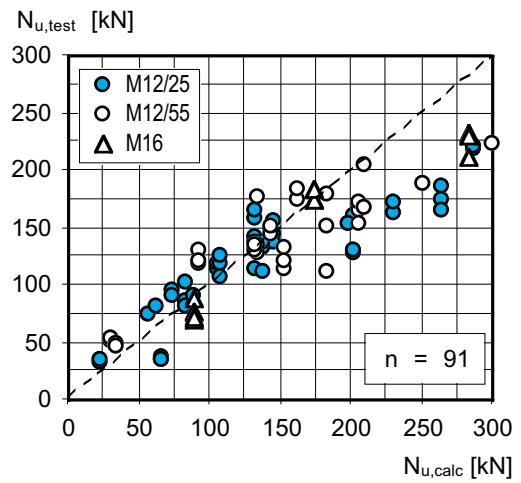


Bild 5.5: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)

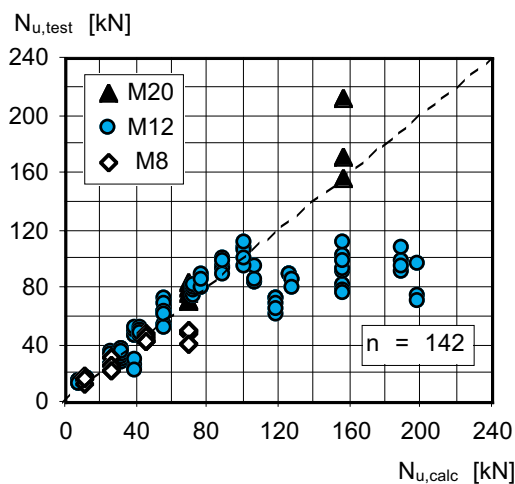


Bild 5.6: Versagenslasten von Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Popo-Ola, Newman (1995)

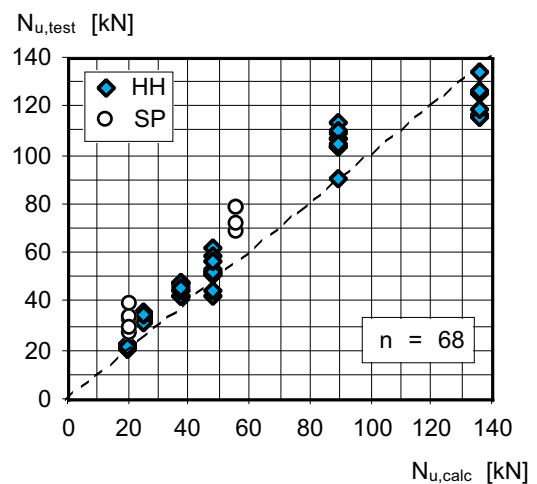


Bild 5.7: Versagenslasten von Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von HEG (1993) und ITW (1988)

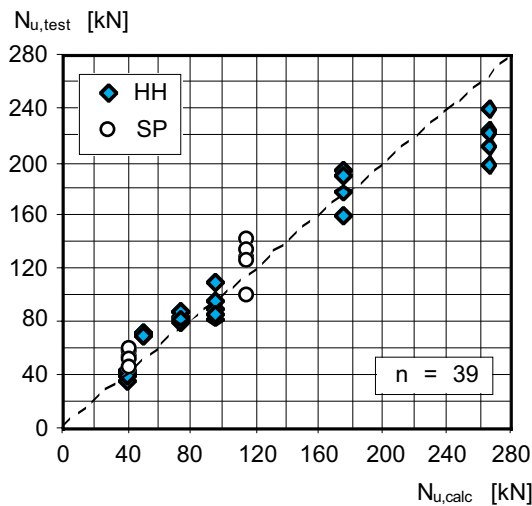


Bild 5.8: Versagenslasten von Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von HEG (1993) und ITW (1988)

Bei Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) wird darauf hingewiesen, daß für Verankerungstiefen $h_{ef} > 9d$ die Bruchlast N_u nur noch proportional zur Verankerungstiefe h_{ef} zunimmt. Diese Begrenzung wurde nicht eingehalten. vielmehr wurde die Bruchlast des Einzeldübeln unabhängig von der Verankerungstiefe h_{ef} nach Gl. (2.2) berechnet. Das bedeutet, daß bei einem großen Teil der in Tabelle 5.1 aufgeführten Versuche die Versagenslasten der Einzeldübel überbewertet werden.

VERSUCHE	4 - fach			2 - fach			Rand		
	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n
HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))	0,99	26,2	192	-----	-----	-----	-----	-----	-----
HH (Popo-Ola, Newman (1995))	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,99	33,8	129
HH (HEG (1993))	----	-----	-----	1,09	18,7	29	1,14	13,0	58
SP (Hilt (1996), Wagner (1998))	0,99	29,2	91	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SP (ITW (1988))	-----	-----	-----	1,22	14,2	10	1,50	15,1	10
Glaspatronendübel (Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Sell (1983))	1,53	19,2	111	1,29	17,6	141	1,07	37,0	205
alle Versuche	1,14	32,1	394	1,25	14,5	180	1,06	33,5	402

Tabelle 5.1: Mittelwerte $N_{u,test} / N_{u,calc}$ bei Berechnung von Versagenslasten nach Eligehausen, Mallée, Rehm (1997)

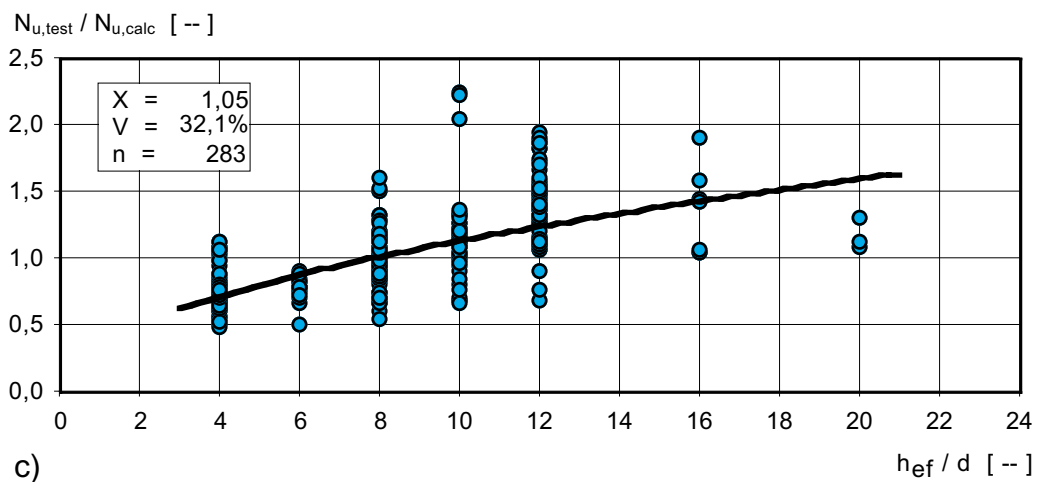
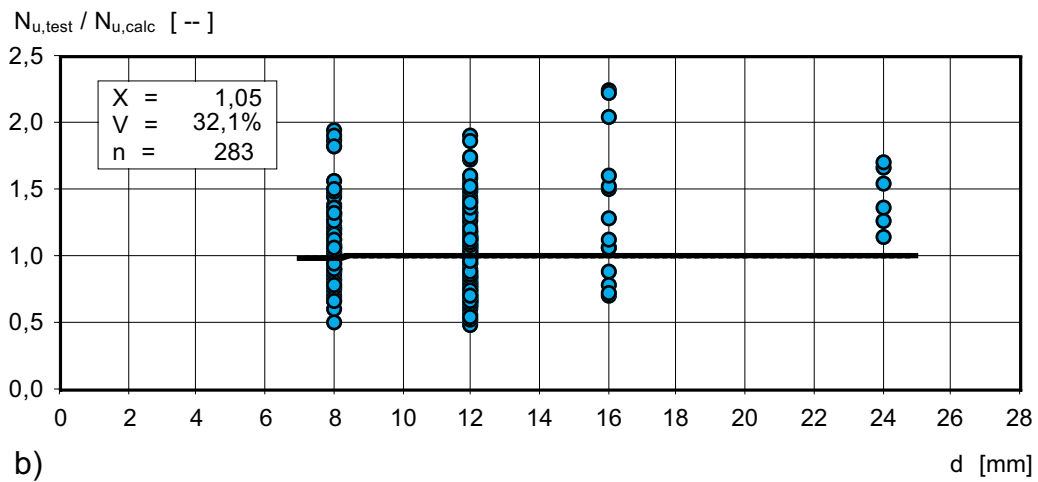
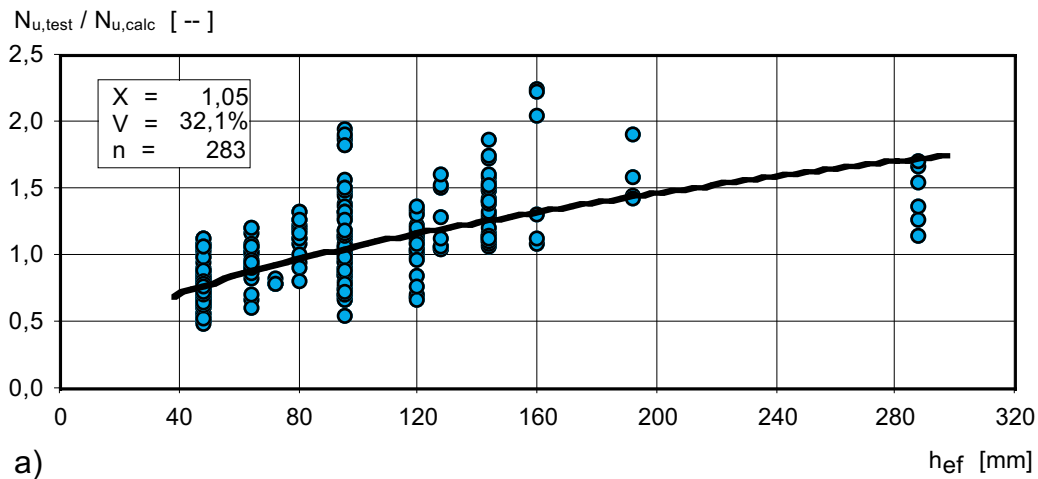


Bild 5.9: Verhältnis der Versagenslast aus Versuch $N_{u,test}$ zur nach Rehm, Eligehausen, Mallée, (1988) berechneten Versagenslast $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998), Hilt (1996)

a) über h_{ef} b) über d c) über h_{ef} / d

Wertet man die Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1), Wagner (1998), Hilt (1996) und Opferkuch (2000) gemeinsam aus, ergibt sich für diese 283 Versuche der Mittelwert für das Verhältnis $N_{u,\text{test}} / N_{u,\text{calc}} = 1,05$ bei einem Variationskoeffizienten $V = 32,1 \%$. In Bild 5.9 ist das Verhältnis der in Versuchen gemessenen Versagenslasten zu den berechneten Versagenslasten $N_{u,\text{test}} / N_{u,\text{calc}}$ über der Verankerungstiefe h_{ef} , dem Durchmesser d und dem Verhältnis Verankerungstiefe zu Durchmesser h_{ef} / d

Aus Bild 5.9a ist zu erkennen, daß bei großen Verankerungstiefen h_{ef} die Versagenslasten im Versuch durch die Berechnung unterschätzt werden. Eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch ergibt sich für Verankerungstiefen $80 \text{ mm} \leq h_{\text{ef}} \leq 150 \text{ mm}$. Bild 5.9b zeigt, daß kein wesentlicher Einfluß des Ankerstangendurchmessers d vorliegt. In Bild 5.9c wird deutlich, daß für Verhältnisse $8 \leq h_{\text{ef}} / d \leq 12$ eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch vorliegt. In diesem Bereich lagen auch die experimentellen Untersuchungen der Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), die wesentlich zu dem bei Eligehausen, Mallée, Rehm (1997) dargestellten Modell beigetragen haben.

5.3 CC-Methode

Die CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995)) ist geeignet, die Höchstlasten N_u von Metalledübeln bei Betonversagen zu berechnen. Für Verbunddübel muß eine Begrenzung durch die Herausziehlast $N_{u,\text{bond}}$ erfolgen.

In dem Bemühen, ein einheitliches Bemessungsverfahren für Metallspreizdübel und Verbunddübel benützen zu können, wird das CC-Verfahren auf Verbunddübel angewendet (siehe Abschnitt 2.5.3). In Bild 5.10, Bild 5.11 und Bild 5.12 sind die experimentell ermittelten Versagenslasten $N_{u,\text{test}}$ den nach Fuchs, Eligehausen (1995) berechneten Versagenslasten $N_{u,\text{calc}}$ gegenüber gestellt. Dabei wird die Begrenzung der Betonbruchlast $N_{u,\text{conc}}$ durch die Herausziehlast $N_{u,\text{bond}}$ berücksichtigt. Es sind Versuche mit Gruppenbefestigungen (4-fach und 2-fach) und Befestigungen am Bauteilrand mit dem selben Verbundmaterial jeweils in einem Diagramm zusammengefaßt. Bei den Versuchen der Höheren Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und denen von Sell (1974) mit Glaspatronendübeln zeigt sich dabei außer bei zahlreichen

Versuchen mit Zweifachbefestigungen eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch. Bei den experimentellen Untersuchungen mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1), Wagner (1998), Popo-Ola, Newman (1995), HEG (1993)) und mit Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/1) und Hilt (1996), ITW (1988)) werden jedoch die Versagenslasten aus den Versuchen $N_{u,test}$ durch die Berechnung mittels CC-Verfahren überschätzt.

Die Mittelwerte des Verhältnisses $N_{u,test} / N_{u,calc}$ der Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), der Versuche von Sell (1974), Lehr, Eligehausen (1997/1), Wagner (1998), Popo-Ola, Newman (1995), HEG (1993), Hilt (1996) und ITW (1988) bei Nachrechnung mit dem CC-Verfahren nach Fuchs, Eligehausen (1995) sind in Tabelle 5.2 zusammengestellt. Die Variationskoeffizienten sind mit angegeben. Es ergibt sich ein Mittelwert $N_{u,test} / N_{u,calc} = 0,93$ bei einem Variationskoeffizienten $V = 24,3\%$ bei gemeinsamer Auswertung aller Versuche.

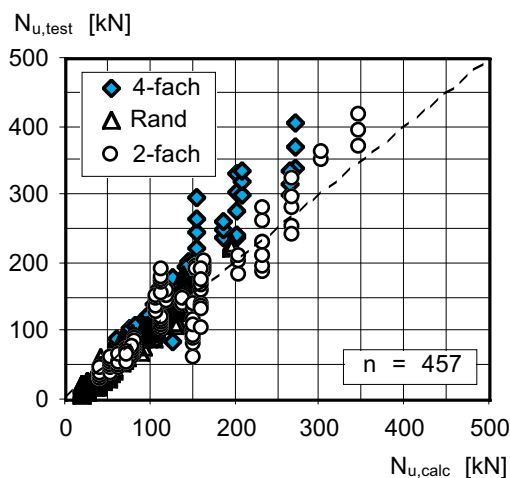


Bild 5.10: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Dübeln, Zweifachbefestigungen und Einzelbefestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Fuchs, Eligehausen, (1995) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974) mit Glaspatronendübel

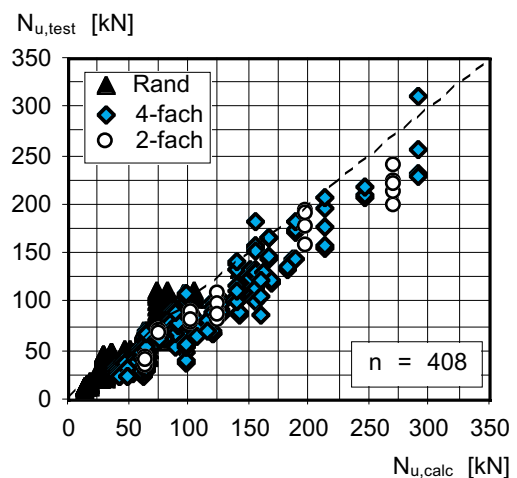


Bild 5.11: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Dübeln, Zweifachbefestigungen und Einzelbefestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Fuchs, Eligehausen, (1995) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1), Wagner (1998), Popo-Ola, Newman (1995), HEG (1993) mit Injektionsdübeln, Mörtel HH

VERSUCHSART	4-fach			2-fach			Rand			Alle Versuche		
	MW [--]	V [%]	n	MW [--]	V [%]	n	MW [--]	V [%]	n	MW [--]	V [%]	n
Glaspatronendübel	1,20	17,9	111	1,00	20,7	141	0,92	23,0	205	1,01	23,5	457
Mörtel HH	0,78	24,0	192	0,82	10,9	29	0,99	18,3	187	0,88	22,9	408
Mörtel SP	0,80	19,9	91	0,85	12,9	10	0,91	19,0	10	0,81	19,5	111
alle	0,90	28,8	394	0,96	20,8	180	0,95	21,0	402	0,93	24,3	976

Tabelle 5.2: Verhältnis $N_{u,test} / N_{u,calc}$, Berechnung der Versagenslasten für Verbunddübelgruppen und Befestigungen am Rand nach Gl. (2.5)

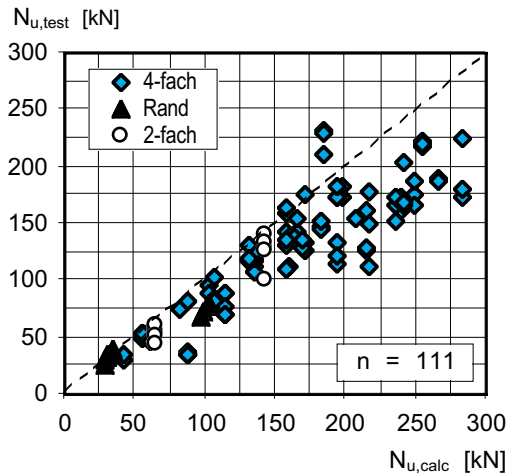


Bild 5.12: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Dübeln, Zweifachbefestigungen und Einzelbefestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Fuchs, Eligehausen, (1995) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1) und Hilt (1996), ITW (1988) mit Injektionsdübeln, Mörtel SP

In Bild 5.13 ist das Verhältnis der im Versuch mit quadratischen Vierfachbefestigungen gemessenen Versagenslasten zu den nach der CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995)) berechneten Versagenslasten $N_{u,test} / N_{u,calc}$ über der Verankerungstiefe h_{ef} , dem Dübelndurchmesser d und dem Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} aufgetragen. Bild 5.13a zeigt, daß mit zunehmender Verankerungstiefe h_{ef} und zunehmendem Dübelndurchmesser d das Verhältnis $N_{u,test} / N_{u,calc}$ zunimmt.

Die nach der CC-Methode berechneten Buchlasten $N_{u,calc}$ sind im Mittel höher als die Versuchswerte. Dies

liegt hauptsächlich daran, daß die CC-Methode die Tragfähigkeit der Verbund-einzeldübel überschätzt. Dies ist aus Bild 5.14 zu erkennen. Nach der CC-Methode steigt nämlich die Betonausbruchlast $N_{u,c}$ proportional zu $h_{ef}^{1,5}$ an, während sie nach den Versuchen nur mit h_{ef} ansteigt.

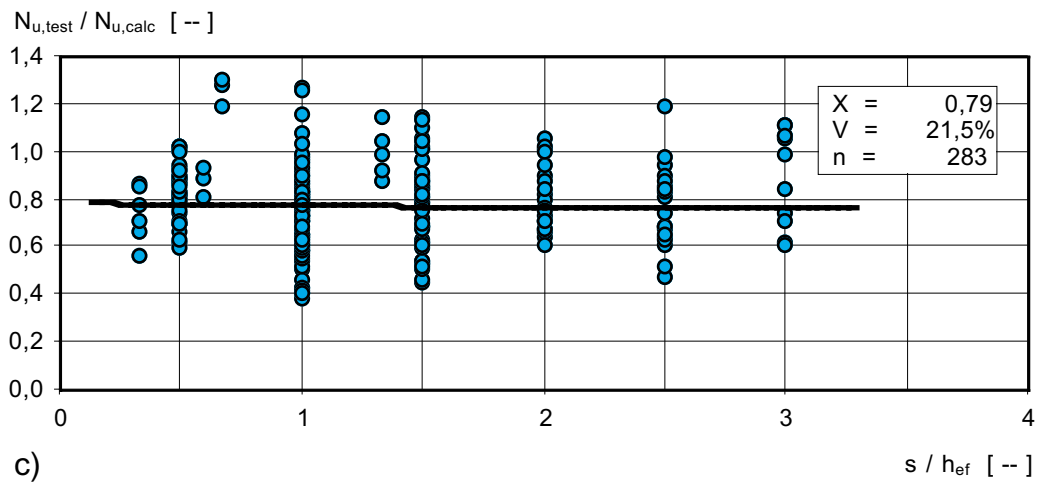
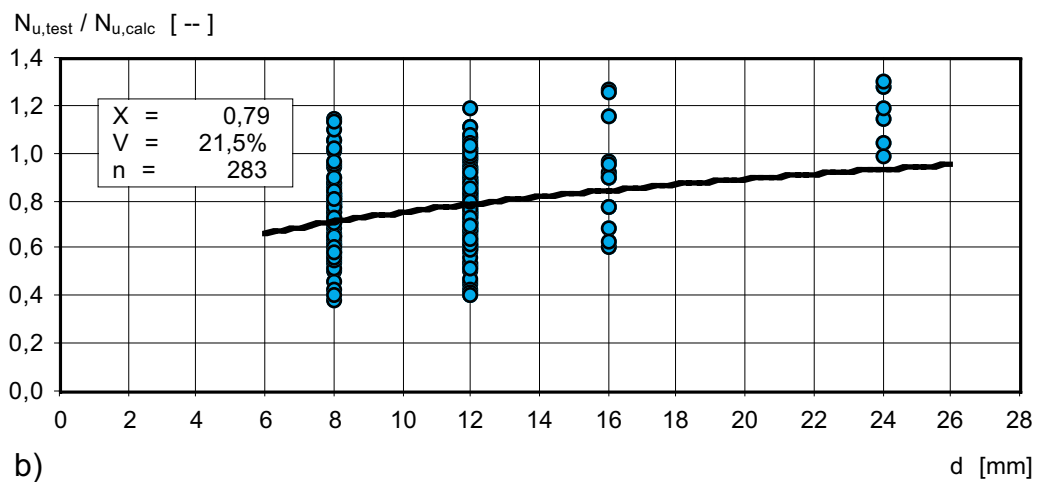
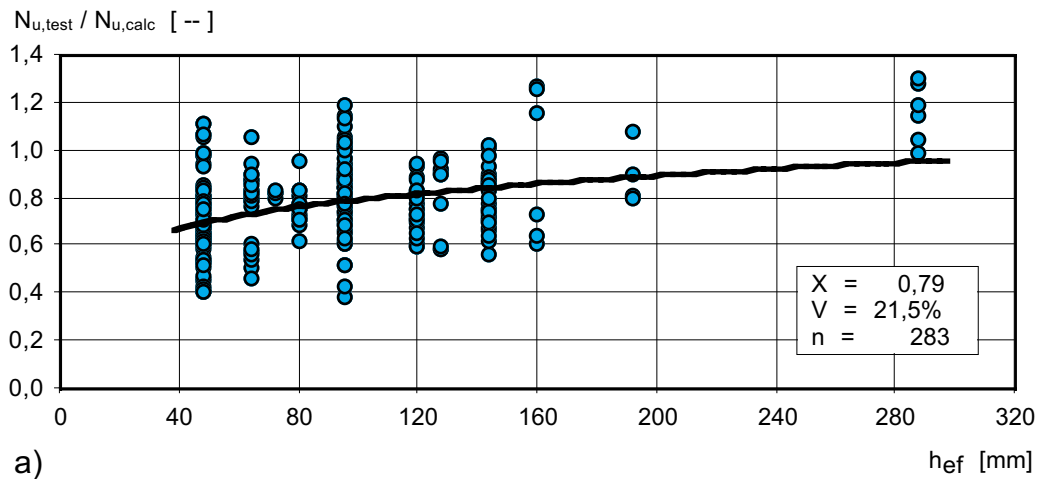


Bild 5.13: Verhältnis der Versagenslast aus Versuch $N_{u,test}$ zur nach Fuchs, Elgehausen (1995) berechneten Versagenslast $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998/4), Wagner (1998), Hilt (1996)

a) über h_{ef}

b) über d

c) über s / h_{ef}

Die Versagenslast N_u von Verbunddübeln hängt hauptsächlich von der Verbundfestigkeit ab. Die CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995)) berücksichtigt jedoch im wesentlichen die Versagensart „Betonausbruch“. Daher ist die CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995)) nicht geeignet, die Ausziehlasten von Befestigungen mit Verbunddübeln zu berechnen.

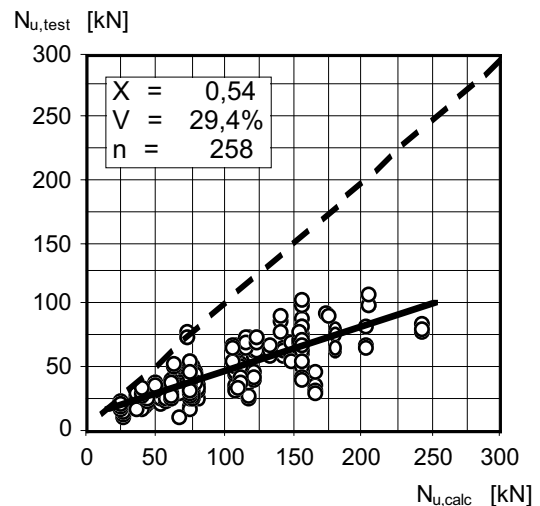


Bild 5.14: Versagenslasten von Einzelbefestigungen im Versuch $N_{u,test}$ über den nach Fuchs, Eligehausen, (1995) berechneten Betonausbruchlasten $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1), (1997/3)

5.4

SIA 179

In Bild 5.15, Bild 5.16, Bild 5.17, Bild 5.18, Bild 5.19 und Bild 5.20 sind die berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$ den Versagenslasten aus den experimentellen Untersuchungen $N_{u,test}$ von Gruppen- und Randbefestigungen gegenübergestellt. In Bild 5.15, Bild 5.16 und Bild 5.17 sind Versuche mit Glaspatronendübeln ausgewertet. In den übrigen Diagrammen sind Versuche mit Injektionsdübeln aufgetragen.

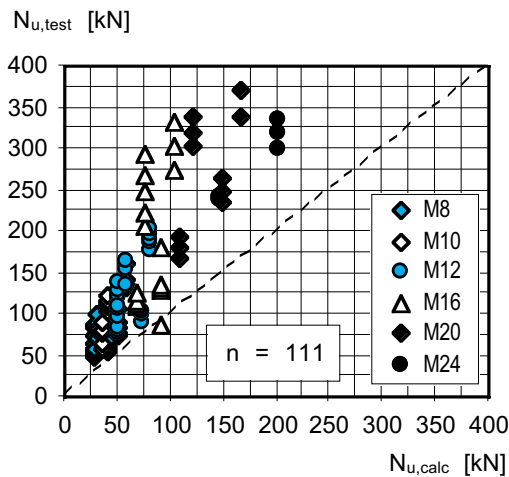


Bild 5.15: Versagenslasten von Gruppenbefestigungen im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974)

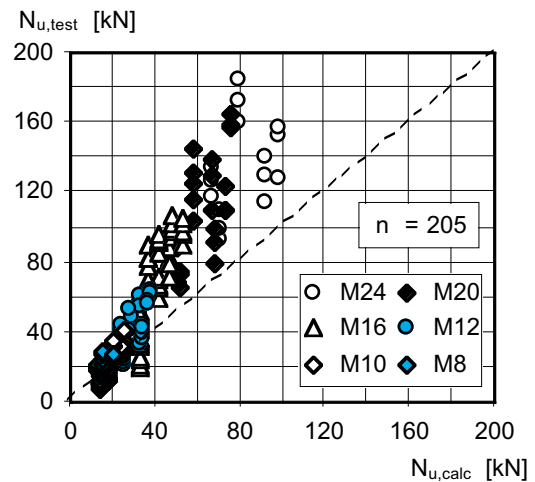


Bild 5.16: Versagenslasten von Befestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974)

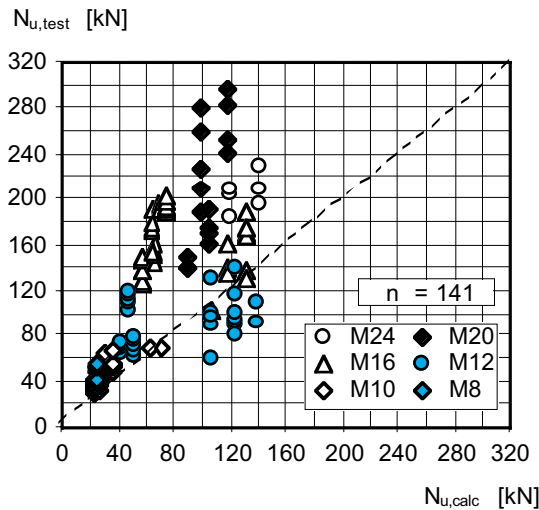


Bild 5.17: Versagenslasten von Zweifachbefestigungen im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche der Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2) und Versuche von Sell (1974)

In Tabelle 5.3 sind die Verhältniswerte der Versagenslasten im Versuch zur berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc}$ zusammengestellt. Es ist zu erkennen, daß es sich bei dem Bemessungsmodell nach SIA 179 um ein eher konservatives Modell handelt, durch das die Versagenslasten N_u von Verbunddübeln deutlich unterschätzt werden. Dies liegt hauptsächlich an der niedrig angesetzten rechnerischen Verbundfestigkeiten τ_u . Diese sind in Bild 5.22 in Abhängigkeit vom Ankerstangendurchmesser d anzusetzenden Verbundfestigkeiten τ für Patronendübel und Injektionsdübel in niederfestem Beton aufgetragen.

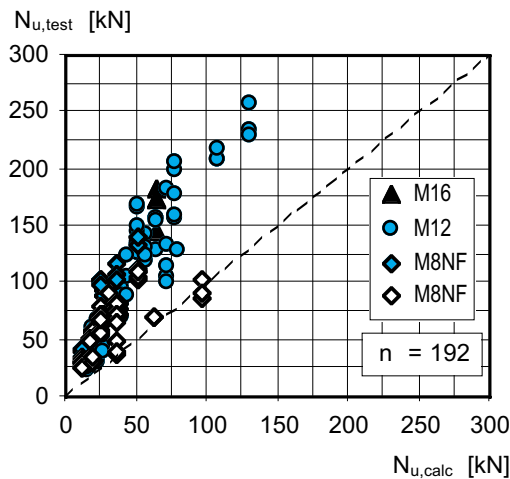


Bild 5.18: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1) und Wagner (1998)

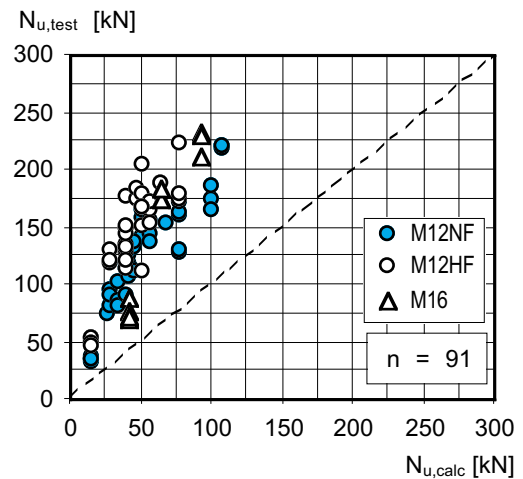


Bild 5.19: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Hilt (1996) und Wagner (1998)

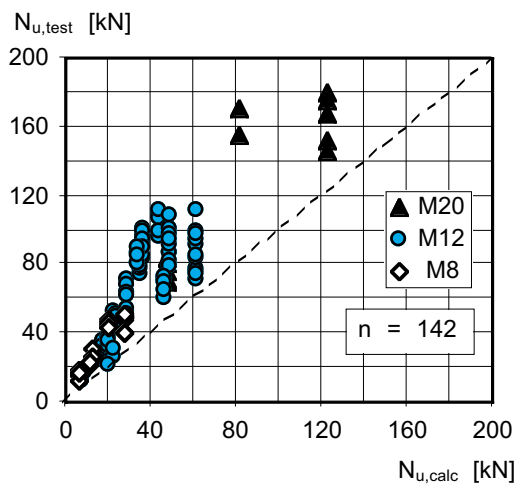


Bild 5.20: Versagenslasten von Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Popo-Ola, Newman (1995)

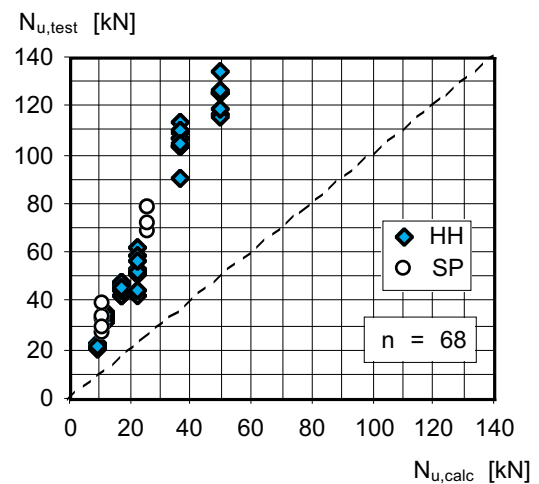


Bild 5.21: Versagenslasten von Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von HEG (1993) und ITW (1988)

Von Sell (1973) wird für Glaspatronendübel, die schlagend drehend einvibriert werden, eine Verbundfestigkeit zwischen Bohrlochwand und Verbundmörtel $\tau_u > 8 \text{ N/mm}^2$ angegeben. Von Rehm, Eligehausen, Mallee (1988) wird als Verbundfestigkeit $\tau_u \sim 12 \text{ N/mm}^2$ angegeben. Bei dem bei Lehr, Eligehausen (1998/4),

Wagner (1998) und Popo-Ola, Newman (1995) verwendeten Mörtel HH beträgt die Verbundfestigkeit im Mittel $\tau_u \sim 14,2 \text{ N/mm}^2$, bei dem bei Hilt (1996) und Wagner (1998) verwendeten Mörtel SP beträgt die Verbundfestigkeit im Mittel $\tau_u \sim 15,5 \text{ N/mm}^2$. Somit liegen die tatsächlich vorhandenen Verbundfestigkeiten τ_u mehr als doppelt so hoch als nach SIA 179 (1998) rechnerisch anzusetzen ist.

VERSUCHE	4 - fach			2 - fach			Rand		
	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n
HH (Lehr, Eligehausen (1998/4) Wagner (1998))	2,36	26,0	192	-----	-----	-----	-----	-----	-----
HH (Popo-Ola, Newman (1995))	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1,94	22,0	129
HH (HEG (1993))	-----	-----	-----	2,88	13,9	58	2,66	0,3	58
SP (Hilt (1996), Wagner (1998))	2,85	23,4	91	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SP (ITW (1988))	-----	-----	-----	2,98	11,3	10	3,09	11,6	10
Glaspatronendübel (Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Sell (1983))	2,15	26,7	111	1,85	32,2	141	1,05	69,4	205
alle Versuche	2,42	29,4	394	2,08	34,0	180	1,63	52,4	402

Tabelle 5.3: Mittelwerte $N_{u,test} / N_{u,calc}$ bei Berechnung von Versagenslasten nach SIA 179 (1998)

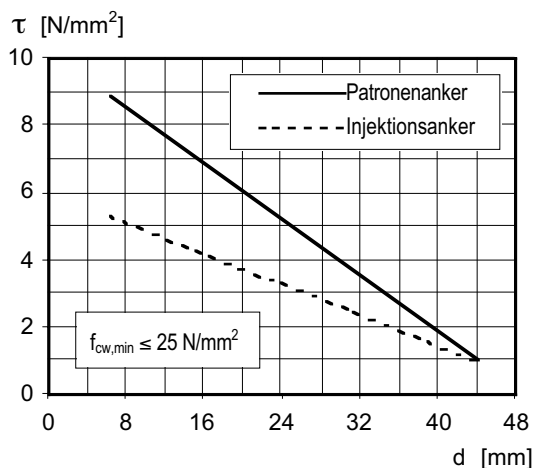
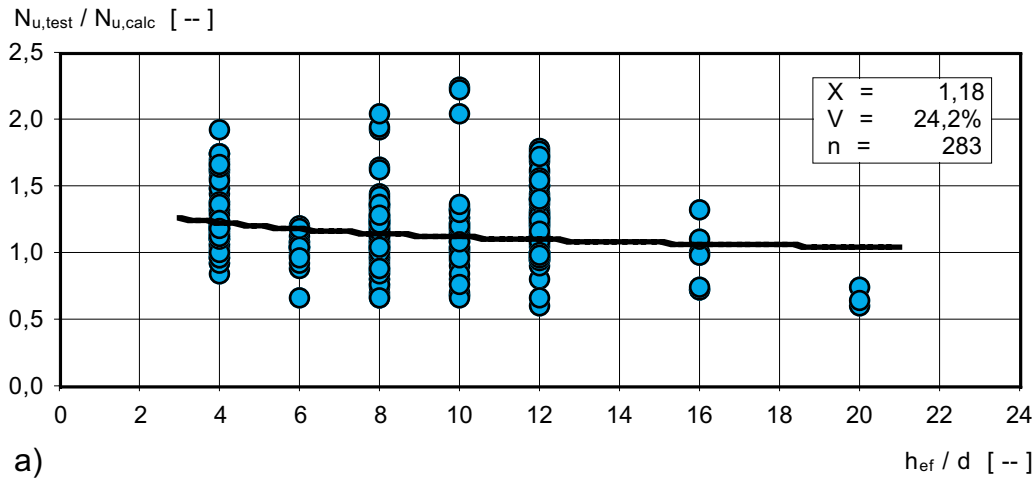
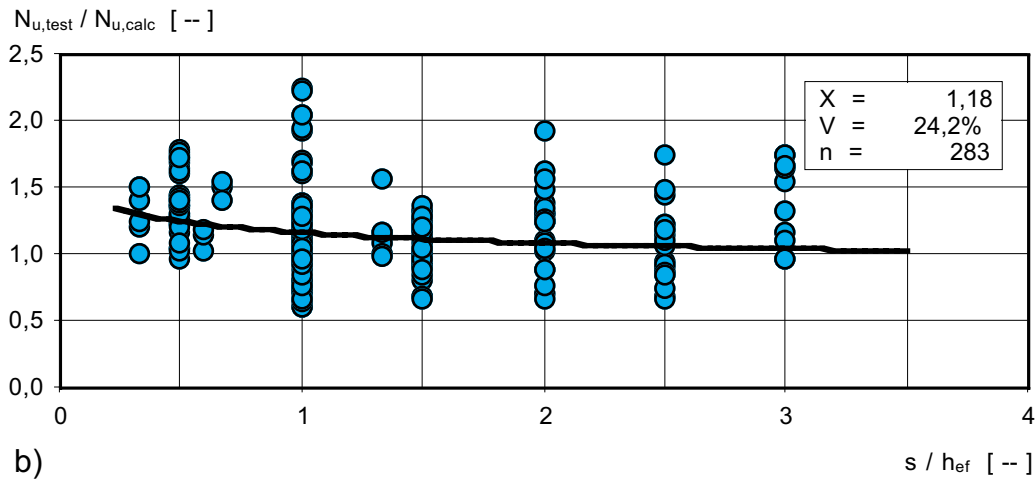


Bild 5.22: Rechnerische Verbundfestigkeit τ nach SIA 179 (1998)

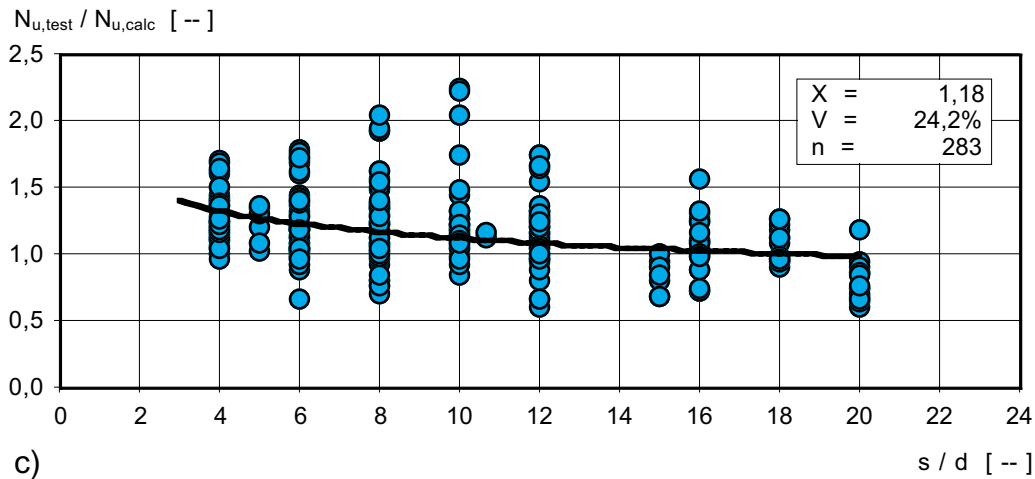
Nach SIA 179 (1998) ist die Möglichkeit gegeben, die Verbundfestigkeit τ_u eines Mörtels durch Versuche nachzuweisen. Werden die tatsächlich vorhandenen Verbundfestigkeiten τ_u und damit die Versagenslasten des Einzeldübels $N_{u,single}$ angesetzt, stimmt die Berücksichtigung des Achs- bzw. Randabstandes mit dem bei Lehr, Eligehausen (1999) vorgeschlagenen Modell D ($s_{cr} = 20d$) überein. Bei der Auswertung von 275 Versuchen mit Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998)) und SP (Hilt (1996), Wagner (1998)) beträgt dort der Mittelwert des Verhältnisses der Versagenslast im Versuch zur berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc} = 1,18$ bei einem Variationskoeffizienten $V = 24,2 \%$.



a)



b)



c)

Bild 5.23: Verhältnis der Versagenslast aus Versuch $N_{u,test}$ zur nach SIA 179 (1998) berechneten Versagenslast $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Elgehausen (1998/4), Wagner (1998), Hilt (1996)

a) über hef / d

b) über s / hef

c) über d / hef

In Bild 5.23 ist das Verhältnis der im Versuch ermittelten zu den berechneten Versagenslasten $N_{u,test} / N_{u,calc}$ über dem Verhältnis Verankerungstiefe zu Dübeldurchmesser h_{ef} / d , über dem Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} und über dem Verhältnis Achsabstand zu Dübeldurchmesser s / d aufgetragen.

In Bild 5.23 ist zu erkennen, daß bei Auswertung mit den in Versuchen mit Einzeldübeln gemessenen Verbundfestigkeiten τ_u und mit einem kritischen Achsabstand $s_{cr} = 20 d$ die gemessenen Bruchlasten $N_{u,test}$ von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln konservativ abgeschätzt werden.

5.5 Vergleich der ausgewerteten Berechnungsmodelle

Die in Abschnitt 2.5 vorgestellten Bemessungsmodelle zur Berechnung der Versagenslasten von Verbunddübeln wurden mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen der Höheren Technischen Bundes-, Lehr- und Versuchsanstalt Rankweil (1980/1), (1980/2), an den Versuchen von Sell (1974), Lehr, Eligehausen (1998/4), Hilt (1996), Wagner (1998), Popo-Ola, Newman (1995), HEG (1993) und ITW (1988) überprüft. Dabei ergeben sich für das Verhältnis der Versagenslasten im Versuch zur berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc}$ die in Tabelle 5.4 zusammengestellten Mittelwerte. Die Variationskoeffizienten sind mit angegeben.

Modell	4-fach			2-fach			Rand			alle		
	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n
Eligehausen, Mallée, Rehm (1997)	1,14	32,1	394	1,25	14,5	180	1,06	33,5	402	1,13	30,8	976
CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995))	0,90	28,8		0,96	20,8		0,95	21,0		0,93	24,3	
SIA 179 (1998)	2,42	29,4		2,08	34,0		1,63	52,4		2,02	73,9	

Tabelle 5.4: Vergleich von Bemessungsmodellen: Mittelwerte des Verhältnisses der Versagenslast im Versuch zur berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc}$

Mit dem Berechnungsmodell von Eligehausen, Mallée, Rehm (1997) und der CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995)) können Versagenslasten von Gruppen- und Randbefestigungen mit Verbunddübeln nicht hinreichend genau berechnet werden. Das Bemessungsmodell nach SIA 179 (1998) ist konservativ.

6 VORSCHLAG FÜR DAS BEMESSEN VON BEFESTIGUNGEN MIT VERBUNDDÜBELN

6.1 Berechnung der mittleren Bruchlast

Der Widerstand von Verbunddübeln berechnet sich nach Gl. (6.1):

$$N_u = \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot N_u^0 \quad (6.1)$$

mit: $A_{c,N}$ = vorhandene projizierte Fläche der Befestigung
auf der Betonoberfläche

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2$$

$$N_{u,0} = \tau_u \cdot d \cdot \pi \cdot h_{ef} \quad (6.1a)$$

$$s_{cr,N} = 2c_{cr,N} = 16d$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot c/c_{cr,N}$$

In Bild 6.1 sind Beispiele für die projizierte Fläche von Befestigungen mit Verbunddübeln dargestellt. Die Ermittlung der Projektionsfläche ist jeweils mitangegeben. Als charakteristischer Achs- bzw. Randabstand wurde $s_{cr,N} = 2 c_{cr,N} = 16 d$ angenommen.

Es ist zu beachten, daß bei den hier ausgewerteten experimentellen Untersuchungen die Bauteildicke $h \geq 2 h_{ef}$ betrug. Bei kleineren Bauteildicken muß mit der Versagensart Spalten gerechnet werden, die hier nicht behandelt wird.

In Bild 6.2, Bild 6.3 und Bild 6.4 sind die in den Versuchen erreichten Versagenslasten $N_{u,test}$ über den berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$ für alle vorliegenden experimentellen Untersuchungen aufgetragen. In Bild 6.2 sind die Einzellasten nicht berechnet, sondern aus vergleichbaren Versuchsreihen bezüglich Ankerstangendurchmesser d , Verankerungstiefe h_{ef} und Betonfestigkeit f_{cc} ermittelt. In Bild 6.3 und Bild 6.4 wurde N_u^0 entsprechend Gl. (6.1a) berechnet. Es wurden die Verbundfestigkeiten τ_u nach Tabelle 4.10 verwendet.

In Bild 6.5 ist das Verhältnis der Versagenslasten aus Versuchen zu den nach Gl. (6.1) berechneten Versagenslasten $N_{u,test} / N_{u,calc}$ über dem Verhältnis Verankerungstiefe zu Durchmesser h_{ef} / d , Verhältnis Achsabstand zu Verankerungstiefe s / h_{ef} und Verhältnis Achsabstand zu Durchmesser s / d aufgetragen. Dabei wurden

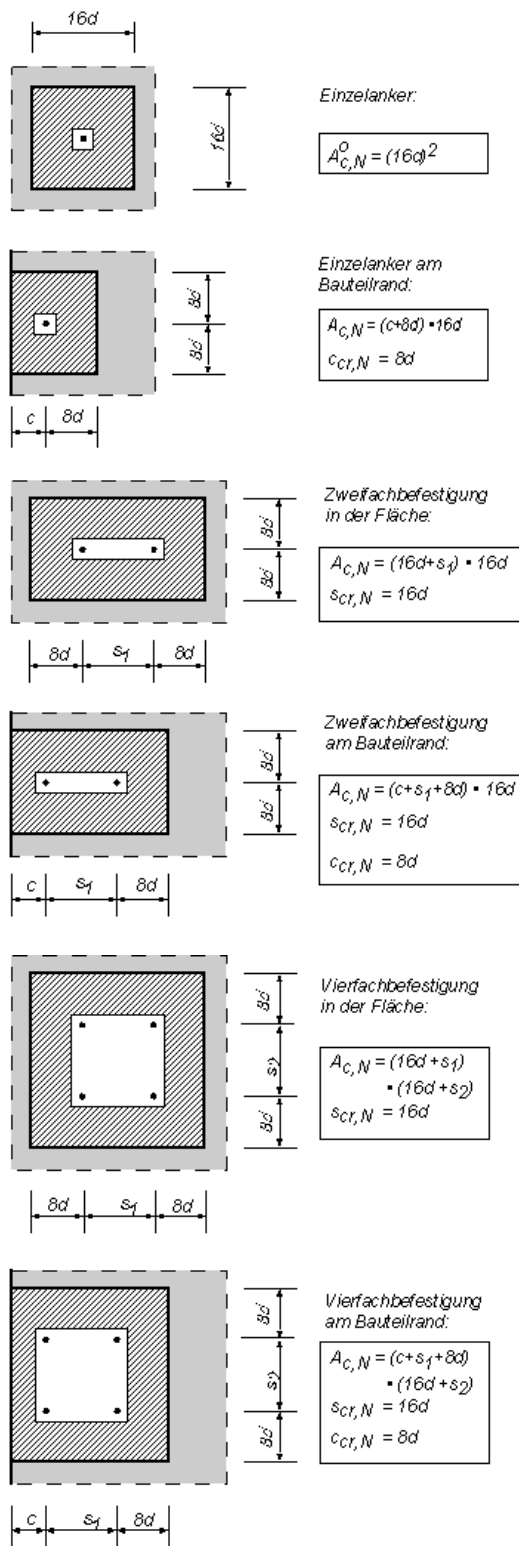


Bild 6.1: Beispiele für die Bestimmung der Einflußflächen bei Verbunddübeln

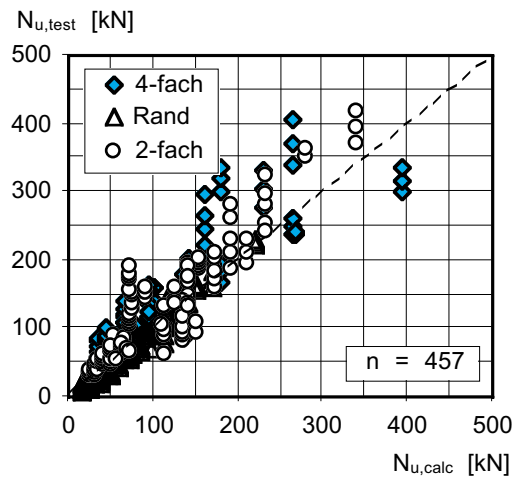


Bild 6.2: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Dübeln, Zweifachbefestigungen und Einzelbefestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$; Versuche der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Sell (1974)

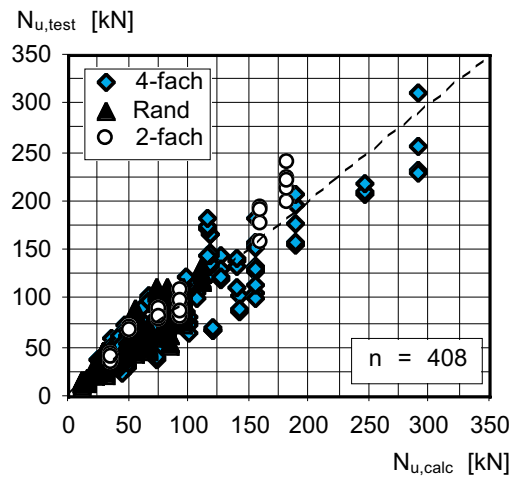


Bild 6.3: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Dübeln, Zweifachbefestigungen und Einzelbefestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$; Versuche von Lehr, Elgehausen (1997/1), Wagner (1998), Popo-Ola, Newman (1995), HEG (1993)

alle Versuche mit Injektionsdübeln und Glaspatronendübeln berücksichtigt. Es ist zu erkennen, daß eine brauchbare Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch besteht. Bei den Versuchen mit Gruppenbefestigungen beträgt der Mittelwert der Verhältnswerte $N_{u,test} / N_{u,calc}$ im Mittel 1,15. Allerdings ist die Streuung mit $V \sim 30\%$ recht groß. Berücksichtigt man nur die Versuche von Lehr, Eligehausen (1998/4), Hilt (1996), Wagner (1998), HEG (1993) und ITW (1988) mit Gruppenbefestigungen, beträgt das Verhältnis im Mittel 1,01 mit einem Variationskoeffizient $V = 25,5\%$. Bild 6.5 zeigt jedoch, daß bei kleinen bzw. großen bezogenen Achsabständen s / h_{ef} bzw. s / d die Bruchlasten überschätzt bzw. unterschätzt werden. Für die in

Bild 6.6 dargestellten Versuche am Bauteilrand (Höhere Technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Sell (1974), HEG (1993), ITW (1988)) ergibt sich $N_{u,test} / N_{u,calc} = 0,98$ mit einem Variationskoeffizient $V = 19,5\%$. Dabei wird der Einfluß der untersuchten Parameter gut erfaßt.

Die in Gl. (6.1) angegebene Bemessungsgleichung ergibt sich aus den numerischen Untersuchungen (vgl. Bild 3.18). Durch die numerischen Untersuchungen wurde festgestellt, daß der charakteristische Achsabstand $s_{cr,N}$ ein Vielfaches des Dübeldurchmessers beträgt. Der in den numerischen Untersuchungen gefundene charakteristische Achsabstand $s_{cr,N} = 20 d$ konnte auf Grund der experimentellen Untersuchungen auf $s_{cr,N} = 16 d$ reduziert werden.

Vergleicht man das so gefundene Bemessungskonzept mit den zuvor in Kapitel 5 vorgestellten Bemessungskonzepten, ergibt sich eine etwas bessere Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch als bei dem bei Eligehausen, Mällée, Rehm (1997) vorgestellten Modell mit einem niedrigeren Variationskoeffizienten.

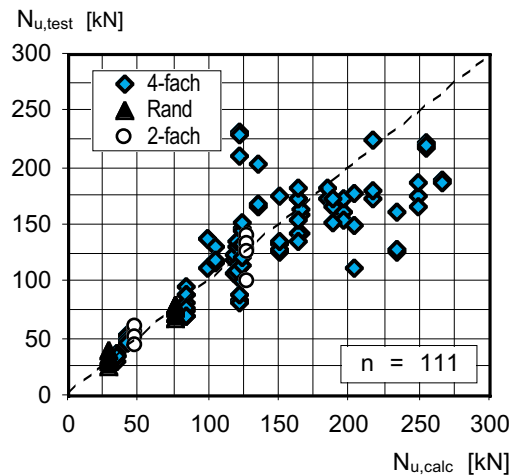
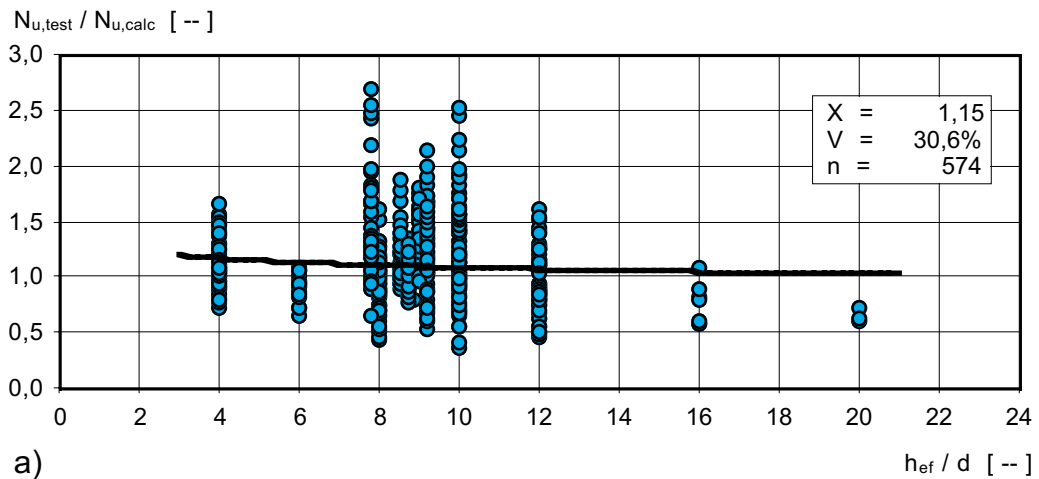
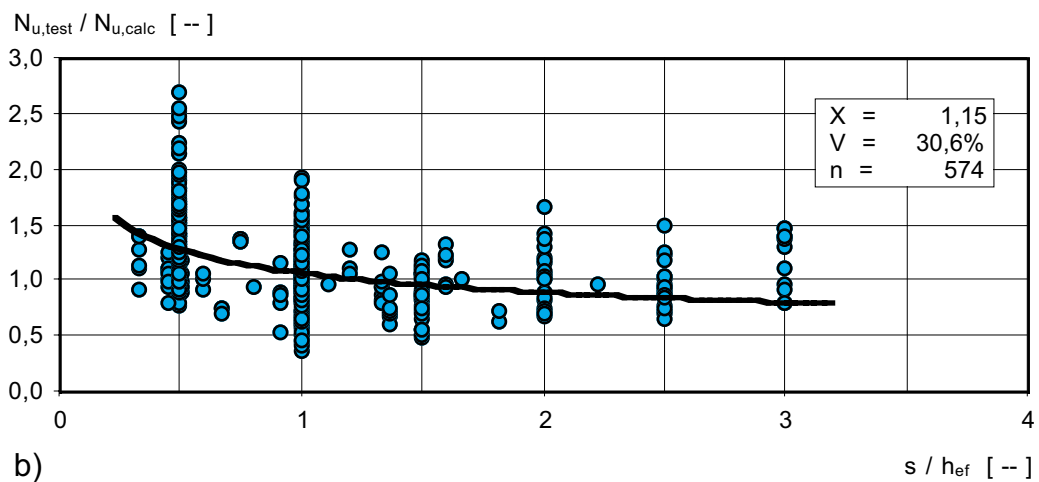


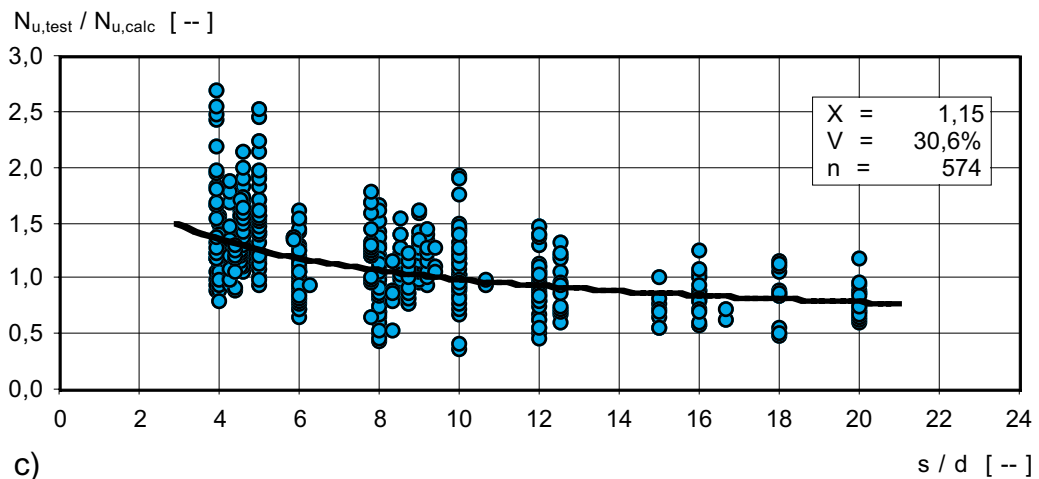
Bild 6.4: Versagenslasten von quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Dübeln, Zweifachbefestigungen und Einzelbefestigungen am Bauteilrand im Versuch $N_{u,test}$ über den berechneten Versagenslasten $N_{u,calc}$, Versuche von Lehr, Eligehausen (1997/1) und Hilt (1996), ITW (1988)



a)



b)



c)

Bild 6.5: Verhältnis der Versagenslast aus Versuch zur nach Gl. (6.1) berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc}$: Versuche mit Gruppenbefestigungen von Höhere Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Sell (1974), Lehr, Elgehausen (1998/4), Hilt (1996), Wagner (1998), HEG (1993) und ITW (1988)

a) über h_{ef} / d

b) über s / h_{ef}

c) über s / d

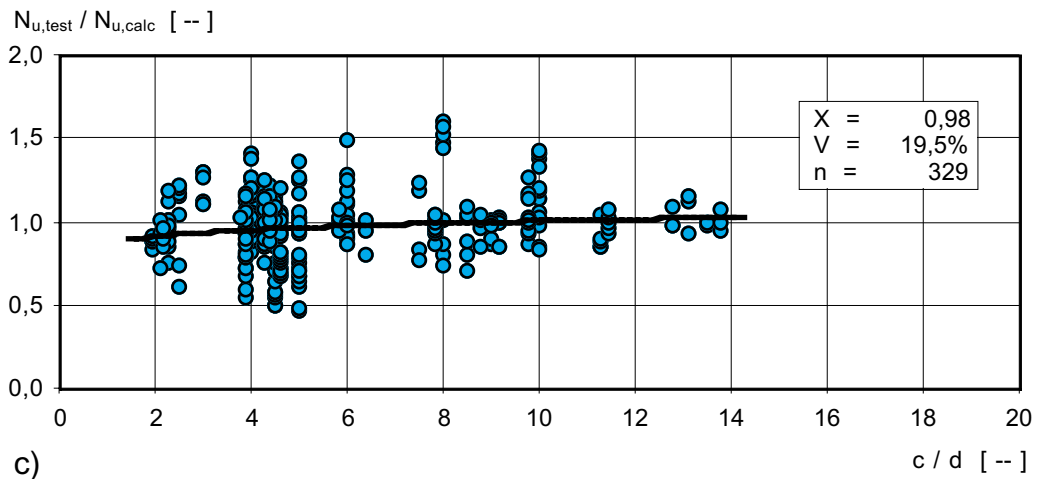
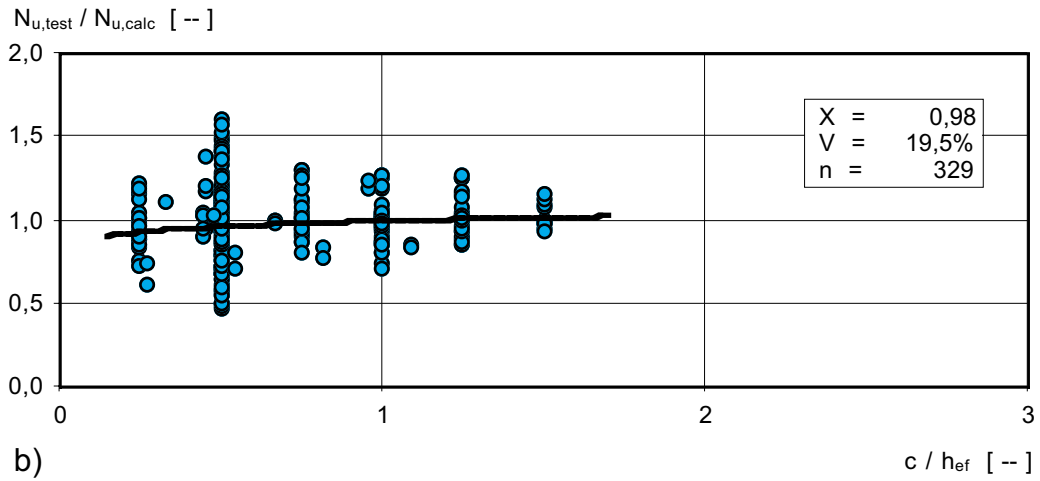
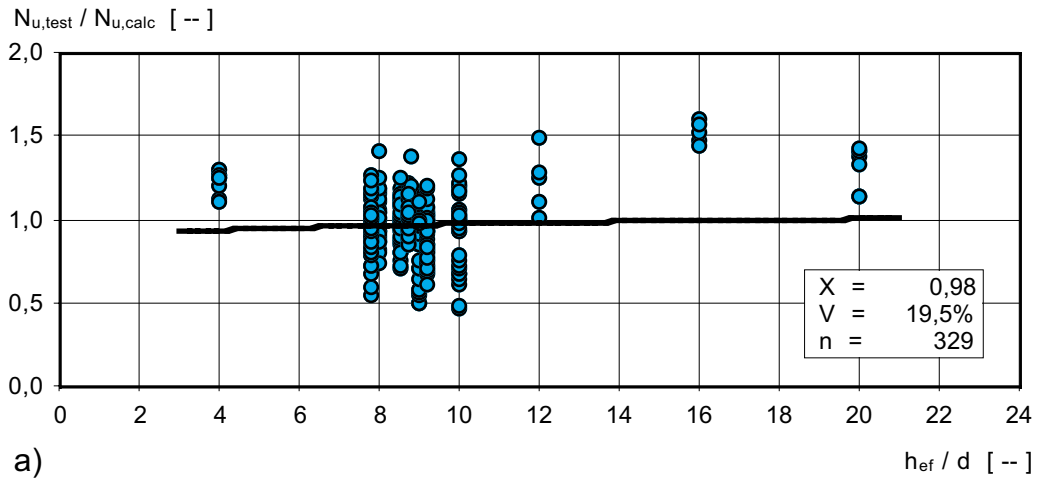


Bild 6.6: Verhältnis der Versagenslast aus Versuch zur nach Gl. (6.1) berechneten Versagenslast $N_{u,test} / N_{u,calc}$: Versuche mit Befestigungen am Bauteilrand von Höhere Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2), Popo-Ola, Newman (1995), HEG (1993) und ITW (1988)

a) über h_{ef} / d b) über c / h_{ef} c) über c / d

VERSUCHSART	4-fach			2-fach			Rand			alle		
	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n	MW	V [%]	n
Glaspatronendübel	1,41	25,7	111	1,27	27,5	141	0,92	18,9	208	1,04	34,6	457
Mörtel HH	0,98	27,7	192	1,16	11,7	29	1,10	15,6	187	1,06	21,5	408
Mörtel SP	1,04	22,7	91	1,05	12,7	10	1,07	13,6	10	1,01	23,0	111
alle	1,11	31,6	394	1,24	25,8	180	0,98	19,5	402	1,09	28,4	976

Tabelle 6.1: Verhältnis $N_{u,test} / N_{u,calc}$, Berechnung der Versagenslasten für Verbunddübelgruppen und Befestigungen am Rand, $s_{cr} = 16d$, $c_{cr} = 8d$

6.2 Grenzen des Bemessungskonzeptes

6.2.1 Stahlfestigkeit

Die Bruchlast nach Gl. (6.1) wird durch die Tragkraft der Ankerstange begrenzt. Die Stahlfestigkeit eines Einzeldübels berechnet sich zu:

$$N_{u,S}^0 = A_s \cdot f_u \quad (6.2)$$

mit: A_s = Spannungsquerschnitt der Ankerstange

f_u = Zugfestigkeit des Stahls

6.2.2 Betontragfähigkeit

Verbunddübel mit geringen Verankerungstiefen h_{ef} versagen in der Regel durch Betonversagen (CC), wie die FE-Rechnungen und die experimentellen Untersuchungen gezeigt haben. Verankerungen mit großen Verankerungstiefen h_{ef} versagen normalerweise durch Verbundbruch. Bei dieser Versagensart ist der Verbundmörtel nicht mehr in der Lage, die Betontragfähigkeit auszunutzen, da die Verbundfestigkeit τ_u zu gering ist.

Wird jedoch ein Verbundmörtel mit sehr hoher Verbundfestigkeit τ_u eingesetzt, ist davon auszugehen, daß auch bei großen Verankerungstiefen h_{ef} Betonausbruch auftritt. Es entsteht innerhalb des Betons ein ähnlicher Spannungsverlauf wie bei

Befestigungen mit Kopfbolzen oder Hinterschnittdübeln. Bei diesen wird allerdings die gesamte Last am Ankerfuß in den Beton eingeleitet, während bei Verbunddübeln die Last nahezu gleichmäßig über die Verankerungslänge in den Beton eingeleitet wird. Man kann annehmen, daß eine Befestigung mit Verbunddübeln die gleiche Last wie eine Kopfbolzenverankerung aufnehmen kann.

Die Betonausbruchlast $N_{u,conc}$ hängt nach Gl. (2.5) bei konstanter Betondruckfestigkeit nur von der Verankerungstiefe h_{ef} ab. Dem gegenüber wird die Bruchlast von Verbunddübeln $N_{u,bond}$ außer von der Verankerungstiefe h_{ef} und dem bezogenen Achsabstand auch von der Verbundfestigkeit τ_u und dem Ankerstangendurchmesser d beeinflusst. Es ist denkbar, daß bei hoher Verbundfestigkeit τ_u und großem Ankerstangendurchmesser d die für Befestigungen mit Verbunddübeln nach Gl. (6.1) berechnete Bruchlasten $N_{u,bond}$ höher sind als die nach Gl. (2.5) berechneten Betonbruchlasten $N_{u,conc}$ von gleichen Befestigungen mit Kopfbolzen. Daher werden in Bild 6.7 und Bild 6.8 die Bemessungsmodelle für Verbunddübel und Kopfbolzen für quadratischen Befestigungen mit vier Dübeln verglichen. Aufgetragen sind die entsprechend dem Bemessungsmodell für Verbunddübel (Gl. 6.1) und dem Modell für Kopfbolzen (Gl. (2.5)) berechneten Versagenslasten für Dübel mit Durchmesser $d = 12 \text{ mm}$ und $d = 20 \text{ mm}$ in Abhängigkeit vom Achsabstand s . Als Verbundfestigkeit wird $\tau_u = 12 \text{ N/mm}^2$ ($d = 12 \text{ mm}$) und $\tau_u = 16 \text{ N/mm}^2$ ($d = 20 \text{ mm}$) angenommen. Die Verankerungstiefe beträgt $h_{ef} = 8d$ ($d = 12 \text{ mm}$) und $h_{ef} = 16d$ ($d = 20 \text{ mm}$). Die Betonfestigkeit wird mit $f_{cc} = 30 \text{ N/mm}^2$ und die Stahlfestigkeit mit $f_y = 1000 \text{ N/mm}^2$ angesetzt. Aus Bild 6.7 und Bild 6.8 sind folgende Tendenzen zu erkennen:

- Kleine Ankerstangendurchmesser d ($d \leq 12 \text{ mm}$) und geringe Verbundfestigkeit τ_u ($\tau_u \sim 12 \text{ N/mm}^2$) ergeben Verbundversagenslasten $N_{u,bond}$, die niedriger als die Betonversagenslasten $N_{u,conc}$ sind.
- Mit zunehmender Verbundfestigkeit τ_u ($\tau_u \sim 16 \text{ N/mm}^2$) und zunehmendem Ankerstangendurchmesser kann die Verbundversagenslast $N_{u,bond}$ größer werden als die Betonversagenslast $N_{u,conc}$.
- Außerdem kann Stahlversagen maßgebend werden.

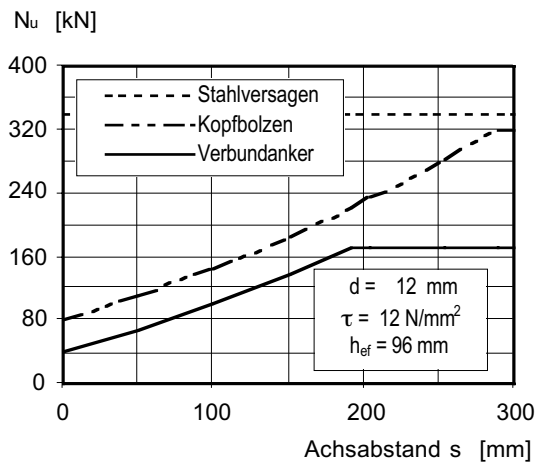


Bild 6.7: Vergleich der Bemessungsmodelle für Verbunddübel mit dem Bemessungsmodell für Kopfbolzen, $d = 12 \text{ mm}$, $h_{ef} = 96 \text{ mm}$, $\tau_u = 12 \text{ N/mm}^2$, $f_{cc} = 30,0 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 1000 \text{ N/mm}^2$

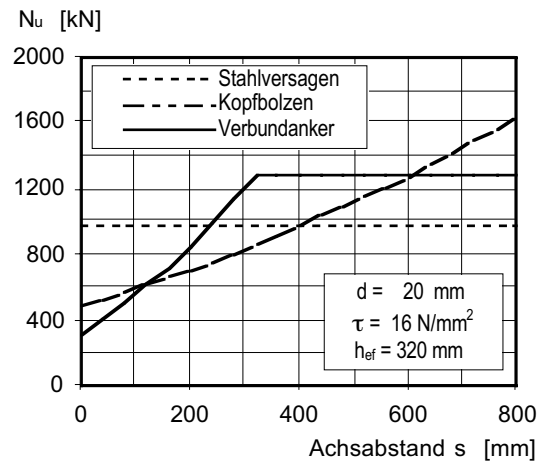


Bild 6.8: Vergleich der Bemessungsmodelle für Verbunddübel mit dem Bemessungsmodell für Kopfbolzen, $d = 20 \text{ mm}$, $h_{ef} = 320 \text{ mm}$, $\tau_u = 16 \text{ N/mm}^2$, $f_{cc} = 30,0 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 1000 \text{ N/mm}^2$

6.2.3 Experimenteller Vergleich der Verbund- und der Betontragfähigkeit

In Bild 6.7 und Bild 6.8 ist dargestellt, daß mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Bemessungskonzept für Verbunddübelgruppen Versagenslasten $N_{U,bond}$ berechnet werden können, die höher liegen als die nach der CC-Methode (Fuchs, Eligehausen (1995)) für Betonversagen ermittelten Lasten $N_{U,conc}$. Zur Überprüfung wurden von Lehr, Eligehausen, Opferkuch (2001) sowie von Lehr, Eligehausen (2003) experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Geprüft wurden Gruppen mit vier Verbunddübeln bzw. vier Kopfbolzen in Betonkörpern mit vergleichbaren Betonfestigkeiten f_{cc} . Die Verankerungstiefe ($h_{ef} = 288 \text{ mm}$) und der Ankerstangen-durchmesser ($d = 24 \text{ mm}$) wurden konstant gehalten. Variiert wurde der Achsabstand ($s = 8 d = 192 \text{ mm}$ bzw. $16 d = 384 \text{ mm}$) sowie die Verbundfestigkeit ($\tau_u \sim 12 \text{ N/mm}^2$ bzw. $\tau_u \sim 20 \text{ N/mm}^2$). Zum Vergleich wurden bei den Versuchen mit Mörtel HH Einzeldübel mit weiter Abstützung geprüft. Mit Mörtel ED wurden an Einzeldübeln Versuche mit enger Abstützung zur Bestimmung der Verbundfestigkeit τ_u durchgeführt. Das Versuchsprogramm ist in Tabelle 6.2 zusammengestellt. Bild 6.9 zeigt, welche Versagenslasten N_U nach Gl. (6.1) (Verbunddübel) bzw. Gl. (2.5) (Kopfbolzen) zu erwartet sind.

VERSUCHSART	VERBUNDNAKER		KOPFBOLZEN
	$\tau_u \sim 12 \text{ N/mm}^2$ (Mörtel HH)	$\tau_u \sim 20 \text{ N/mm}^2$ (Mörtel ED)	
4er-Gruppe mit $s = 16d$	5	3	5
4er-Gruppe mit $s = 8d$	3	3	-----
Einzeldübel, weite Abstützung	3	-----	-----
Einzeldübel, enge Abstützung	3	6	-----

Tabelle 6.2: Versuchsprogramm zum Vergleich von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln und Kopfbolzen $\varnothing 24$, $h_{ef} = 12d = 288 \text{ mm}$ (Opferkuch (2000); Lehr, Eligehausen (2003); Lehr, Brecht, Eligehausen (2000))

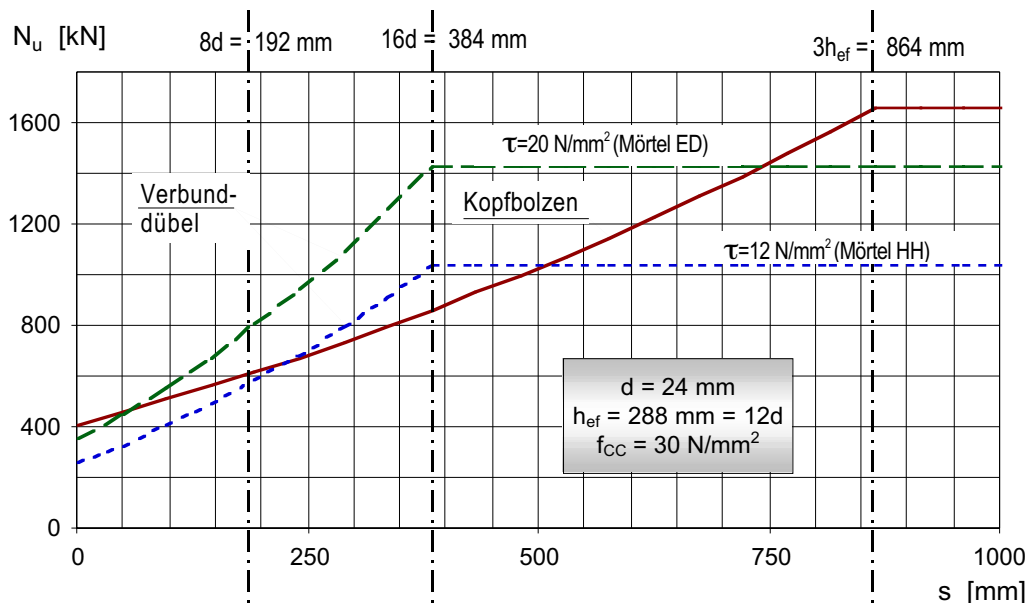


Bild 6.9: Versuche zum Vergleich von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln und Kopfbolzen (Opferkuch (2000))

Bild 6.9 zeigt, daß sich für die Verbundfestigkeit $\tau_u = 12,0 \text{ N/mm}^2$ (Mörtel HH) bei gleicher Verankerungstiefe h_{ef} und gleichem Dübel Durchmesser d die Bruchlasten für Betonausbruch nach Gl. (2.5) und für Verbunddübel nach Gl. (6.1) für $s = 8d = 192 \text{ mm}$ und $s = 16d = 384 \text{ mm}$ nicht wesentlich unterscheiden.

Für die Verbundfestigkeit $\tau_u = 16,5 \text{ N/mm}^2$ (Mörtel ED) sind die rechnerischen Bruchlasten $N_{u,bond}$ nach dem Modell für Verbunddübel (Gl. (6.1)) für $s = 8d = 192 \text{ mm}$ und $s = 16d = 384 \text{ mm}$ deutlich höher als die rechnerischen Betonausbruch-

lasten nach Gl. (2.5). Die Verbundfestigkeit für Versuche wurde aus Versuchen mit enger Abstützung zu $\tau_u = 20,7 \text{ N/mm}^2$ (Lehr, Eligehausen (2000)) ermittelt. Da bei der Auswertung der übrigen Versuche in dieser Arbeit die Verbundfestigkeiten τ_u aus Versuchen mit weiter Abstützung ermittelt wurden, wurde eine Verminderung der Verbundfestigkeit um 0,8 zur Berücksichtigung der Abstützungsart nach Meszaros (2002) vorgenommen.

In Bild 6.10 sind die gemessenen Bruchlasten der Versuche mit Verbunddübelgruppen und Kopfbolzensgruppen in Abhängigkeit vom Achsabstand s aufgetragen. In allen Fällen trat Betonversagen auf. Daher wurde die gemessene Bruchlast mit $f_{cc}^{0,5}$ auf $f_{cc} = 30 \text{ N/mm}^2$ normiert. Mit eingetragen sind die nach Gl. (2.5) berechneten Betonausbruchlasten $N_{u,conc}$ und die Bruchlasten nach dem Modell für Verbunddübel (Gl. (6.1)) für die Verbundfestigkeiten $\tau_u = 12,0 \text{ N/mm}^2$ bzw. $16,5 \text{ N/mm}^2$.

Die gemessenen Bruchlasten der Gruppen mit Verbunddübeln stimmen mit den rechnerischen Betonausbruchlasten $N_{u,conc}$ überein und unterscheiden sich nicht wesentlich von den gemessenen Bruchlasten der Befestigungsgruppen mit Kopfbolzen.

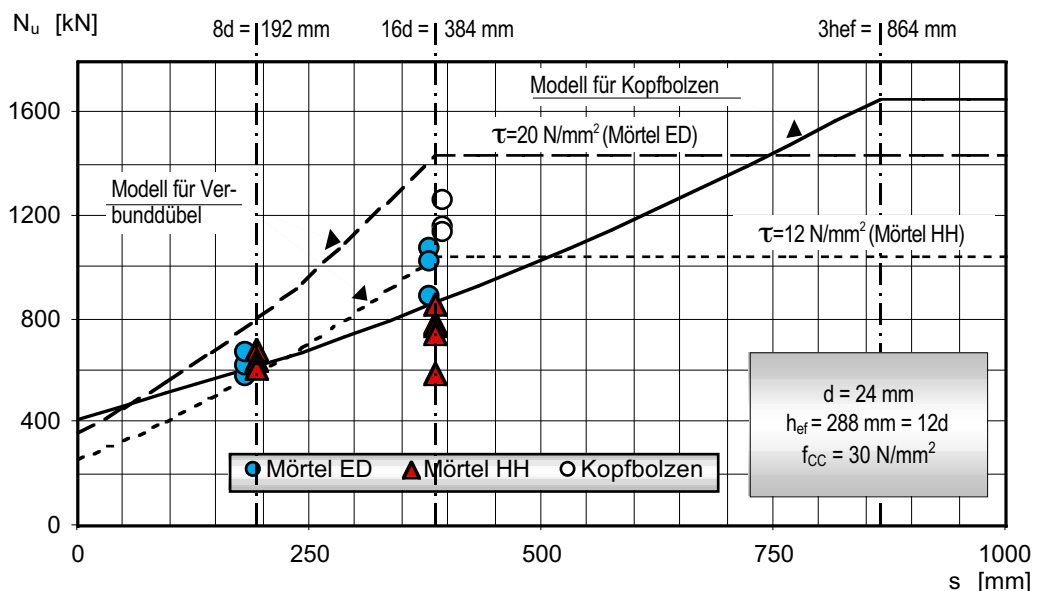


Bild 6.10: Auswertung der Versuche zum Vergleich von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln und Kopfbolzen (Opferkuch (2000))

Aufgrund dieser Versuche ist es notwendig, die nach Gl. (6.1) berechneten Bruchlasten durch die Betonausbruchlast für Befestigungen mit Kopfbolzen nach Gl. (2.5) zu begrenzen:

$$N_u = \min (N_{u,bond} ; N_{u,conc}) \quad (6.3)$$

mit $N_{uk,bond}$ nach Gl.(6.1)

$N_{uk,conc}$ nach Gl.(2.5)

Die nach Gleichung (6.3) berechnete Bruchlast entspricht der mittleren Bruchlast in ungerissenem Beton. Bei der Bemessung von Befestigungen muß von der 5%-Fraktile der Bruchlast ausgegangen werden. Auf die Ermittlung der 5%-Fraktile wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Sie kann mit bekannten statistischen Methoden unter Berücksichtigung der Streuung der Versuche ermittelt werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Tragverhalten und der Berechnung der mittleren Bruchlasten von Befestigungen mit Verbunddübeln (Gruppenbefestigungen mit großem Randabstand bzw. Einzeldübel am Bauteilrand) unter zentrischer Zugbeanspruchung im ungerissenen Beton. Sie ergänzt die Arbeit von Meszaros (2002), in der das Tragverhalten von Einzeldübeln mit großem Randabstand behandelt wird.

Zunächst werden das Last-Verschiebungsverhalten und die Versagensarten von Verbunddübelgruppen numerisch mit dem von Ozbolt (1996) entwickelten nicht-linearen dreidimensionalen FE-Programm MASA analysiert. Die Ergebnisse zeigen, daß Verbunddübelgruppen mit kleinem Achsabstand durch Betonausbruch versagen. Mit zunehmendem Achsabstand tritt Betonversagen am Ankerfuß mit nachfolgendem Verbundversagen auf. Bei weiterer Vergrößerung des Achsabstandes wird ein oberflächennaher Betonausbruch mit Verbundversagen entlang der restlichen Verankerungslänge beobachtet. Diese Bruchart entspricht derjenigen von Einzeldübeln. Trotzdem ist die Bruchlast vom Achsabstand abhängig, weil Zugspannungen im Beton zwischen benachbarten Dübeln entstehen, wodurch die Verbundfestigkeit zwischen Mörtel und Beton auf der Innenseite der Dübel reduziert wird. Bei Erreichen eines charakteristischen Achsabstandes $s_{cr,N}$ entspricht die Bruchlast der Gruppe etwa der vierfachen Bruchlast eines Einzeldübeln.

Der charakteristische Achsabstand $s_{cr,N}$ ist nicht von der Verankerungstiefe h_{ef} , sondern vom Dübeldurchmesser d abhängig. Er beträgt ca. 20 d .

Anschließend werden die eigenen umfangreichen experimentellen Untersuchungen an quadratischen Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln mit großem Randabstand und an Einzeldübeln am Bauteilrand erläutert. Zum Vergleich werden Einzeldübel mit großem Randabstand in der Regel in gleichen Betonplatten geprüft. Die Versuchsergebnisse bestätigen die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen, wonach der charakteristische Achsabstand vom Ankerstangendurchmesser d abhängt. Er beträgt nach den experimentellen Ergebnissen etwa $s_{cr,N} = 16 d$. Der charakteristische Randabstand wird zu $c_{cr,N} = 8 d$ ermittelt.

Die Ergebnisse der eigenen und der in der Literatur beschriebenen Versuche mit Verbunddübelgruppen und Einzeldübeln am Bauteilrand werden mit den Vorschlägen verschiedener Autoren zur Bemessung von Befestigungen mit Verbunddübeln verglichen. Es wird gezeigt, daß mit diesen Ansätzen die gemessenen Bruchlasten nicht mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden können. Daher wird ein neues Modell vorgeschlagen. Es beruht auf dem CC-Verfahren (Fuchs, Elgehausen (1995)) zur Berechnung der Betonausbruchlast von Befestigungen mit Kopfbolzen und Spreiz- bzw. Hinterschnittdübeln. Allerdings wird die Bruchlast eines Einzeldübeln nach dem von Cook (1993) und Meszaros (2002) vorgeschlagenen „uniformed bond model“ mit $N_{u,m}^0 = d \cdot \pi \cdot h_{ef} \cdot \tau_{u,m}$ berechnet. Weiterhin wird als charakteristischer Achs- bzw. Randabstand $s_{cr,N} = 2 c_{cr,N} = 16 d$ angesetzt.

Die nach diesem Modell berechnete Bruchlast wird auf die Betonausbruchlast einer gleichartigen Befestigung mit Kopfbolzen mit gleicher Verankerungstiefe begrenzt, weil diese als die obere Grenze der Betontragfähigkeit angesehen wird. Die Richtigkeit dieser Annahme wird durch die Ergebnisse spezieller Versuche bestätigt. Die Begrenzung der Bruchlast von Befestigungen mit Verbunddübeln auf die Betonausbruchlast von Kopfbolzen – berechnet mit dem CC-Verfahren – wird nur bei Verwendung dicker Ankerstangen und / oder hohen Verbundfestigkeiten maßgebend.

Die nach dem vorgeschlagenen Modell berechneten Bruchlasten stimmen brauchbar mit den in den experimentellen Untersuchungen gemessenen Werten überein.

8 OFFENE FRAGEN

Die vorliegende Arbeit gilt für Befestigungen mit Verbunddübeln, die durch Betonausbruch, Herausziehen oder Stahlbruch versagen. Die Bauteildicke muß etwa $h \geq 2 \text{ hef}$ betragen. Bei Befestigungen am Bauteilrand in Bauteilen mit einer Bauteildicke $h < 2 \text{ hef}$ kann das Versagen durch Spalten des Betons hervorgerufen werden. Diese Versagensart wird in der vorliegenden Art nicht behandelt.

Weiterhin werden nur Befestigungen mit Verbunddübeln in ungerissenem Beton betrachtet. Während das Verhalten von Einzeldübeln im gerissenen Beton von Meszaros (2002) untersucht wurde, fehlen Untersuchungen mit Verbunddübelgruppen in gerissenem Beton.

9 ENGLISCHE KURZFASSUNG

9.1 Introduction

Modern fastening technique is increasingly employed for the transfer of concentrated loads into concrete structures. Cast-in-place-systems (which are placed in the formwork before casting the concrete) and post-installed-systems (which are installed in hardened concrete) are common. Recently bonded anchors are often employed.

The load displacement behavior of single anchors were investigated by Meszaros (2002). Several influences on the load capacity of chemical anchors (drill-hole-cleaning, wet concrete, product, concrete compression strength, cracked concrete) were tested. In order to understand the group effect of quadruple fastenings with bonded anchors an extensive numerical investigation and a series of experiments were performed. The studied specimens were adhesive anchors of the injection type based on resin mortar anchored in a concrete block and subjected to tensile loading. Quadruple anchor groups were considered. Furthermore numerous tests with anchor groups with bonded anchors and bonded anchors at the edge were performed.

9.2 Numerical simulation of quadruple anchor groups

Totally 32 cases were calculated. The anchors diameters were 8mm, 12 mm and 20 mm. The analyzed cases are listed in Table 3.2 and in Table 3.3. The calculated failure loads and failure modes are given in Table 3.4, 3.5, 3.6 and 3.7. The embedment depth was variant from 48 to 240 mm (from 4d to 20d) and the spacing between anchors from 48 to 240 mm (from 0,2 h_{ef} to 2,5 h_{ef}). In addition calculations of single anchors were performed.

The three dimensional numerical analysis were performed with the program MASA (Ozbolt (1996)). Due to symmetry, only a quarter of the specimen is simulated. The simulated system includes the steel anchors, the adhesive mortar and the concrete block. The steel anchor is assumed as a linear elastic material with Young's modulus $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ and Poisson's ration $\nu = 0.3$. The adhesive mortar is simulated by a special interface model with shear strength of 16 N/mm^2 , Young's modulus $E = 2000 \text{ N/mm}^2$ and Poisson's ration $\nu = 0$.

The concrete is modeled by the microplane model and the material parameters are taken from the average data of the experiments with Young's modulus $E = 30000 \text{ N/mm}^2$, Poisson's ration $\nu = 0.2$, tension strength $f_t = 2.4 \text{ N/mm}^2$, compression strength $f_c = 23 \text{ N/mm}^2$ and fracture energy $G_f = 0.1 \text{ N/mm}^2$. The load was applied at the top end of the steel anchor. Displacement control was used in order to get the post peak load-displacement curve. A fixed boundary condition, corresponding to support lines in experiments, is applied on the no-symmetry edges at the loaded side of the specimen (see Fig. 3.4).

In the calculations four types of failure modes were obtained as concrete cone failure (CC), bond failure (B), combined concrete cone and bond failure (CCB) and false pullout failure (FPO). The false pullout failure is characterized by cracks which initiated at the end of the anchors, propagated towards each other and connected at peak load (see Fig. 3.10). Because the concrete around the outside of the anchors is strong enough to carry the applied load the final failure mode is a bond failure, which looks like a pullout failure but the loading capacity is much smaller than with a real pullout failure. Therefore this type of failure is called "false pullout failure". A stress analysis at the interface between mortar and concrete around the anchor perimeters revealed that the shear stresses at the part of the perimeter towards the neighboring anchors are much smaller than the shear stresses at the opposite side of the anchor. This can be explained by the crack between the

anchors which does not allow to transfer tensile force into the bottom part of the specimen. Another reason for the lower shear stresses at the perimeter between anchors is tensile stresses occurring in the concrete between anchors which reduce the shear strength. These smaller shear stresses at peak load at the perimeter towards neighboring anchors explain the reduced failure load in case of pullout failure, which was observed in many experiments.

In order to study the group effect the calculated results are presented in Fig. 3.14 and Fig. 3.15. The group effect can be clearly observed. In the case of spacing $s = 0$ the failure load of the group should be the failure load of a single anchor. When the spacing is $s = 4 d$, the failure load of the group is 2.5 times the failure load of the single anchor. With $s = 16 d$ the load capacity of four single anchors is available. With the critical spacings s_{cr1} and s_{cr2} like shown in Fig. 3.16 model from FE-calculation is found.

9.3 Experimental studies

To control the FE analysis a lot of experiments with quadruple fastenings were performed. Varied was the anchor diameter ($d = 8 / 12 / 16 / 24$ mm), the embedment depth (h_{ef} from $4 d$ to $16 d$), the spacing (s from 0.33 to $4 d$) and the bondstrength of the mortar. Tests were carried out in concrete with compression strength $f_{cc} \sim 25$ N/mm² and $f_{cc} \sim 55$ N/mm². Three injection mortars were used. Single anchors with the same embedment depth like the quadruple fastenings were tested too normally in the same slabs.

In Fig. 4.33, 4.34 and 4.35 the relation between the failure load for the quadruple fastenings and the single anchors (meanvalues) is plotted about the relation between the spacing and the embedment depth s / h_{ef} and about the relation between the spacing and the diameter s / d . It is to recognize, that with $s = 16 d$ the critical spacing is found. At this spacing the failure loads of quadruple fastening are equal to four times the failure load of single anchors.

9.4 Model for the design of bonded anchors in non-cracked concrete

Design models are given by Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), Cook (1993) and others. At the University of Stuttgart the described design model has been developed to calculate the failure loads of fastenings with bonded anchors under centric tension loads. The model is valid for fastenings with single anchors and

anchor groups far away from edges, at the edge and in a corner. The member thickness must be $h \geq 2h_{ef}$ to prevent splitting failure.

This design model produces a good agreement of calculated failure loads with results of tests. In Fig. 6.2, 6.3 and 6.4 the measured failure loads of quadruple fastenings with bonded anchors are plotted as a function of the calculated failure loads. A similar level of agreement between test and calculation has been found in other cases (double fastenings, fastenings at the edge).

If the diameter of the anchors is large and the bond strength of the mortar is high, the failure loads predicted according the model for bonded anchors will be higher than predicted according to the CC-method (1995) (see Fig. 6.8). Special quadruple tests with bonded anchors with diameter $d = 24$ mm are carried out. The bond strength was 12 N/mm^2 (mortar HH) and 20 N/mm^2 (mortar ED).

In Fig. 6.10 the failure loads of the tests with anchors M24 are plotted. It can be recognized, that the failure loads of these tests are lower than the failure loads according the model for bonded anchors. Therefore concrete cone failure must be checked. If the concrete cone failure load predicted by the CC-method is lower than the calculated value according the model for bonded anchors, this load will be correct.

The failure load with fastenings of bonded anchors in uncracked concrete must be limited by the concrete cone failure load of headed anchors calculated according to the CC-method:

$$N_{u,m} = \min(N_{u,bond}; N_{u,conc})$$

with $N_{u,bond}$ according to eq. (6.1)
 $N_{u,conc}$ according to eq. (2.5)

9.5 Conclusions

In order to find a model for calculating the average failure loads of fastenings with bonded anchors FE-analysis and tests were done. Using the uniformed bond model to calculate the failure load of single anchors and the critical spacing $s_{cr} = 16d$ a good agreement between tests and calculations could found. However, the failure load of fastenings with bonded anchors must be limited by the concrete failure load calculated according CC-method for headed anchors.

10 LITERATUR

- ACI 318 (1996): Fastenings to Concrete, Code and Commentary CB-30, Final Draft, American Concrete Institute, Detroit, 1996.
- Brecht, T., Meszaros, J. (1999): „Untersuchungen zum Einfluß des Durchmessers der Ankerstange auf das Tragverhalten von zugbeanspruchten Einzelbefestigungen mit Injektionsdübeln M8, M12, M16, M24“, IWB-Bericht No. 99/11-2/17, Stuttgart 1999, nicht veröffentlicht.
- CEB (1994): Comité Euro-International du Béton: Fastanings to Concrete and Masonry Structures. Bulletin D´Information No.216, Lausanne, published by Thomas Telford, London 1994
- Cook, R. A., Doerr, G. T., Klingner, R. E. (1993): „Bond Stress Model for Design of Adhesive Anchors“, ACI Structural Journal, September-October 1993, p. 514 – 524.
- Cook, R., A., Bishop, M. C., Hagedoorn, H. S., Sikes, D. E., Richardson, D. S., Adams, T. L., De Zee, C. T. (1994): „Adhesive Bonded Anchors: Bonded Properties and Effects of In-Service and Installation Conditions“. Structural and Materials Research Report No.94-2A, University of Florida, 1994.
- Cook, R. A., Kunz, J., Fuchs, W., Konz, R. C. (1998): „Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete“, ACI Structural Journal, V. 95, No.1, 1998, S. 9-26.
- Deutsches Institut für Bautechnik (1993): „Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung in Beton. Berlin“, Juni 1993.
- Doerr, G. T., Klingner, R. E. (1989): „Adhesive Anchors: Behavior and spacing Requirements“, Res. Rep. No 1126-2, Univ. of Texa Austin, march 1989.
- Eligehausen, R., Mallée, R., Rehm, G. (1997): „Befestigungstechnik“, in Betonkalender, Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1997.
- EOTA (1999): European Organisation for Technical Approvals: „Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel zur Verankerung im Beton“.

- Fuchs, W., Eligehausen, R. (1995): „Das CC-Verfahren für die Berechnung der Betonausbruchlast von Verankerungen“, Beton- und Stahlbetonbau 90 (1995), H. 1, S. 6 - 9; H.2, S. 38 - 44; H.3, S. 73 - 76.
- HEG (1993): Bericht Nr. 93-183 vom 24.11.93 der Hilti-Entwicklungsgesellschaft in Kaufering: „HIT - Neu HY 150 - QE/QN - Test“.
- Hilt, J. (1996): „Tragverhalten von unter zentrischem Zug beanspruchten Vierfachbefestigungen“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1996.
- Hofmann, R. (1996): „Wirtschaftlichkeit von Befestigungen“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1996.
- Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1): Prüfungsbericht der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil vom 29.04.1980 über „Hilti-Verbundanker HVA auf unbewehrten Betonelementen verschiedener Festigkeitsklassen: Zuglastverhalten von Einzeldübeln in der Fläche und im Randbereich, Zuglastverhalten von Dübelpaaren ohne Randeinfluß, Zuglastverhalten von Dübelgruppen ohne Randeinfluß“.
- Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/2): Prüfungsbericht der Höheren Technischen Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil vom 04.10.1980 über „Hilti-Verbundanker HVA auf unbewehrten Betonelementen verschiedener Festigkeitsklassen: Querlastverhalten von Einzeldübeln und Dübelgruppen in der Fläche und im Randbereich, Zuglastverhalten von Dübelgruppen in der Fläche und im Randbereich“.
- ITW (1988): Bericht Nr. TR-188 von Techmat Inc.: „EPCON-Ceramic 6 Epoxy Anchor Tests Results of Tests on the ITW Ramset Epcon System“, Jan. 1988.
- Jänicke, B. (1997): „Historische Entwicklung der Befestigungstechnik im Bauwesen“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1997.
- Kobarg, J. (1982): „Verbundfestigkeit von nachträglich mit Reaktionsharz vermörtelten Betonstählen in Beton“, Institut für Beton und Stahlbeton, Universität Karlsruhe - Bundesministerium für Bauordnung, Bauwesen und Städtebau, Forschungsbericht B15-800 180, Karlsruhe 1982.

- Krishnamurthy, K. (1996): „Development of a Viscoplastic Consistent-Tangent FEM Model with Applications to Adhesive-Bonded Anchors“, PhD Thesis, University of Florida, Gainesville, 1996.
- Kunz, J. et al. (1998): „Tragverhalten und Bemessung von chemischen Befestigungen“, Beton- und Stahlbetonbau 1998, Hefte 1 und 2, Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1998.
- Lang, G. (1979): „Festigkeitseigenschaften von Verbundanker-Systemen“, Bauingenieur, 55. Jahrgang (1979), S. 41 - 46.
- Lehr B., Eligehausen R. (1996): „Confined Tests with Bonded Anchors (Injection Type) M8 and M12“ , IWB-Report No. 20/05-96/17, Stuttgart 1996, nicht veröffentlicht.
- Lehr B., Eligehausen R. (1997/1): „Unconfined Axial Tensile Tests of Single Bonded Anchors in Non-cracked Concrete far away from the edge“, IWB-Report No. 20/14-97/17, Stuttgart 1997, nicht veröffentlicht.
- Lehr B., Eligehausen R. (1997/2): „Confined Tests with Bonded Anchors M16 (Injection Type)“, IWB-Report No. 20/15-97/20, Stuttgart 1997, nicht veröffentlicht.
- Lehr B., Eligehausen R. (1997/3): „Confined and Unconfined Axial Tensile Tests with Single Bonded Anchors M8, M12 and M16 (mortar SP)“, IWB-Report No. 20/15-97/18, Stuttgart 1997, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Eligehausen, R. (1998/1): „Zusammenfassender Bericht über zentrische Ausziehversuche mit Verbunddübeln M8, M12 und M16 mit weiter und enger Abstützung“, IWB-Bericht Nr. 20/24-98/4, Stuttgart 1998, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Eligehausen, R. (1998/2): „Vorschlag eines Bemessungskonzeptes für Verbundanker“, IWB-Bericht Nr. 20/25-98/6, Stuttgart 1998, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Eligehausen, R. (1998/3): „Zusammenstellung und Auswertung von zentrischen Zugversuchen mit Verbundankern (Zweier-, Vierergruppen und Befestigungen am Bauteilrand)“, IWB-Bericht Nr. 20/25-98/6, Stuttgart 1998, nicht veröffentlicht.

- Lehr B., Eligehausen R. (1998/4): „Centric Tensile Tests of Quadruple Fastenings with Bonded Anchors“, IWB-Report No. 20/07-96/20, Stuttgart 1998, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Eligehausen, R. (1999/1): „Zusammenfassender Bericht über zentrische Ausziehversuche mit Verbunddübelgruppen“, IWB-Bericht in Vorbereitung, Stuttgart 1999.
- Lehr, B., Eligehausen R. (1999/2): „Auswertung und Vergleich verschiedener Bemessungsmodelle für den kritischen Achsabstand bei Verbundankergruppen“, IWB-Bericht Nr. 00/36 – 2/31, Stuttgart 2000, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Brecht, Th., Eligehausen, R. (2000): „Zentrische Zugversuche mit Verbunddübeln M12 und M24, Epoxysystem E bei enger Abstützung“, IWB-Bericht Nr. 00/23 – 2/30, Stuttgart 2000, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Eligehausen, R., Opferkuch, M. (2001): „Vergleich des Tragverhaltens von Gruppenbefestigungen mit Verbunddübeln und mit Kopfbolzen – experimentelle Untersuchungen“, IWB-Bericht Nr. 99/10 – 2/16, Stuttgart 2001, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Li, Y., Eligehausen, R. und Ozbolt, J. (1999): „3D Numerical Analysis of Quadruple Fastenings with bonded anchors“, IWB-Bericht 99/10 – 2/16, Stuttgart 1999, nicht veröffentlicht.
- Lehr, B., Eligehausen, R. (2003): „Zentrische Zugversuche mit Verbunddübelgruppen – Mörtel ED“, IWB-Bericht in Vorbereitung, Stuttgart 2003.
- Li, Y.-J., Lehr, B. (1998): „3D Numerical Analysis of Quadruple Fastenings with Bonded Anchors“, Beitrag im Jahresbericht 1997/98 Activities, Stuttgart 1999.
- McVay, M., Cook, R. A., Krishnamurthy, K. (1996): „Pullout Simulation of Postinstalled Chemically Bonded Anchors“, Journal of Structural Engineering, 1996.
- Meszaros, J. (2002): „Das Tragverhalten von Einzelverbunddübeln unter zentrischer Belastung“, Dissertation in Vorbereitung, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, 2002.

- Meszaros, J., Eligehausen, R. (1996): „Ausziehversuche mit Hilti Verbunddübeln HVA M12 und Injektionsankern HIT HY M12, die in gereinigte und nicht gereinigte Bohrlöcher gesetzt wurden“, IWB-Bericht Nr. 1/18-96/14, Stuttgart 1996, nicht veröffentlicht.
- Meszaros, J., Eligehausen, R. (1998): „Ausziehversuche mit Injektionsdübeln HH M12 bei gleichzeitiger Zweiaxialbelastung“, IWB-Bericht No. 1/100-98/3, Stuttgart 1998.
- Meszaros, J., Ozbolt, J., Jebara, K. (1999): „Finite-Element-Analysen des Tragverhaltens von Einzelbefestigungen mit Verbunddübeln“, IWB-Bericht Nr. 99/23-2/24, Stuttgart 1999, nicht veröffentlicht.
- Meszaros, J., Pregartner, T., Eligehausen, R. (1998): „Ausziehversuche mit Injektionsdübeln HIT-HY 150. Einfluß der Art der Abstützung, der Zuschlagskörnung, der Betonfestigkeit und der Bohrlochrauigkeit auf die maximale Auszugslast“, IWB-Bericht No. 1/99-98/2, Stuttgart 1998.
- Opferkuch, M. (2000): „Vergleich von Verbundankergruppen und Kopfbolzengruppen“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 2000.
- Ozbolt, J. (1996): „Microplane Model for Quasibrittle Materials - Part I Theorie“, IWB-Report No. 96-1a / AF, Stuttgart 1996.
- Ozbolt, J., Li, Y.-J., Kozar, I. (1996): „Microplane Model for Quasibrittle Materials - Part II Verification and Numerical Examples for Concrete“, IWB-Report No. 96-1b / AF, Stuttgart 1996.
- Ozbolt, J., Bazant, Z. P. (1996): „Numerical Smeared Fracture Analysis: Nonlocal Microcrack Interaction Approach“, IJNME, 39(4), 635 – 661.
- Popo-Ola, S. O., Newman, J. B. (1995): „Centril tensile tests of bonded anchors in non-cracked concrete“, IWB-Report No. 20/3-95/17, London/Stuttgart 1995, nicht veröffentlicht.
- Pukl, R., Ozbolt, J. (1997): „FE-Simulation von Verbunddübeln“, Beitrag im Jahresbericht 1996/97 Activities, Stuttgart 1997.
- Pukl, R., Ozbolt, J., Eligehausen, R. (1998): „Load-Carring Behavior of Bonded Anchors Based on FEM-Analysis“, IWB-Report No. 98/3-2/3, Stuttgart 1998.

- Rehm, G., Eligehausen, R., Mallée, R. (1984): „Befestigungen mit Verbundankern“, Betonwerk + Fertigteiltechnik, Oktober, November, Dezember 1984
- Rehm, G. (1985): „Langzeitverhalten von Hilti-Verbundankern HVA“. Gutachtliche Stellungnahme Nr. 22/07.85 vom 1.10.1985, nicht veröffentlicht.
- Rehm, G., Eligehausen, R., Mallée, R. (1988): „Befestigungstechnik“, Betonkalender 1988, Teil II, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn Berlin 1988
- Rössle, M., Meszaros, J. (1998/1): „Ausziehversuche an Einzelbefestigungen mit Injektionsdübeln M16: Einfluß von Bohrlochdurchmesser und Lage der Ankerstange im Bohrloch“, IWB-Bericht Nr. 98/8-2/5, Stuttgart 1998, nicht veröffentlicht.
- Rössle, M., Meszaros (1998/2): „Ausziehversuche an Einzelbefestigungen mit Injektionsdübeln HIT-HY 150 M12 - Einfluß des Setzens der Ankerstange“, IWB-Bericht Nr. 98/4-2/4, Stuttgart 1998, nicht veröffentlicht.
- Sandler, I. S., DiMaggio, F. L., Baladi, G. Y. (1976): „Generalized Cap Model for Geological Materials“, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 102, No. GT7, pp.683-699, 1976.
- Schou, A., Christiansen, M. W., Andersen, R. (1996): „Fracture analysis of bonded anchors“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart/Aalborg 1996.
- Sell, R. (1973): „Über Festigkeit und Verformung mit Reaktionsharzmörtelpatronen versetzten Betonankern“, Verbindungstechnik 1973, Heft 8, S. 11 - 16.
- Sell, R. (1974): Versuchsbericht Nr. 74053 vom 21.10.1974 über „Ausziehversuche Upat UKA 3 vermörtelter Gewindeanker zur Ermittlung der durch Betonbruch gekennzeichneten Höchstlasten bei geringem Rand-, Eck- und Achsabstand“.
- Sell, R. (1983): Versuchsbericht Nr. 82218 vom 11.10.1983 über „Die Schädigung des Betons im Lasteinleitungsbereich von Verbundankern UKA 3 in 4er-Anordnung, doppelter Einbindetiefe und kleinem Achsabstand bei Zugbelastung“.
- SIA 179 (1998): Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: SIA 179: Befestigungen in Beton und Mauerwerk, Empfehlung, Ausgabe 1998.

- Simo, J. C., Ju, J. W., Pister, K. S., Tayler, R. L. (1998): „Assessment of Cap Model, Consistent Return Algorithmus and Rate-Dependent Extension“, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 114, No.2, 1(1988), p. 126 – 138.
- Spieth, H. (1995): „Bemessung von Befestigungen mit Verbunddübeln in ungerissenem Beton“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1995.
- Unterweger, K. D. (1999): „Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von chemischen Verankerungen“, Dissertation, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur, Wien 1999
- Unterweger, K. D., Bergmeister, K. (1999): „Experimentelle und numerische Untersuchungen von Injektionsankern“, Beton- und Stahlbetonbau 94, Heft 12, S.524 - 536, 1999.
- Upat (1989): „Zugversuche mit UKA 3 M12 – K27, UKA 3 M12 – EAP und Hilti HEA M12 in Beton bei verschiedenen Temperaturen“. Bericht Nr. 1451, Emmendingen 1989, nicht veröffentlicht.
- Varga, J., Eligehausen, R. (1994): „Bending of Anchors“. Bericht Nr. 10/24-94/22, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, nicht veröffentlicht.
- Wagner, S., (1998): „Einfluß des Achsabstandes bei Vierfachbefestigungen mit Verbundankern in niederfestem und hochfestem Beton“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1998.
- Zaviliaris et. al. (1996): „An experimental Study of adhesively bonded anchorages in concrete“, Magazine of Concrete Research, 1996, 48, No. 175, June 79-93.
- Zhao, G. (1994): „Tragverhalten von randfernen Kopfbolzenverankerungen bei Betonbruch“, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, 1994.

- ANHANG A -

ZUSAMMENSTELLUNG
VON ZENTRISCHEN AUSZIEHVERSUCHEN
MIT VERBUNDDÜBELN AUS DER LITERATUR
(ZWEIER-, VIERERGRUPPEN UND
BEFESTIGUNGEN AM BAUTEILRAND)

INHALT

Tabelle A 1:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (HEG (1993))	1
Tabelle A 2:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (HEG (1993))	2
Tabelle A 2:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (HEG (1993))	3
Tabelle A 3:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (HEG (1993))	4
Tabelle A 3:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (HEG (1993))	5
Tabelle A 4:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (ITW (1988))	6
Tabelle A 5:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (ITW (1988))	6
Tabelle A 6:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (ITW (1988))	7
Tabelle A 7:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (Sell (1974))	8
Tabelle A 8:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (Sell (1974))	9
Tabelle A 9:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Bauteilecke mit Verbunddübeln (Sell (1974))	10
Tabelle A 10:	Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (Sell (1974))	11

Tabelle A 11:	Mittelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1))	12
Tabelle A 12:	Mittelwerte der zentrischen Zugversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2))	13
Tabelle A 13:	Mittelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1))	14
Tabelle A 14:	Mittelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1))	15

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		ACHSABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}		F _U	F _{U,mittel}	V
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
8	1	80	10	40	0,5	32,0	38,6	39,8	6,2
	2						36,2		
	3						41,2		
	4						42,7		
	5						40,3		
10	1	90	9	45	0,5	32,0	69,1	70,0	1,2
	2						70,5		
	3						70,2		
	4						70,9		
	5						69,0		
12	1	110	9,2	55	0,5	32,0	85,0	84,9	5,0
	2						88,1		
	3						89,7		
	4						79,2		
	5						82,6		
16	1	125	7,8	62,5	0,5	32,0	82,7	93,7	11,3
	2						110,1		
	3						91,5		
	4						97,3		
	5						87,1		
20	1	170	8,5	85	0,5	32,0	194,7	180,8	8,6
	2						178,1		
	3						160,0		
	4						190,4		
24	1	210	8,75	105	0,5	32,0	199,8	220,2	6,9
	2						224,2		
	3						241,4		
	4						213,2		
	5						222,6		

Tabelle A 1: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (HEG (1993))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}		F_U	$F_{U,mittel}$	V
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
8	1	80	10	40	0,5	32,0	22,8	22,1	2,8
	2						22,5		
	3						55,0		
	4						21,9		
	5						22,0		
	6						22,1		
	7						22,6		
	8						20,6		
	9						22,3		
	10						21,7		
10	1	90	9	45	0,5	32,0	33,6	34,2	3,2
	2						33,3		
	3						34,6		
	4						34,1		
	5						34,2		
	6						35,2		
	7						31,9		
	8						34,5		
	9						35,8		
	10						34,8		
12	1	110	9,2	55	0,5	32,0	48,3	45,5	5,3
	2						42,6		
	3						45,4		
	4						42,3		
	5						42,4		
	6						48,0		
	7						47,2		
	8						44,5		
	9						47,9		
	10						46,0		

Tabelle A 2: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (HEG (1993))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}		F_U	$F_{U,mittel}$	V
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
16	1	125	7,8	62,5	0,5	32,0	53,1		
	2						52,4		
	3						62,0		
	4						59,6		
	5						51,7		
	6						43,1		
	7						51,1		
	8						52,2		
	9						45,3		
	10						57,0		
							52,7	11,0	
20	1	170	8,5	85	0,5	32,0	107,5		
	2						103,8		
	3						100,0		
	4						113,3		
	5						103,9		
	6						103,8		
	7						109,0		
	8						107,2		
	9						110,4		
	10						105,2		
							105,5	5,7	
24	1	210	8,7	105	0,5	32,0	134,2		
	2						116,7		
	3						116,4		
	4						126,0		
	5						119,0		
	6						125,5		
	7						125,5		
	8						127,1		
							123,8	4,9	

Tabelle A 2: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (HEG (1993))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d		F_U	$F_{U,mittel}$	V
mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
8	1	80	10	35,0	30,9	27,3	7,2
	2				28,8		
	3				24,6		
	4				25,5		
	5				27,3		
	6				37,2		
	7				24,9		
	8				26,8		
	9				29,1		
	10				27,6		
10	1	90	9	35,0	41,8	39,8	6,2
	2				39,9		
	3				37,9		
	4				35,0		
	5				38,6		
	6				38,7		
	7				42,1		
	8				40,5		
	9				43,8		
	10				40,0		
12	1	110	9,2	35,0	57,4	58,5	4,7
	2				63,8		
	3				55,9		
	4				56,7		
	5				59,7		
	6				55,1		
	7				59,3		
	8				62,1		
	9				58,0		
	10				57,2		

Tabelle A 3: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (HEG (1993))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d		F_U	$F_{U,mittel}$	V
mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
16	1	125	7,8	35,0	81,8	74,5	6,4
	2				78,9		
	3				77,3		
	4				71,2		
	5				68,7		
	6				72,3		
	7				72,4		
	8				68,0		
	9				74,9		
	10				79,9		
20	1	170	8,5	52,0	128,9	125,2	13,7
	2				134,9		
	3				126,1		
	4				126,8		
	5				131,8		
	6				131,1		
	7				127,2		
	8				80,5		
	9				118,8		
	10				145,4		
24	1	210	8,7	35,0	142,8	142,1	13,3
	2				170,8		
	3				151,7		
	4				121,4		
	5				131,9		
	6				164,2		
	7				148,3		
	8				119,5		
	9				117,4		
	10				152,8		

Tabelle A 3: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (HEG (1993))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		ACHSABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}		F _U	F _{U,mittel}	V
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
9,5	1	84,1	8,8	38,1	0,45	29,8	53,1	53,2	10,9
	2						56,8		
	3						59,8		
	4						51,9		
	5						44,5		
15,8	1	141,1	8,9	63,5	0,45	29,8	141,3	126,0	12,5
	2						129,0		
	3						133,3		
	4						99,6		
	5						126,6		

Tabelle A 4: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (ITW (1988))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}		F _U	F _{U,mittel}	V
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
9,5	1	84,1	8,8	38,1	0,45	29,6	33,2	32,6	14,8
	2						34,1		
	3						39,5		
	4						26,9		
	5						29,3		
15,8	1	141,1	8,9	63,5	0,45	29,6	68,9	75,4	6,1
	2						78,7		
	3						78,9		
	4						78,5		
	5						72,1		

Tabelle A 5: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (ITW (1988))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d		F_U	$F_{U,mittel}$	V
mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
9,5	1	84,1	8,8	29,6	34,1	38,1	7,6
	2				37,7		
	3				41,9		
	4				39,5		
	5				37,1		
15,8	1	141,1	8,9	29,6	107,1	101,6	3,3
	2				97,8		
	3				100,9		
	4				100,9		
	5				101,7		

Tabelle A 6: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (ITW (1988))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		ACHSABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN				
		h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}		F _U	F _{U,mittel}	V		
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%		
10	1	90	9	100	1,11	29,0	55,0	----	----		
	2			150	1,66	29,0	69,8				
	3			200	2,22	29,0	68,3				
12	1			100	0,91	19,6	60,9	75,3	----		
	2					89,7					
	3					24,4	101,6				
	4					29,0	97,7				
	5					38,3	131,9			96,4 ¹⁾	26,4
	6					19,6	89,1			87,4 ²⁾	6,1
	7			81,4							
	8			91,7							
	9			24,4	95,0						
	10			29,0	100,2						
	11			38,3	116,8	126,5 ³⁾	----				
	12			140,2	102,1 ⁴⁾						
	13			19,6	92,7						
	14			29,5	109,7	101,2	----				
16	15			100	0,8	24,4	104,5	137,5 ⁵⁾	----		
	16					150	1,2			24,4	140,2
	17					134,9					
	18			28,0	161,2	145,4 ⁶⁾	9,6				
	19			200	1,6	35,0	170,4	162,2	13,8		
	20						189,8				
	21						167,0				
	22						175,8				
	23						138,2				
	24						132,2				

- 1) Die große Streuung der Versuche ist vermutlich auf die sehr unterschiedliche Betonfestigkeit zurückzuführen.
- 2) Mittelwert aus Versuch 6 bis 8.
- 3) Mittelwert aus Versuch 11 und 12.
- 4) Mittelwert aus Versuch 6 bis 12. Die große Streuung der Versuche ist vermutlich auf die sehr unterschiedliche Betonfestigkeit zurückzuführen.
- 5) Mittelwert aus Versuch 16 und 17.
- 6) Mittelwert aus Versuch 16 bis 18.

Tabelle A 7: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (Sell (1974))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN				
		h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}		F _U	F _{U,mittel}	V		
mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%		
10	14	90	9	30	0,33	29,0	27,0	30,9	0,7		
	5			60	0,67	29,0	31,0				
	8						31,0				
	22						30,6				
	1			90	1,0	29,0	35,4				
	22						35,0	35,2	----		
12	10	110	9,2	30	0,27	29,0	36,2	33,0	----		
	11						29,8				
	3			60	0,55	29,0	43,2	45,9	----		
	16						48,7				
	6			90	0,82	29,0	60,5	58,0	----		
	15						55,5				
	1			120	1,09	29,0	63,8				
	18						62,6	63,2	----		
16	3	125	7,8	60	0,48	28,0	60,4	----	----		
	2								91,5		
	4								95,6	93,5	----

Tabelle A 8: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (Sell (1974))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND				BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	VERSAGEN		
		h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}	c	c / h_{ef}		F _U	F _{U,mittel}	V
mm	----	mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
10	1	90	9	60	0,67	60	0,67	29,0	24,2	25,7	----
	2			27,2							
	3			60	0,67	90	1,0	29,0	32,0	----	----
	4			90	1,0	90	1,0	29,0	40,2	----	----
12	1	110	9,2	60	0,55	60	0,55	38,3	34,6	----	----
	2			60	0,55	90	0,82	38,3	46,4	----	----
	3			90	0,82	90	0,82	38,3	45,6	----	----
16	1	125	7,8	60	0,48	60	0,48	28,0	47,4	39,6	----
	2			24,4	31,7						
	3			60	0,48	90	0,72	24,4	37,3	----	----
	4			90	0,72	90	0,72	24,4	38,3	----	----
	5			60	0,48	120	0,96	28,0	66,4	54,0	----
	6			24,4	41,7						

Tabelle A 9: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Bauteilecke mit Verbunddübeln (Sell (1974))

Ø	VERSUCH	VERANKERUNGST.		BETONFESTIG- KEIT f _{cc}	VERSAGEN		
		h _{ef}	h _{ef} / d		F _U	F _{U,mittel}	V
mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	kN	%
10	2	90	9	29,0	29,8		
	4				38,2		
	6				31,0		
	7				41,3		
	11				36,4		
	12				35,4		
	13				29,4		
	16				43,5		
12	2	110	9,2	29,0	74,8	74,3 ¹⁾	----
	7				73,9		
	4			38,3	84,7	75,9 ²⁾	----
	5				67,2	75,1 ³⁾	9,6
16	1	125	7,8	28,0	80,9	87,7 ⁴⁾	----
	X			94,6			
	Y			24,2	66,6	72,6 ⁵⁾	----
	Z			78,7	80,2 ⁶⁾	14,3	

- 1) Mittelwert aus Versuch 2 und 7.
- 2) Mittelwert aus Versuch 4 und 5.
- 3) Mittelwert aus Versuch 2, 7, 4 und 5.
- 4) Mittelwert aus Versuch 1 und X.
- 5) Mittelwert aus Versuch 1, X und Y.
- 6) Mittelwert aus Versuch 1, X, Y und Z.

Tabelle A 10: Einzelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (Sell (1974))

\emptyset	VERANKE- RUNGS- TIEFE h_{ef}	h_{ef} / d	ACHSAB- STAND s	s / h_{ef}	RANDAB- STAND c	c / h_{ef}	BETON- FESTIG- KEIT f_{cc}	AN- ZAHL	VERSA- GENSLAST F_u
mm	mm	-----	mm	-----	mm	-----	N/mm ²	-----	kN
8	80	10	40	0,5	-----	-----	16	8	35,9
							43	5	52,0
			80	1,0	-----	-----	16	8	38,4
10	90	9	45	0,5	-----	-----	16	8	53,9
							43	5	76,2
			67,5	0,75	-----	-----	43	5	80,0
			90	1,0	-----	-----	16	8	76,2
12	110	9,2	55	0,5	-----	-----	16	5	69,6
							43	5	112,6
			110	1,0	-----	-----	16	5	71,0
16	125	7,8	62,5	0,5	-----	-----	23	5	138,0
							43	5	174,8
			93,7	0,75	-----	-----	43	5	194,0
			125	1,0	-----	-----	23	4	153,5
							43	5	193,4
20	170	7,1	85	0,5	-----	-----	16	3	144,0
							45	5	234,0
			170	1,0	-----	-----	16	4	174,5
							45	5	280,0
24	210	8,7	105	0,5	-----	-----	18	3	200,0
							40	2	357,0
			210	1,0	-----	-----	18	3	211,7
							40	3	393,3

Tabelle A 11: Mittelwerte der zentrischen Zugversuche mit Zweifachbefestigungen mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1))

\emptyset	VERANKE- RUNGS- TIEFE h_{ef}	h_{ef} / d	ACHSAB- STAND s	s / h_{ef}	RANDAB- STAND c	s / h_{ef}	BETON- FESTIG- KEIT f_{cc}	AN- ZAHL	VERSA- GENSLAST F_u
mm	mm	----	mm	----	mm	----	N/mm ²	----	kN
8	80	10	40	0,5	----	----	24	5	73,2
12	110	9	55	0,5	----	----	24	5	123,0
24	210	9	105	0,5	----	----	24	3	335,0
8	80	10	40	0,5	----	----	14,0	5	53,0
			80	1,0	----	----	14,0	5	61,6
			40	0,5	----	----	38,0	5	85,4
			80	1,0	----	----	38,0	5	99,2
			40	0,5	40	0,5	14,0	5	30,8
			80	1,0	80	1,0	14,0	5	51,3
			40	0,5	40	0,5	38,0	5	53,2
			80	1,0	80	1,0	38,0	5	86,9
10	90	9	45	0,5	----	----	14	5	75,0
			90	1,0	----	----	14	5	86,8
			45	0,5	----	----	38	5	112,0
			90	1,0	----	----	38	5	146,4
12	110	9,2	55	0,5	----	----	15	8	96,6
			110	1,0	----	----	15	8	100,1
			55	0,5	----	----	27	5	154,4
			110	1,0	----	----	27	5	191,2
			55	0,5	55	0,5	15	5	55,4
			110	1,0	110	1,0	15	5	90,0
			55	0,5	55	0,5	27	5	88,8
			110	1,0	110	1,0	27	5	144,6
16	125	7,8	62,5	0,5	----	----	14	5	116,4
			125	1,0	----	----	14	5	133,6
			62,5	0,5	----	----	36	5	247,7
			125	1,0	----	----	36	3	303,3
20	170	8,5	85	0,5	----	----	12	3	181,7
			170	1,0	----	----	12	3	250,0
			85	0,5	----	----	26	5	320,0
			170	1,0	----	----	26	4	371,3
24	210	8,7	105	0,5	----	----	13	2	241,5
			210	1,0	----	----	13	3	318,3
			105	0,5	105	0,5	13	3	149,0
			210	1,0	210	1,0	13	3	250,3

Tabelle A 12: Mittelwerte der zentrischen Zugversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1), (1980/2))

\emptyset	VERANKE- RUNGSTIEFE h_{ef}	h_{ef} / d	RANDAB- STAND c	c / h_{ef}	BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	AN- ZAHL	VERSA- GENSLAST F_u
mm	mm	-----	mm	-----	N/mm ²	-----	kN
8	80	10	20	0,25	43,0	5	19,9
			40	0,5	16,0	13	11,2
					43,0	5	24,4
			80	1,0	16,0	3	22,8
					43,0	3	26,2
10	90	9	22,5	0,25	43,0	5	24,9
			45	0,5	16,0	13	15,3
					43,0	3	34,0
			90	1,0	16,0	3	29,0
					43,0	3	41,0
			112,5	1,25	16,0	5	28,6
135	1,5	16,0	3	31,3			
12	110	9,2	27,5	0,25	43,0	5	36,0
			55	0,5	16,0	13	22,8
					43,0	3	45,5
			110	1,0	16,0	3	35,2
					43,0	3	57,3
			137,5	1,25	16,0	5	39,1
165	1,5	16,0	3	39,5			
16	125	7,8	31,25	0,25	43,0	5	57,0
			62,5	0,5	15,0	5	25,1
					16,0	4	35,3
					23,0	5	51,3
					43,0	5	80,4
			93,75	0,75	43,0	5	91,4
			125	1,0	23,0	5	67,0
					43,0	5	100,0
156,25	1,25	23,0	5	80,8			
43,0	5	98,4					
20	170	7,1	42,5	0,25	45,0	3	84,7
			85	0,5	16,0	3	71,0
					45,0	5	124,6
			127,5	0,75	45,0	3	126,0
					170	1,0	16,0
			255	1,5	45,0	3	160,0
16,0	3	114,0					
24	210	8,7	52,5	0,25	40,0	3	126,7
			105	0,5	17,0	3	100,7
					40,0	3	172,0
			210	1,0	17,0	3	128,3
					40,0	3	226,0
315	1,5	17,0	5	145,8			

Tabelle A 13: Mittelwerte der zentrischen Zugversuche am Bauteilrand mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1))

Ø	VERANKERUNGST.		BETONFESTIG- KEIT f_{cc}	ANZAHL	VERSAGEN	
	h_{ef}	h_{ef} / d			F_U	V
mm	mm	-----	N/mm ²	-----	kN	%
8	80	10	16	9	19,8	13,4
			43	3	26,2	2,6
10	90	9	16,0	9	31,8	10,1
			43,0	3	41,3	1,4
12	110	9,2	16,0	9	39,3	8,3
			43,0	3	57,0	-----
16	125	7,8	15,0	3	50,0	4,0
			16,0	3	70,3	3,7
			23,0	4	61,3	6,6
			43,0	7	104,3	3,5
20	170	8,5	16,0	3	112,7	4,5
			45,0	3	152,3	1,4
27	210	8,7	16,0	3	164,7	2,5
			18,0	3	136,3	9,5
			40,0	3	220,3	7,4

Tabelle A 14: Mittelwerte der zentrischen Zugversuche in der Fläche (Vergleichsversuche) mit Verbunddübeln (Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt, Rankweil (1980/1))

- ANHANG B -

ZUSAMMENSTELLUNG
VON ZENTRISCHEN AUSZIEHVERSUCHEN
MIT VERBUNDDÜBELGRUPPEN

INHALT

Tabelle B1:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25$ N/mm ²	1
Tabelle B2:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 55$ N/mm ²	5
Tabelle B3:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25$ N/mm ²	7
Tabelle B4:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M16, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25$ N/mm ²	13
Tabelle B5:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M24, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25$ N/mm ²	13
Tabelle B6:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 25$ N/mm ²	14
Tabelle B7:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 55$ N/mm ²	17
Tabelle B8:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M16, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 55$ N/mm ²	19
Tabelle B9:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M24, Mörtel ED	20

Tabelle B10:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø15,9, Mörtel D (Spieth (1995))	21
Tabelle B11:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø12,7, Mörtel D (Spieth (1995))	22
Tabelle B12:	Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø15,9, Mörtel B (Spieth (1995))	22

Quellen:

- [1] Lehr B., Eligehausen R. (1996): „Confined Tests with Bonded Anchors (Injection Type) M8 and M12 , IWB-Report No. 20/05-96/17, Stuttgart 1996, nicht veröffentlicht
- [2] Hilt, J. (1996): „Tragverhalten von unter zentrischem Zug beanspruchten Vierfach-befestigungen“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1996.
- [3] Wagner, S., (1998): „Einfluß des Achsabstandes bei Vierfachbefestigungen mit Verbundankern in niederfestem und hochfestem Beton“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 1998.
- [4] Opferkuch, M. (2000): „Vergleich von Verbundankergruppen und Kopfbolzensgruppen“, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Stuttgart 2000.
- [5] Lehr, B., Eligehausen, R. (2003): „Zentrische Zugversuche mit Verbunddübelgruppen – Mörtel ED“, IWB-Bericht in Vorbereitung, Stuttgart 2003.

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE			
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ					
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----			
8/4-6-1/1	48	6	48	1,0	260	25,9	28,7	0,6	CCB	9.10.95	[1]			
8/4-6-1/2							31,2	0,4	CCB					
8/4-6-1/3							32,1	0,5	CCB					
8/4-6-1/4							31,4	0,3	CCB					
WH8/4-6-1,0/1	48	6	48	1,0	200	26,5	29,9	0,9	CCB	21.01.97	[3]			
WH8/4-6-1,0/2							25,8	0,9	CCB					
WH8/4-6-1,0/3							26,9	0,9	CCB					
8/4-8-1/1	64	8	64	1,0	90	26,7	31,7	0,6	CCB	13.06.95	[1]			
8/4-8-1/2							29,5	0,6	CCB					
8/4-8-1/3							34,0	0,8	CCB					
8/4-8-1/4					260	32,7	56,1	0,8	CCB	9.08.95				
8/4-8-1/5												57,6	0,7	CCB
8/4-8-1/6												58,3	1,0	CCB
8/4-8-1/7					340	23,5	51,1	0,7	CCB	5.10.95				
8/4-8-1/8												52,0	0,7	CCB
8/4-8-1/9												49,7	0,6	CCB

Tabelle B1: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef}/d	s	s/h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
8/4-8-1,5/1	64	8	96	1,5	180	33,7	67,7	1,3	CCB	8.08.95	[1]
8/4-8-1,5/2							65,5	0,8	CCB		
8/4-8-1,5/3							67,6	1,3	CCB		
8/4-8-1,5/4							69,3	1,3	CCB		
8/4-8-2/1	64	8	128	2,0	180	33,7	76,9	1,6	CCB	9.08.95	[1]
8/4-8-2/2							70,4	1,6	CCB		
8/4-8-2/3							75,5	1,6	CCB		
8/4-8-2/4							90,7	1,5	CCB		
8/4-8-2,5/1	64	8	160	2,5	220	27,6	80,9	1,9	CCB	7.08.95	[1]
8/4-8-2,5/2					260	32,7	73,3	1,8	CCB		
8/4-8-2,5/3							76,8	2,0	CCB		
8/4-10-1/1	80	10	80	1,0	340	23,5	79,0	1,4	CCB	5.10.95	[1]
8/4-10-1/2							67,3	1,0	CCB		
8/4-10-1/3					260	25,9	72,8	1,2	CCB	9.10.95	
8/4-10-1/4							72,3	0,9	CCB		

Tabelle B1: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
WH8/4-10-1,0/1	80	10	80	1,0	240	26,5	64,5	1,4	CCB	15.01.97	[3]
WH8/4-10-1,0/2							66,7	1,3	CCB		
WH8/4-10-1,0/3					240	28,8	71,4	1,6	CCB	21.01.97	
WH8/4-10-1,0/4							69,6	1,3	CCB		
WH8/4-10-1,5/1	80	10	120	1,5	280	27,3	76,2	1,2	CCB	20.12.96	[3]
WH8/4-10-1,5/2							82,2	1,2	CCB		
WH8/4-10-1,5/3							72,8	1,2	CCB		
WH8/4-10-1,5/4							65,3	1,1	CCB		
WH8/4-12-0,5/1	96	12	48	0,5	240	26,5	72,9	1,4	CCB	15.01.97	[3]
WH8/4-12-0,5/2							58,7	1,1	CCB / SP		
WH8/4-12-0,5/3							55,1	1,9	CCB		
WH8/4-12-0,5/4							68,4	1,8	CCB		
8/4-12-1/1	96	12	96	1,0	120	26,4	49,3	0,8	CCB	8.06.95	[1]
8/4-12-1/2							37,0	0,6	CCB		
8/4-12-1/3							40,9	0,8	CCB		

Tabelle B1: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
WH8/4-12-1,5/1	96	12	144	1,5	240	28,8	110,1	2,7	B	20.12.96	[3]
WH8/4-12-1,5/2							102,0	2,0	CCB / S		
WH8/4-12-1,5/3							106,1	1,6	CCB	7.01.97	
WH8/4-12-1,5/4							109,5	1,9	CCB		
8/4-16-1/1	128	16	128	1,0	150	27,8	69,7	1,3	CCB	27.06.95	[1]
8/4-16-1/2							69,4	1,2	CCB		
8/4-16-1/3							70,3	1,2	CCB		
8/4-20-11	160	20	160	1,0	180	28,1	104,0	2,7	CCB	12.07.95	[1]
8/4-20-1/2							86,3	1,3	CCB		
8/4-20-1/3							90,3	1,2	CCB		

Tabelle B1: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
WH8/4H-6-1,0/1	48	6	48	1,0	200	62,1	40,6	0,2	CC	8.01.97	[3]
WH8/4H-6-1,0/2							41,2	0,5	CC		
WH8/4H-6-1,0/3							25,7	0,4	CC		
WH8/4H-6-1,0/4							34,8	0,4	CC		
WH8/4H-8-1,0/1	64	8	64	1,0	200	62,1	58,6	0,9	CC	8.01.97	[3]
WH8/4H-8-1,0/2							55,7	0,7	CC		
WH8/4H-8-1,0/3							54,1	0,8	CC		
WH8/4H-8-1,0/4							56,4	1,0	CC		
WH8/4H-10-1,0/1	80	10	80	1,0	240	63,7	88,5	1,3	CC	9.01.97	[3]
WH8/4H-10-1,0/2							93,7	1,0	CCB		
WH8/4H-10-1,0/3							89,2	1,5	CCB		

Tabelle B2: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH; $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
WH8/4H-12-0,5/1	96	12	48	0,5	400	54,0	102,3	1,2	CCB1	21.02.97	[3]
WH8/4H-12-0,5/2							101,0	1,2	CCB1		
WH8/4H-12-0,5/3							103,5	0,6	CCB1		
WH8/4H-12-0,5/4							99,5	0,5	CCB1		
WH8/4H-12-1,0/1	96	12	96	1,0	240	63,7	116,8	1,1	CCB	9.01.97	[3]
WH8/4H-12-1,0/2							107,2	1,3	B		
WH8/4H-12-1,0/4							102,1	1,2	CCB		
WH8/4H-12-1,5/1	96	12	144	1,5	400	54,0	140,3	2,5	CCB	21.02.97	[3]
WH8/4H-12-1,5/2							113,0	1,6	CCB		
WH8/4H-12-1,5/3							134,5	2,1	CCB		
WH8/4H-12-1,5/4							141,4	2,3	CCB		

Tabelle B2: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M8, Mörtel HH; $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE						
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ								
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----						
12/4-4-1/1	48	4	48	1,0	90	26,7	26,5	----	CC	14.06.95	[1]						
12/4-4-1/2							23,9	1,1	CC								
12/4-4-1/3							24,7	0,5	CC								
12/4-4-1/4							25,5	0,4	CC								
12/4-4-1/5					180	33,7	37,3	0,4	CCB			9.08.95					
12/4-4-1/6															39,3	0,4	CCB
12/4-4-1/7															38,8	0,5	CCB
12/4-4-1/8															37,4	0,4	CCB
12/4-4-1,5/1	48	4	72	1,5	90	26,7	32,9	0,4	CC	20.06.95	[1]						
12/4-4-1,5/2							31,9	0,5	CC								
12/4-4-1,5/3							35,7	0,3	CCB								
12/4-4-1,5/5							27,3	1,1	CCB								
12/4-4-1,5/6					340	35,7	32,3	0,9	CCB	17.08.95							
12/4-4-1,5/7													26,8	0,5	CCB		
12/4-4-1,5/8													28,0	0,6	CCB		
12/4-4-1,5/9													30,6	0,5	CCB		
12/4-4-1,5/11					330	22,4	32,4	0,3	CCB	20.09.95							
12/4-4-1,5/12													32,0	0,2	CCB		
12/4-4-1,5/13													24,9	0,4	CCB		
12/4-4-1,5/14													25,9	0,3	CCB		

Tabelle B3: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE				
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ						
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----				
12/4-4-2/1	48	4	96	2,0	90	26,7	43,3	0,5	CC	23.06.95	[1]				
12/4-4-2/2							41,3	0,4	CC						
12/4-4-2/3							42,4	0,5	CC						
12/4-4-2/4							39,1	0,5	CC						
12/4-4-2/5					180	33,7	60,4	0,7	CCB	18.08.95					
12/4-4-2/6													51,4	0,7	CCB
12/4-4-2/7													46,8	0,5	CCB
12/4-4-2/8													49,4	0,8	CCB
12/4-4-2,5/1	48	4	120	2,5	90	26,7	44,2	0,7	CCB	23.06.95	[1]				
12/4-4-2,5/2							30,5	0,4	CCB						
12/4-4-2,5/3							41,1	0,6	CCB						
12/4-4-2,5/4							43,1	0,5	CCB						
12/4-4-2,5/5					120	26,4	44,3	0,7	CCB	24.06.95					
12/4-4-2,5/6													38,6	0,4	CCB
12/4-4-2,5/7													40,1	0,3	SP
12/4-4-2,5/8													33,1	0,3	SP
12/4-4-2,5/9					180	33,7	52,0	0,5	CCB	16.08.95					
12/4-4-2,5/10													62,8	0,5	CCB
12/4-4-2,5/11													240	32,3	53,3

Tabelle B3: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE	
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ			
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----	
12/4-4-3/1	48	4	144	3,0	100	29,8	47,6	0,5	CCB	6.07.95	[1]	
12/4-4-3/2							39,6	0,3	CCB			
12/4-4-3/3							45,3	0,6	CCB			
12/4-4-3/4							39,3	0,4	CCB			
12/4-4-3/5					180	28,1	63,6	0,9	CCB			11.08.95
12/4-4-3/6							71,7	0,8	CCB			
12/4-4-3/7					33,7	68,7	1,1	CCB	15.08.95			
12/4-4-3/8						54,4	1,5	CCB1				
12/4-4-3/9						71,7	0,6	CCB1				
12/4-4-3/10					23,5	67,7	0,7	CCB	22.09.95			
12/4-4-3/11						68,4	----	CCB				
WH12/4-6-1,0/1	72	6	72	1,0	160	28,9	64,7	0,7	CCB	28.11.96	[3]	
WH12/4-6-1,0/2							62,5	0,5	CCB			
WH12/4-6-1,0/3					200	26,5	61,8	0,7	CCB	10.12.96		
WH12/4-6-1,0/4							62,9	0,4	CCB			

Tabelle B3: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE	
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ			
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----	
12/4-8-2,5/1	96	8	240	2,5	240	23,4	106,0	2,3	CCB	7.09.95	[1]	
12/4-8-2,5/2							134,3	1,6	CCB			
12/4-8-2,5/3							100,4	1,4	CCB			
12/4-8-2,5/4							114,5	1,3	CCB			
12/4-8-2,5/5					340	23,5	182,9	1,8	CCB			6.10.95
12/4-8-2,5/6					260	25,9	129,9	1,8	CCB			
WH12/4-10-1,0/1	120	10	120	1,0	240	35,2	143,7	1,1	CC / SP	4.12.96	[3]	
WH12/4-10-1,0/2							132,4	1,2	CC / SP			10.12.96
WH12/4-10-1,0/3							120,6	1,6	CCB / SP			17.12.96
WH12/4-10-1,0/4							123,9	1,5	CCB / SP			
WH12/4-12-0,3/1	144	12	48	0,333	300	30,6	123,6	3,2	CCB	28.11.96	[1]	
WH12/4-12-0,3/2							88,8	1,6	CCB			
WH12/4-12-0,3/3							106,0	2,2	CCB			
12/4-12-0,5/1	144	12	72	0,5	260	32,7	134,1	0,5	CCB / SP	1.08.95	[3]	
12/4-12-0,5/2							135,6	0,8	CCB			
12/4-12-0,5/3					300	27,2	166,0	5,2	CCB	14.08.95		
12/4-12-0,5/4							146,2	1,0	CCB			
12/4-12-0,5/5							168,1	6,6	CCB			
12/4-12-0,5/6							148,9	3,1	CCB			

Tabelle B3: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE	
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ			
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----	
12/4-8-2,5/1	96	8	240	2,5	240	23,4	106,0	2,3	CCB	7.09.95	[1]	
12/4-8-2,5/2							134,3	1,6	CCB			
12/4-8-2,5/3							100,4	1,4	CCB			
12/4-8-2,5/4							114,5	1,3	CCB			
12/4-8-2,5/5					340	23,5	182,9	1,8	CCB			6.10.95
12/4-8-2,5/6					260	25,9	129,9	1,8	CCB			
WH12/4-10-1,0/1	120	10	120	1,0	240	35,2	143,7	1,1	CC / SP	4.12.96	[3]	
WH12/4-10-1,0/2							132,4	1,2	CC / SP			10.12.96
WH12/4-10-1,0/3							120,6	1,6	CCB / SP			17.12.96
WH12/4-10-1,0/4							123,9	1,5	CCB / SP			
WH12/4-12-0,3/1	144	12	48	0,333	300	30,6	123,6	3,2	CCB	28.11.96	[1]	
WH12/4-12-0,3/2							88,8	1,6	CCB			
WH12/4-12-0,3/3							106,0	2,2	CCB			
12/4-12-0,5/1	144	12	72	0,5	260	32,7	134,1	0,5	CCB / SP	1.08.95	[3]	
12/4-12-0,5/2							13,5,6	0,8	CCB			
12/4-12-0,5/3					300	27,2	166,0	5,2	CCB	14.08.95		
12/4-12-0,5/4							146,2	1,0	CCB			
12/4-12-0,5/5							168,1	6,6	CCB			
12/4-12-0,5/6							148,9	3,1	CCB			

Tabelle B3: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
12/4-12-1/1	144	12	144	1,0	300	26,4	155,9	1,4	S	14.08.95	[1]
12/4-12-1/2							198,2	6,7	CCB		
12/4-12-1/3							206,6	3,8	CCB		
12/4-12-1/4							177,0	4,6	CCB		
12/4-12-1/5							158,8	3,8	CCB		
12/4-12-1,5/1	144	12	216	1,5	300	26,4	208,6	2,7	CCB	17.08.95	[1]
12/4-12-1,5/2							209,3	2,5	CCB		
12/4-12-1,5/3							340	33,7	217,6		
12/4-16-1/1	192	16	192	1,0	480	30,5	233,4	3,2	CCB	18.12.95	[1]
12/4-16-1/2							229,8	5,1	CCB		
12/4-16-1/3							258,0	3,4	CCB / S		
12/4-16-1/4							310,7	7,9	CCB / SP		

Tabelle B3: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
16/4-8-1/1	128	8	128	1,0	480	29,6	172,3	5,5	CCB	10.11.95	[1]
16/4-8-1/2							145,9	0,5	CCB		
16/4-8-1/3							174,0	0,7	CCB		
16/4-8-1/4							182,7	0,7	CCB		

Tabelle B4: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M16, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
LOV1-24/4/16	288	12	384	1,33	720	27,9	756,6	1,43	CCB	26.01.00	[4]
LOV2-24/4/16							815,3	1,72	CCB	28.01.00	
LOV3-24/4/16							1092,9	2,02	CC	9.02.00	
LOV4-24/4/16							688,8	1,85	CCB	11.02.00	
LOV5-24/4/16							691,7	1,76	CCB	15.02.00	
LOV6-24/4/8	288	12	192	0,66	720	26,8	642,7	1,59	CC	24.02.00	[4]
LOV7-24/4/8							653,5	2,06	CC	25.02.00	
LOV8-24/4/8							594,2	1,77	CC	29.02.00	

Tabelle B5: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M24, Mörtel HH, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
H12/4-2/2	48	4	48	1,0	120	27,2	31,4	0,3	CCB	16.09.96	[2]
H12/4-2/3							34,4	0,4	CCB		
H12/4-2/11							200	22,4	34,6	0,4	
H12/4-2/12					36,6	0,5			CC		
H12/4-2/13					35,8	0,4			CC		
H12/4-2/14					35,1	0,4			CC		
H12/8-1/1					96	8	48	0,5	240	21,8	
H12/8-1/11	81,0	1,1	CCB	12.08.96							
H12/8-1/12	96,4	1,4	CCB	8.08.96							
H12/8-1/13	89,8	1,4	CCB								
H12/8-2/1	96	8	96	1,0	240	21,8	102,1	1,4	CCB	18.07.96	[2]
H12/8-2/2							85,4	1,2	CCB		
H12/8-2/3							81,2	0,2	CC		
H12/8-2/11						35,3	113,3	1,6	CCB	7.08.96	
H12/8-2/12							118,0	1,4	CCB		
H12/8-2/13							25,7	89,6	1,0		

Tabelle 6: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
H12/8-3/1	96	8	144	1,5	300	30,4	159,3	2,0	CC	19.08.96	[2]
H12/8-3/2							164,6	2,0	CC		
H12/8-3/3							142,4	2,0	CCB		
H12/10-1/1	120	10	72	0,5	300	27,5	107,5	1,8	CCB	14.08.96	[2]
H12/10-1/2							118,8	1,8	CCB		
H12/10-1/3							124,6	1,7	CCB		
H12/10-2/1	120	10	120	1,0	300	27,5	143,9	2,5	CCB	13.08.96	[2]
H12/10-2/2							136,5	3,7	CCB		
H12/10-2/3							154,8	2,0	CCB		
WS12/4-10-1,5/1	120	10	180	1,5	400	29,1	127,6	4,47	CCB	26.02.97	[3]
WS12/4-10-1,5/2							130,1	1,82	CCB		
WS12/4-10-1,5/3							161,7	1,52	CCB	5.03.97	
WS12/4-10-2,0/1	120	10	240	2,0	400	29,1	175,1	1,9	CCB	5.03.97	[3]
WS12/4-10-2,0/2							166,0	1,8	CCB		
WS12/4-10-2,0/3							187,2	1,9	CCB		
WS12/4-12-0,3/1	144	12	48	0,333	300	30,6	137,3	1,7	CCB	18.12.96	[3]
WS12/4-12-0,3/2					113,2	1,3	CCB				
WS12/4-12-0,3/3					400	32,0	138,0	3,8	CCB		

Tabelle 6: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
H12/12-1/1	144	12	72	0,5	360	24,9	111,0	1,8	CCB	17.10.96	[2]
H12/12-1/2							131,8	1,6	CC		
H12/12-1/3							136,8	1,0	CC		
H12/12-2/1	144	12	144	1,0	400	33,5	161,9	2,3	CCB	17.10.96	[2]
H12/12-2/2							172,4	2,4	CCB		
H12/12-2/3					360	24,9	153,7	2,1	CCB		
WS12/4-12-1,5/1	144	12	216	1,5	400	28,2	221,5	2,4	CC	10.03.97	[3]
WS12/4-12-1,5/2							218,3	2,4	CC		
WS12/4-12-1,5/3							221,0	2,6	CC		

Tabelle B6: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
H12/4H-2/1	48	4	48	1,0	150	46,2	52,7	0,5	CCB	10.06.96	[2]
H12/4H-2/2							53,5	0,6	CC		
H12/4H-2/3							50,2	0,5	CC		
H12/4H-2/4							53,3	0,5	CC		
H12/4H-2/11					160	59,7	48,4	0,7	CC	1.10.96	
H12/4H-2/12							47,1	0,6	CC		
H12/4H-2/13							48,0	0,6	CC		
H12/4H-2/14							46,2	0,5	CC		
H12/8H-1/1	96	8	48	0,5	300	57,9	117,7	1,9	CC	22.07.96	[2]
H12/8H-1/2							130,7	1,6	CC		
H12/8H-1/3							240	63,9	120,1		
H12/8H-2/1	96	8	96	1,0	300	57,9	126,9	2,1	CCB	22.07.96	[2]
H12/8H-2/2							133,8	1,9	CCB		
H12/8H-2/3							176,9	2,3	CCB		
H12/8H-2/4							56,0	129,5	1,2		
H12/8H-2/5					135,2	1,2		CCB			
WS12/4H-8-1,5/1	96	8	128	1,333	300	56,0	174,0	3,1	CCB / SP	28.01.97	[3]
WS12/4H-8-1,5/2							183,3	3,2	CCB		

Tabelle B7: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
H12/8H-3/1	96	8	144	1,5	300	57,9	178,0	2,1	CC	19.08.96	[2]
H12/8H-3/2							112,1	1,4	CCB		
H12/8H-3/3							150,8	1,9	CCB		
WS12/4H-8-2,0/1	96	8	192	2,0	300	64,2	188,8	3,2	SP	27.01.97	[3]
WS12/4H-8-2,0/2							188,6	3,8	SP		
H12/10H-1/1	120	10	60	0,5	240	63,9	133,3	1,7	CCB	27.08.96	[2]
H12/10H-1/2							114,0	1,6	CCB		
H12/10H-1/3							121,2	1,3	CC		
WS12/4H-10-0,5/1	120	10	60	0,5	300	56,7	148,7	3,0	CC / SP	12.03.97	[3]
WS12/4H-10-0,5/2							145,1	2,6	CC / SP		
WS12/4H-10-0,5/3							151,6	2,7	CCB / SP		
H12/10H-2/1	120	10	120	1,0	300	56,0	165,4	2,2	CCB	11.09.96	[2]
H12/10H-2/2							152,8	2,0	CCB		
H12/10H-2/3							172,9	2,1	CCB		
H12/12H-1/2	144	12	72	0,5	360	57,5	166,5	1,3	CCB	22.10.96	[2]
H12/12H-1/3							205,0	2,3	CCB		
H12/12H-1/4							168,4	1,7	CCB		
H12/12H-2/2	144	12	144	1,0	360	57,5	224,4	5,4	CCB	31.10.96	[2]
H12/12H-2/3					400	59,9	174,0	8,1	CCB	6.11.96	
H12/12H-2/4					179,9	3,5	CCB				

Tabelle B7: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M12, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
H16/6-2/1	96	6	96	1,0	200	25,6	88,0	0,7	CCB	2.09.96	[2]
H16/6-2/2							77,6	0,9	CCB		
H16/6-2/3							69,3	1,1	CCB		
H16/6-2/4							71,4	0,9	CCB		
H16/8-2/1	128	8	128	1,0	350	31,0	173,4	1,1	CCB	28.08.96	[2]
H16/8-2/2							174,0	1,1	CC		
H16/8-2/3							183,6	1,2	CCB		
H16/10-2/1	160	10	160	1,0	400	33,5	231,6	1,2	CCB	30.08.96	[2]
H16/10-2/2							229,3	1,4	CC		
H16/10-2/3							211,4	1,3	CCB		

Tabelle B8: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M16, Mörtel SP, $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM	QUELLE
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	v	Typ		
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	mm	----	----	----
24E/12-8-1	288	12	192	0,66	720	30,2	577,7	3,15	CC	12.03.01	[5]
24E/12-8-2						30,2	620,9	2,39	CC	15.03.01	
24E/12-8-3						38,4	765,2	2,96	CC	28.03.01	
24E/12-16-1	288	12	384	1,33	720	30,4	1077,9	10,31	CC	19.03.01	[5]
24E/12-16-2						38,4	999,6	7,96	CC	21.03.01	
24E/12-16-3						34,0	1090,3	9,62	CC	23.03.01	

Tabelle B9: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln M24, Mörtel ED, $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHS KÖRPER	VERSAGEN	
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}		f_{cc}	F_U
----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	mm
GD5752	127	8	75	0,6	51,7	213,6	1,9
GD5753					44,7	169,7	1,2
GD5754					46,6	156,4	2,2
GD51252	127	8	125	1,0	51,7	222,8	1,3
GD51253					51,7	212,1	1,0
GD51254					51,7	224,1	1,0
GD51753	127	8	175	1,4	51,7	308,1	1,6
GD51754					44,7	263,1	1,5
GD51755					44,7	270,4	1,8
GD75751	190,5	12	75	0,4	44,7	234,3	1,9
GD75752					44,7	205,2	2,3
GD75753					44,7	250,7	2,0
GD751251	190,5	12	125	0,65	44,7	330,6	1,7
GD751252					44,7	307,0	2,1
GD751253					44,7	354,7	2,4
GD751751	190,5	12	175	0,9	44,7	374,4	2,3
GD751752					44,7	319,4	1,7
GD751753					44,7	433,8	2,3
GD5751	127	8	75	0,59	34,7	184,4	1,74
GD51251			125	0,98	34,7	200,4	2,55
GD51751			175	1,38	34,7	271,9	1,79

Tabelle B10: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø15,9, Mörtel D (Spieth (1995))

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHS KÖRPER	VERSAGEN	
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}		f_{cc}	F_U
----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	mm
GDH5751	127	10	75	0,6	46,6	144,6	1,5
GDH5752					46,6	198,7	1,7
GDH5753					46,6	186,1	1,7
GDH51251	127	10	125	1,0	46,6	260,8	1,8
GDH51252					46,6	218,7	1,4
GDH51253					46,6	237,6	1,8

Tabelle B11: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø12,7, Mörtel D (Spieth (1995))

TEST	VERANKERUNGSTIEFE		ABSTAND		VERSUCHS KÖRPER	VERSAGEN	
	h_{ef}	h_{ef} / d	s	s / h_{ef}		f_{cc}	F_U
----	mm	----	mm	----	N/mm ²	kN	mm
GB5751	127	8	75	0,6	44,7	181,3	1,1
GB5752					44,7	184,6	1,0
GB5753					51,7	203,1	1,0
GB51251	127	8	125	1,0	51,7	267,8	0,7
GB51252					51,7	291,5	0,7
GB51253					44,7	226,1	0,5
GB51751	127	8	175	1,4	51,7	304,7	0,8
GB51752					44,7	229,5	0,8
GB51753					44,7	259,3	0,7

Tabelle B12: Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche mit Vierfachbefestigungen mit Verbunddübeln Ø15,9, Mörtel B (Spieth (1995))

- ANHANG C -

ZUSAMMENSTELLUNG
VON ZENTRISCHEN AUSZIEHVERSUCHEN
MIT VERBUNDDÜBELN
NAHE AM BAUTEILRAND
UND IN DER BAUTEILECKE
DURCHGEFÜHRT VON
POPO-OLA, NEWMANN (1995)

INHALT

Tabelle C 1:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))	1
Tabelle C 2:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))	2
Tabelle C 3:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M20 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))	5
Tabelle C 4:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung in der Bauteilecke mit Verbunddübeln M20 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))	6

TEST	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN		VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	Typ	
-----	mm	-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	-----	-----
HC8/64-1	48	6	48	1,0	90	33,7	16,7	C	19.09.95
HC8/64-2							16,0	C	
HC8/64-3							13,2	C	
HC8/64-4							17,9	C	
HC8/64-5							17,0	C	
HC8/96-1	96	12	48	0,5	120	32,5	26,2	C	23.08.95
HC8/96-2							31,2	C	
HC8/96-3							21,4	SP	
HC8/96-4							26,9	SP	
HC8/96-5							23,2	SP	
HC8/128-1	128	16	64	0,5	180	33,7	43,5	C	26.09.95
HC8/128-2							47,5	C	
HC8/128-3							45,2	C	
HC8/128-4							46,4	C	
HC8/128-5							42,7	SP	
HC8/160-1	160	20	80	0,5	180	33,7	49,1	S	10.01.97
HC8/160-2							47,5	SP	
HC8/160-3					400	28,5	40,5	B	
HC8/160-4							50,1	S	
HC8/160-5							50,3	S	
HC8/160-6							50,1	S	
HC8/160-7							50,3	S	

Tabelle C 1: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

TEST	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN		VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	Typ	
----	mm	----	mm	----	mm	N/mm ²	kN	----	----
HC12/48-1	48	4	36	0,75	90	33,7	14,3	C	19.09.95
HC12/48-2							12,2	C	
HC12/48-3							14,4	C	
HC12/48-4							14,0	C	
HC12/48-5							12,4	C	
HC12/48-6	48	4	48	1,0	90	33,7	15,0	C	19.09.95
HC12/48-7							15,3	C	
HC12/48-8							15,3	C	
HC12/48-9							14,5	C	
HC12/48-11	48	4	60	1,25	90	33,7	16,3	C	19.09.95
HC12/48-12							16,4	C	
HC12/48-15							16,3	C	
HC12/96-1 / A	96	8	48	0,50	120	32,5	25,9	SP	24.08.95
HC12/96-2 / A							26,6	SP	
HC12/96-3 / A							31,8	SP	
HC12/96-4 / A							26,4	SP	
HC12/96-16 / B	96	8	48	0,50	240	26,7	34,0	C	15.10.96
HC12/96-17 / B							31,0	C	
HC12/96-18 / B							32,5	C	
HC12/96-19 / B							35,6	C	
HC12/96-20 / B							32,9	C	
HC12/96-6 / A	96	8	72	0,75	120	32,5	27,6	SP	25.08.95
HC12/96-7 / A							29,5	SP	
HC12/96-8 / A							31,4	SP	
HC12/96-10 / A							33,0	SP	
HC12/96-21 / B	96	8	72	0,75	240	29,7	35,6	C	8.10.96
HC12/96-22 / B							36,8	C	
HC12/96-23 / B							37,9	C	
HC12/96-24 / B							37,5	C	
HC12/96-25 / B							35,7	C	
HC12/96-11 / A	96	8	96	1,0	120	32,5	23,9	SP	15.08.95
HC12/96-12 / A							26,1	SP	
HC12/96-13 / A							30,4	SP	
HC12/96-15 / A							22,4	SP	
HC12/96-26 / B	96	8	96	1,00	240	26,7	46,4	C	8.10.96
HC12/96-27 / B							45,8	C	
HC12/96-28 / B							50,3	C	
HC12/96-29 / B							49,7	C	
HC12/96-30 / B							52,6	C	

Tabelle C 2: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

TEST	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN RAND		VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	Typ	
-----	mm	-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	-----	-----
HC12/144-1 / A	144	12	36	0,25	180	33,7	51,6	C	11.09.95
HC12/144-2 / A							47,5	C	
HC12/144-3 / A							46,8	CSP	
HC12/144-4 / A							50,1	C	
HC12/144-5 / A							49,2	C	
HC12/144-6 / A	144	12	72	0,5	180	33,7	53,4	SP	12.09.95
HC12/144-7 / A							54,7	SP	
HC12/144-8 / A							63,0	C	
HC12/144-9 / A							51,2	SP	
HC12/144-10 / A							61,6	SP	
HC12/144-21 / B	144	12	72	0,5	300	26,7	62,9	C	15.10.96
HC12/144-22 / B							71,9	C	
HC12/144-23 / B							68,6	C	
HC12/144-24 / B							63,9	C	
HC12/144-25 / B							61,5	C	
HC12/144-11 / A	144	12	108	0,75	220	33,7	74,4	SP	21.09.98
HC12/144-12 / A							81,6	C	
HC12/144-13 / A							78,1	C	
HC12/144-14 / A							79,2	C	
HC12/144-15 / A							81,5	SP	
HC12/144-16 / A	144	12	144	1,0	260	33,7	95,4	SP	27.09.95
HC12/144-17 / A							93,1	C	
HC12/144-17 / A							100,2	C	
HC12/144-18 / A							89,9	C	
HC12/144-19 / A							99,1	C	
HC12/144-26 / B	144	12	180	1,25	300	26,7	83,7	C	27.09.95
HC12/144-27 / B							84,2	S	
HC12/144-28 / B							85,9	C	
HC12/144-29 / B							94,0	C	
HC12/144-30 / A	144	12	216	1,5	300	26,7	95,4	SP	27.09.95
HC12/144-31 / A							93,1	C	
HC12/144-32 / A							99,1	C	

Tabelle C 2: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH(Popo-Ola, Newman (1995))

TEST	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN RAND		VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	Typ	
-----	mm	-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	-----	-----
HC12/192-1 / A	192	16	48	0,25	260	33,7	80,7	C	29.09.95
HC12/192-2 / A							79,0	C / SP	
HC12/192-3 / A							86,5	C	
HC12/192-4 / A							89,7	C	
HC12/192-5 / A							85,1	C	
HC12/192-6 / A	192	16	96	0,5	260	33,7	108,2	C / SP	29.09.95
HC12/192-7 / A							95,8	C / SP	
HC12/192-8 / A							106,5	C / SP	
HC12/192-9 / A							111,3	C / SP	
HC12/192-10 / A							100,0	C / SP	
HC12/192-11 / C	192	16	144	0,75	400	28,5	86,3	C / B	9.01.97
HC12/192-12 / C							86,2	S	
HC12/192-13 / C							79,7	S	
HC12/192-14 / C	192	16	192	1,0	400	28,5	81,5	C / B	10.01.97
HC12/192-15 / C							78,5	C / B	
HC12/192-16 / C							101,5	C	
HC12/192-17 / C	192	16	240	1,25	400	28,5	91,0	C / B	10.01.97
HC12/192-18 / C							98,4	C / B	
HC12/192-19 / C							94,9	C / B	
HC12/192-20 / C							108,1	C / B	
HC12/240-1 / C	240	20	500	0,25	60	28,5	71,9	C / B	11.01.97
HC12/240-2 / C							72,4	C / B	
HC12/240-3 / C							69,1	C / B	
HC12/240-4 / C							60,7	C / B	
HC12/240-5 / C							64,7	C / B	
HC12/240-6 / C	240	20	500	0,5	120	28,5	90,9	C / B	11.01.97
HC12/240-7 / C							93,9	C / B	
HC12/240-8 / C							98,7	C / B	
HC12/240-9 / C							112,1	C / B	
HC12/240-10 / C							76,9	C / B	
HC12/240-11 / C	240	20	500	0,75	180	28,5	75,3	C / B	11.01.97
HC12/240-12 / C							97,2	C / B	
HC12/240-13 / C							70,7	C / B	
HC12/240-14 / C	240	20	500	1,0	240	28,5	84,1	C / B	11.01.97
HC12/240-15 / C							85,4	C / B	
HC12/240-16 / C							74,4	C / B	

Tabelle C 2: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH(Popo-Ola, Newman (1995))

TEST	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN RAND		VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d	c	c / h_{ef}	h	f_{cc}	F_U	Typ	
-----	mm	-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	-----	-----
HC 20/160-1 / C	160	8	80	0,5	320	28,5	70,3	C / B	9.01.97
HC 20/160-2 / C							76,0	C / B	
HC 20/160-3 / C							84,1	C / B	
HC 20/160-4 / C							80,5	C / B	
HC 20/160-5 / C							71,1	C / B	
HC 20/240-1 / A	240	12	120	0,5	340	33,7	211,8	C / SP	27.10.95
HC 20/240-2 / A							155,5	C / SP	
HC 20/240-3 / A							171,0	C / SP	
HC 20/320-1 / C	320	16	160	0,5	650	28,5	152,1	C / B	11.01.97
HC 20/320-2 / C							179,8	C / B	
HC 20/320-3 / C							167,85	C / B	
HC 20/320-4 / C							175,3	C / B	
HC 20/320-5 / C							146,2	C / B	

Tabelle C 3: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung nahe am Bauteilrand mit Verbunddübeln M20 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

TEST	VERANKERUNGST.		RANDABSTAND		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN RAND		VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d	$c_1 = c_2$	c / h_{ef}	h	f_{cc}	F_u	Typ	
-----	mm	-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	-----	-----
HC 12/96-C1 / A	96	8	48	0,5	120	32,5	10,3	C	15.08.95
HC 12/96-C2 / A							12,5	C	
HC 12/96-C3 / A							16,7	C	
HC 12/96-C4 / A							12,6	C	
HC 12/96-C1 / A	96	8	72	0,75	120	32,5	20,8	C	22.08.95
HC 12/96-C2 / A							26,2	C	
HC 12/96-C4 / A							25,3	C	
HC 12/96-C9 / A	96	8	96	1,0	120	32,5	28,5	C	21.08.95
HC 12/96-C10 / A							23,8	C	
HC 12/96-C11 / A							21,5	C	
HC 12/96-C12 / A							26,4	C	
HC 12/144-C1 / A	144	12	72	0,5	180	32,7	63,7	C	5.09.95
HC 12/144-C2 / A							82,6	C	
HC 12/144-C3 / A							61,7	C	
HC 12/144-C4 / A							59,6	C	
HC 12/192-C1 / A	192	16	96	0,5	260	33,7	94,3	C	27.09.95
HC 12/192-C2 / A							85,1	C	
HC 12/192-C3 / A							89,7	C	
HC 12/192-C4 / A							86,9	C	
HC 12/240-C1 / A	240	20	120	0,5	340	33,7	105,6	C	27.09.95
HC 12/240-C2 / A							111,5	C	
HC 12/240-C3 / A							115,9	C	
HC 12/240-C4 / A							113,6	C	

Tabelle C 4: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung in der Bauteilecke mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel) in niederfestem Beton, Mörtel HH (Popo-Ola, Newman (1995))

- ANHANG D -

ZUSAMMENSTELLUNG
VON ZENTRISCHEN AUSZIEHVERSUCHEN
MIT VERBUNDDÜBELN
(EINZELDÜBEL MIT WEITER ABSTÜTZUNG)
DURCHGEFÜHRT VOM VERFASSER

INHALT

Tabelle D 1:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8(Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))	1
Tabelle D 2:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))	2
Tabelle D 3:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))	3
Tabelle D 4:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))	4
Tabelle D 5:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))	5
Tabelle D 6:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))	6
Tabelle D 7:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M24 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Opferkuch (2000))	6
Tabelle D 8:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))	7
Tabelle D 9:	Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))	7

Tabelle D 10: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))	8
Tabelle D 11: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))	9
Tabelle D 12: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))	10
Tabelle D 13: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))	10
Tabelle D 14: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln $\emptyset 12,7$ und $\emptyset 15,9$ (Einzeldübel) mit Mörtel D, (Spieth (1995))	11
Tabelle D 15: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln $\emptyset 15,9$ (Einzeldübel) mit Mörtel B (Spieth (1995))	11
Tabelle D 16: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit enger Abstützung mit Verbunddübeln M12 und M24 (Einzeldübel) mit Mörtel ED (Lehr, Brecht, Eligehausen (2000))	12

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM		
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}			
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----		
8/1-6/1	48	6	260	25,9	12,4	0,4	CCB1	30	200	7.11.95		
8/1-6/2					11,1	0,7	CCB1	10	90			
8/1-6/3					18,7	0,8	CCB1	25	170			
8/1-6/4					15,8	-----	CCB1	25	120			
8/1-6/5					17,5	0,8	B	35	200			
8/1-6/6					300	26,6	13,9	0,4	CCB	25	130	2.08.96
8/1-6/7			17,6	0,6			CCB	40	200			
8/1-6/8			13,5	0,4			CCB	30	130			
8/1-6/9			18,6	0,7			CCB	25	200			
8/1-6/10			18,4	0,7			CCB	20	100			
8/1-8/1	64	8	90	26,7	19,4	0,6	CCB1	10	50	21.07.95		
8/1-8/2					23,8	0,8	CCB	30	250			
8/1-8/3					24,1	0,8	CCB1	20	110			
8/1-8/4			300	26,6	17,9	0,5	CCB1	30	160	2.08.96		
8/1-8/5	21,8	0,7			CCB	25	250					
8/1-8/6	21,8	0,8			CCB	30	130					
8/1-8/7	22,7	0,8			CCB1	30	160					
8/1-8/8	20,7	0,5			CCB	25	160					
8/1-10/1	80	10	340	23,5	28,6	0,9	CCB1	20	100	6.10.95		
8/1-10/2					28,8	0,8	CCB1	35	100			
8/1-10/3					260	25,9	20,0	0,8	CCB1	12	75	13.10.95
8/1-10/4			27,2	0,7			CCB	45	260			
8/1-10/5					300	26,6	26,0	0,8	CCB	35	200	2.08.96
8/1-10/6			22,8	0,7			CCB	35	275			
8/1-10/7			29,1	1,0			CCB/B1	35	190			
8/1-10/8			32,2	1,1			CCB1	35	190			
8/1-10/9			26,0	0,8			CCB	35	210			

Tabelle D 1: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8(Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM		
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}			
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----		
8/1-12/1	96	12	120	26,4	19,7	0,6	CCB	15	60	9.06.95		
8/1-12/2					15,8	0,4	CCB	20	85			
8/1-12/3					24,2	0,6	CCB1	32	220			
8/1-12/4			300	26,6			32,4	2,6	S	-----	-----	2.08.96
8/1-12/5							25,3	0,6	CCB	35	210	
8/1-12/6							28,4	1,0	CCB/B1	20	110	
8/1-12/7							24,6	0,8	CCB1	30	140	
8/1-12/8							30,7	1,2	CCB	40	330	
8/1-16/1	128	16	150	27,8	25,0	0,8	CCB	25	160	29.06.95		
8/1-16/2					27,7	1,0	CCB	30	270			
8/1-16/3					36,8	1,1	CCB	10	70			
8/1-6/4	160	20	220	27,6	34,7	1,5	B	-----	-----	14.07.95		
8/1-6/5					32,1	3,9	CCB	25	80			
8/1-6/6					45,9	2,0	CCB	20	130			
8/1-6/7					29,8	0,6	B1	-----	-----			

Tabelle D 1: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8(Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
8/1-6H/1	48	6	110	74,5	23,9	1,5	CCB	40	330	28.05.96
8/1-6H/2					20,0	0,5	CCB1	15	70	
8/1-6H/3					23,1	0,6	CCB1	20	120	
8/1-6H/4					23,4	0,5	CCB1	15	85	
8/1-6H/5					26,1	0,3	CCB	20	120	
8/1-8H/1	64	8	160	55,4	27,3	1,2	CCB1	10	45	28.05.96
8/1-8H/2					27,1	1,0	CCB1	10	70	
8/1-8H/3					26,2	0,8	CCB1	15	85	
8/1-10H/1	80	10	160	55,4	26,2	1,0	CCB1	15	85	28.05.96
8/1-10H/2					31,4	2,8	S	-----	-----	
8/1-10H/3					30,8	2,7	CCB1	10	65	
8/1-10H/4					35,1	1,8	CCB1	30	210	
8/1-10H/5					33,7	1,7	CCB1	15	90	
8/1-12H/1	96	12	160	55,4	35,2	2,2	S	-----	-----	30.05.96
8/1-12H/2					35,3	2,4	S	-----	-----	
8/1-12H/3					33,6	1,2	CCB1	10	50	
8/1-12H/4					35,4	2,1	CCB1	30	210	
8/1-12H/5					35,1	1,8	S	-----	-----	
8/1-12H/6					34,4	1,9	S	-----	-----	

Tabelle D 2: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM		
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{CC}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}			
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----		
12/1-4/1	48	4	90	26,7	17,3	0,5	CCB	35	200	24.06.95		
12/1-4/2					15,4	0,5	CCB	40	250			
12/1-4/3					15,6	0,5	CC	50	250			
12/1-6/1	72	6	240	28,0	37,3	0,7	CCB1	35	210	25.03.96		
12/1-6/2					38,4	1,0	CCB1	35	170			
12/1-6/3					36,0	0,7	CCB	55	400			
12/1-6/4					36,4	1,0	CCB	35	200			
12/1-6/5					36,6	0,8	CCB	40	220			
12/1-6/6			200	26,6			34,2	0,7	CCB	40	240	5.08.96
12/1-6/7							34,8	1,2	CCB	30	160	
12/1-6/8							31,7	0,7	CCB	45	220	
12/1-6/9							34,1	0,7	CCB	40	280	
12/1-6/10							34,9	0,6	CCB	45	260	
12/1-8/1	96	8	120	26,4	31,8	0,7	CCB	30	240	28.06.95		
12/1-8/2					31,9	0,8	CCB	40	200			
12/1-8/3					26,6	0,7	CCB	30	190			
12/1-8/4			240	28,0			49,7	1,5	CCB1	20	115	26.03.96
12/1-8/5							41,3	0,8	CCB1	30	160	
12/1-8/6							50,2	1,2	CCB	45	380	
12/1-10/1	120	10	240	28,0	67,9	1,2	CCB1	50	330	25.03.96		
12/1-10/2					44,6	0,8	CCB1	35	250			
12/1-10/3					46,6	0,9	CCB	25	170			
12/1-10/4					49,9	0,8	CCB1	40	250	26.03.96		
12/1-10/5					31,5	0,7	CCB1	30	180			
12/1-12/1	144	12	180	28,1	64,5	1,2	CCB	30	210	28.06.95		
12/1-12/2					58,4	1,2	CCB1	30	150			
12/1-12/3					62,2	1,3	CCB1	55	340			
12/1-16/1	192	16	340	33,7	81,3	1,3	CCB1	50	300	25.08.95		
12/1-16/2					98,4	1,8	CCB1	50	400			
12/1-16/3			480	30,2			58,8	1,0	CCB1	45	240	5.09.95
12/1-16/4							68,4	1,5	CCB1	20	140	
12/1-16/5							55,1	1,2	CCB1	35	210	

Tabelle D 3: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Elgehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
12/1-4H/1	48	4	240	59,0	25,5	0,4	CCB1	30	170	25.03.96
12/1-4H/2					25,8	0,5	CCB	40	300	
12/1-4H/3					27,9	0,5	CCB	35	280	
12/1-6H/1	72	6	240	59,0	49,1	0,9	CCB1	30	150	25.03.96
12/1-6H/2					42,8	0,6	CCB1	35	210	
12/1-6H/3					48,2	1,0	CCB1	35	190	
12/1-6H/4					37,8	0,8	CCB1	40	300	
12/1-6H/5					42,6	0,8	CCB	40	260	
12/1-8H/1	96	8	240	59,0	65,9	1,2	CCB1	50	300	25.03.96
12/1-8H/2					51,9	0,8	CCB1	20	110	
12/1-8H/3					62,6	0,8	CCB	30	200	
12/1-10H/1	120	10	240	59,0	87,7	1,4	CCB1	35	250	25.03.96
12/1-10H/2					74,8	1,2	CCB1	40	280	
12/1-10H/3					73,7	1,2	CCB1	35	300	
12/1-10H/4					59,9	1,1	CCB1	30	270	26.03.96
12/1-10H/5					81,1	1,3	CCB1	45	330	
12/1-12H/1	144	12	240	59,0	98,2	1,1	CCB1	15	70	4.06.96
12/1-12H/2					99,1	1,0	CCB1	10	75	
12/1-12H/3					107,8	1,4	CCB1	25	210	

Tabelle D 4: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Elgehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{CC}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
HH16/1-4/1	64	4	200	26,4	30,6	0,3	CCB	50	350	7.10.96
HH16/1-4/2					32,1	0,5	CCB	40	230	
HH16/1-4/3					30,3	0,2	CCB	25	120	
HH16/1-6/1	96	6	300	30,6	42,2	0,2	CCB	45	300	26.11.96
HH16/1-6/2					46,6	0,3	CCB	50	360	
HH16/1-6/3					44,1	0,2	CCB	50	320	
16/1-8/1	128	8	480	29,6	39,0	1,5	CCB	30	180	15.11.95
16/1-8/2					58,1	0,6	CCB	40	200	
16/1-8/3					63,2	0,9	CCB1	50	340	
16/1-8/4					46,7	0,4	CCB	20	170	
16/1-8/5			42,2	0,4	CCB	35	200			
HH16/1-8/1	128	8	360	24,9	50,2	0,5	CCB	50	210	28.11.96
HH16/1-8/2					41,5	0,6	CCB	30	220	
HH16/1-8/3			38,8	0,2	CCB	40	230			
HH16/1-8/4			300	30,6	64,8	0,9	CCB/B1	30	150	
HH16/1-8/5					63,5	0,8	CCB/B1	30	320	
16/1-10/1	160	10	360	24,9	97,8	1,1	CCB1	60	800	27.11.96
16/1-10/2					99,3	0,4	CCB	60	220	
16/1-10/3					102,7	0,4	CCB1	50	330	

Tabelle D 5: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{CC} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Elgehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
HH16/1-4H/1	64	4	200	62,1	33,3	0,1	CCB	50	350	7.10.96
HH16/1-4H/2					30,1	0,5	CCB	40	230	
HH16/1-4H/3					41,2	0,9	CCB	25	120	
HH16/1-6H/1	96	6	300	65,1	60,8	0,6	CCB	50	400	27.11.96
HH16/1-6H/2					65,6	0,7	CCB	50	380	
HH16/1-6H/3					73,3	0,9	CCB	45	310	
16/1-8H/1	128	8	300	65,1	80,3	0,3	CCB	45	300	27.11.96
16/1-8H/2					75,6	0,3	CCB/B1	30	190	
16/1-8H/3					62,7	0,3	CCB/B1	30	210	
16/1-8H/4					62,8	0,5	CCB/B1	25	180	4.12.96
16/1-8H/5					64,3	0,6	CCB	35	220	
16/1-8H/6					65,5	0,9	CCB	50	420	

Tabelle D 6: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Lehr, Elgehausen (1997/1))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
LOV9-24/1	288	12	720	23,7	239,5	-----	CCB	-----	-----	14.03.00
LOV10-24/1				23	271,3	-----	CCB	-----	-----	
LOV11-24/1				257,7	-----	CCB	-----	-----		

Tabelle D 7: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M24 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel HH (Opferkuch (2000))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
SP8/1-6/1	48	6	140	23,2	19,1	0,6	CCB	25	115	14.08.96
SP8/1-6/2					17,5	0,4	CCB	30	170	
SP8/1-6/3					19,9	0,5	CCB	40	300	
SP8/1-6/4					19,0	0,5	CCB	30	120	
SP8/1-6/5					19,3	0,8	CCB	35	180	
SP8/1-8/1	64	8	160	20,8	22,3	0,4	CCB	30	200	12.08.96
SP8/1-8/2					26,7	0,8	CCB	30	110	
SP8/1-8/3					27,3	0,6	CCB	30	160	
SP8/1-8/4					28,5	0,8	CCB	30	200	
SP8/1-8/5					17,8	0,4	CCB	20	150	
SP8/1-10/1	80	10	300	30,6	30,4	0,8	CCB	25	140	20.12.96
SP8/1-10/2					37,0	0,9	CCB	20	110	
SP8/1-10/3					40,2	1,0	CCB	50	300	
SP8/1-10/4					34,9	1,0	CCB	55	220	
SP8/1-10/5					38,4	1,3	CCB	35	180	
SP8/1-12/1	96	12	300	30,6	-----	-----	S	-----	-----	20.12.96
SP8/1-12/2					30,6	2,1	S	-----	-----	
SP8/1-12/3					44,8	1,2	CCB	25	130	
SP8/1-12/4					44,0	0,9	CCB	15	110	
SP8/1-12/5					38,8	0,8	CCB	25	200	

Tabelle D 8: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
SP8/1H-6/1	48	6	150	61,8	30,2	0,6	CCB1	15	90	31.07.96
SP8/1H-6/2					29,1	0,7	CCB	40	290	
SP8/1H-6/3					26,8	0,9	CCB	40	300	
SP8/1H-6/4					25,2	0,6	CCB1	20	110	
SP8/1H-6/5					28,5	0,6	CCB	10	75	
SP8/1H-8/1	64	8	150	72,1	36,8	0,8	CCB1	20	120	30.07.96
SP8/1H-8/2					35,6	0,8	CCB1	15	75	
SP8/1H-8/3					34,5	0,7	CCB1	10	70	
SP8/1H-8/4					9,6	0,4	B1	-----	-----	
SP8/1H-8/5					29,6	0,6	CCB1	15	120	

Tabelle D 9: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M8 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM		
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}			
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----		
SP12/1-4/1	48	4	140	23,2	22,1	0,6	CCB	45	230	14.08.96		
SP12/1-4/2					23,3	0,6	CC	45	230			
SP12/1-4/3					20,6	0,5	CCB	50	330			
SP12/1-4/4					20,6	0,5	CC	50	360			
SP12/1-4/5					21,5	0,7	CC	50	340			
SP12/1-6/1	72	6	200	26,6	34,2	0,5	CCB	30	130	5.08.96		
SP12/1-6/2					12,4	0,3	CCB	15	140			
SP12/1-6/3					34,1	0,6	CCB	35	270			
SP12/1-6/4					35,8	0,9	CCB	25	140			
SP12/1-6/5					35,2	0,8	CCB	40	260			
SP12/1-8/1	96	8	300	26,0	39,9	0,6	CCB	45	220	14.11.96		
SP12/1-8/2					42,2	0,7	CCB1	35	240			
SP12/1-8/3					31,5	0,8	CCB1	40	280			
SP12/1-8/4					40,2	0,8	CCB	30	180			
SP12/1-8/5			400	24,4	400	24,4	72,6	1,3	CCB	70	230	24.06.97
SP12/1-8/6							78,0	1,1	CCB	50	200	
SP12/1-8/7							72,8	1,1	CCB	60	280	
SP12/1-10/1	120	10	300	27,5	66,4	0,8	CCB	25	130	25.09.96		
SP12/1-10/2					55,5	0,9	CCB	25	180			
SP12/1-10/3					64,1	0,9	CCB	45	360			
SP12/1-12/1	144	12	400	33,5	63,7	2,3	CCB	20	130	25.09.96		
SP12/1-12/2					68,1	1,5	CCB	40	370			
SP12/1-12/3					50,4	1,3	CCB	30	170			
SP12/1-12/4					70,3	0,7	CCB	30	210		4.10.96	
SP12/1-12/5					66,5	0,9	CCB	45	330			
SP12/1-12/6			360	24,9	360	24,9	58,6	0,9	CCB	30	250	7.11.96
SP12/1-12/7							63,8	1,1	CCB	45	350	
SP12/1-12/8							67,4	0,9	CCB	35	310	

Tabelle D 10: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}	
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----
SP12/1H-4/1	48	4	150	72,1	29,8	0,4	CCB	25	200	27.07.96
SP12/1H-4/2					28,1	0,5	CC	45	460	
SP12/1H-4/3					27,8	0,4	CCB	30	250	
SP12/1H-4/4					24,0	0,4	CCB	20	170	
SP12/1H-4/5					25,5	0,4	CCB	25	210	
SP12/1H-6/1	72	6	150	61,8	33,8	0,7	CCB	25	150	1.08.96
SP12/1H-6/2					39,4	0,6	CCB	30	170	
SP12/1H-6/3					28,5	0,8	CCB/B1	20	140	
SP12/1H-6/4					38,6	0,5	CCB	30	170	
SP12/1H-6/5					41,0	0,5	CCB/B1	35	290	
SP12/1H-6/6					51,4	0,6	CCB	40	330	
SP12/1H-6/7					54,0	1,0	CCB1	40	240	
SP12/1H-8/1	96	8	300	52,9	62,5	1,0	CCB	45	280	7.08.96
SP12/1H-8/2					65,0	1,8	CCB	50	400	
SP12/1H-8/3					33,7	3,3	CCB	5	60	
SP12/1H-8/4			240	63,7	72,7	0,6	CCB	35	200	25.09.96
SP12/1H-8/5					64,8	0,5	CCB	50	180	
SP12/1H-8/6					68,2	0,8	CCB	55	210	
SP12/1H-10/1	120	10	360	57,5	27,9	6,4	B	-----	-----	15.11.96
SP12/1H-10/2					64,7	1,1	CCB	20	150	
SP12/1H-10/3					70,1	1,5	CCB	55	520	
SP12/1H-10/4					72,2	1,0	CCB	40	260	22.11.96
SP12/1H-10/5					78,3	1,1	CCB	30	190	
SP12/1H-12/1	144	12	360	57,5	-----	-----	CCB	15	110	15.11.96
SP12/1H-12/2					66,6/72,4	0,8/3,2	CCB	15	115	
SP12/1H-12/3					64,7/71,4	0,9/4,2	CCB	20	150	
SP12/1H-12/4					81,4	0,9	CCB	50	440	22.11.96
SP12/1H-12/5					60,2	2,8	CCB	15	90	

Tabelle D 11: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M12 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM		
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}			
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----		
SP16/1-4/1	64	4	200	26,0	27,7	0,3	CCB	35	300	11.10.96		
SP16/1-4/2					29,4	0,2	CCB	35	190			
SP16/1-4/3					33,5	0,1	CCB	30	200			
SP16/1-6/1	96	6	300	26,0	30,7	0,7	CCB	50	360	18.10.96		
SP16/1-6/2					41,2	0,3	CCB	45	270			
SP16/1-6/3					49,3	0,3	CCB	40	280			
SP16/1-6/4			300	30,6	300	30,6	53,7	0,7	CCB	50	250	5.12.96
SP16/1-6/5							47,2	0,4	CCB	40	400	
SP16/1-8/1	128	8	300	30,6	70,2	0,1	CCB	35	210	26.11.96		
SP16/1-8/2					74,3	0,3	CCB	60	370			
SP16/1-8/3					73,7	0,2	CCB	50	410			
SP16/1-10/1	160	10	360	24,9	42,4	3,3	CCB	25	120	28.10.96		
SP16/1-10/2					39,9	0,7	CCB	35	300			
SP16/1-10/3					55,4	0,3	CCB	30	170			

Tabelle D 12: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 25 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

TEST	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN					VERSUCHS-DATUM		
	h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{cc}	F_U	v	TYP	t_{cone}	d_{cone}			
-----	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	mm	mm	-----		
SP16/1H-4/1	64	4	240	63,7	51,1	0,1	CCB	35	200	2.10.96		
SP16/1H-4/2					53,2	0,3	CC	65	500			
SP16/1H-4/3			200	58,1	200	58,1	24,2	0,5	CCB	30	240	10.10.96
SP16/1H-4/4							25,6	0,1	CCB	30	210	
SP16/1H-4/5							27,0	0,2	CCB	30	150	
SP16/1H-8/1	128	8	400	59,9	93,3	1,0	CCB/B1	30	220	26.11.96		
SP16/1H-8/2					90,6	0,6	CCB/B	25	150			
SP16/1H-10/1	160	10	400	59,9	83,3/87,6	0,3/2,3	CCB	25	110	19.11.96		
SP16/1H-10/2					77,2	0,3	CCB	30	250			
SP16/1H-10/3					79,5/84,3	0,2/4,6	CCB	30	320			

Tabelle D 13: Zentrische Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln M16 (Einzeldübel), $f_{cc} \sim 55 \text{ N/mm}^2$, Mörtel SP (Lehr, Eligehausen (1997/3))

TEST	DÜBEL			VERSAGEN		VERSUCHS-DATUM
	Ø	h _{ef}	h _{ef} / d _{nom}	F _U	v	
-----		mm	-----	kN	mm	-----
DUM455	12,7	127	10	98,2	3,5	28.09.95
DUM454				80,6	2,8	
DUM453				90,7	3,2	
DUM452				89,6	3,1	
GBLD512A	15,9	127	8	109,2	2,0	10.08.95
GBLD512B				90,2	2,0	
GBLD512C				85,6	1,6	
GBLD512D				92,9	1,8	
DUM5751	15,9	190,5	12	153,4	3,0	28.09.95
DUM5752				166,6	3,4	
DUM5753				172,3	4,2	
DUM5754				153,1	3,1	
DUM5755				174,7	3,5	
BLD101	15,9	127	8	82,1	1,4	24.07.95
BLD102				100,9	1,2	
BLD103				93,9	1,3	

Tabelle D 14: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln Ø 12,7 und Ø 15,9 (Einzeldübel) mit Mörtel D, (Spieth (1995))

TEST	DÜBEL			VERSAGEN		VERSUCHS-DATUM
	Ø	h _{ef}	h _{ef} / d _{nom}	F _U	v	
-----		mm	-----	kN	mm	-----
BUM551	15,9	127	8	89,2	1,5	28.09.95
BUM552				99,8	4,1	
BUM553				96,1	1,6	
BUM554				89,6	1,8	
BUM555				92,2	1,7	

Tabelle D 15: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit weiter Abstützung mit Verbunddübeln Ø 15,9 (Einzeldübel) mit Mörtel B (Spieth (1995))

TEST	Ø	VERANKERUNGST.		VERSUCHSKÖRPER		VERSAGEN			VERSUCHS-DATUM
		h_{ef}	h_{ef} / d_{nom}	h	f_{CC}	F_U	v	TYP	
-----	mm	mm	-----	mm	N/mm ²	kN	mm	-----	-----
1	12	120	10	500	40,0	114,8	5,12	S	8.08.00
2						109,2	1,95	B	
2						114,6	3,74	S	
1	24	240	10	500	26,0	257,9	----	S	8.08.00
2						360,9	3,2	B	
3						386,6	4,6	S	

Tabelle D 16: Ergebnisse der zentrischen Zugversuche mit enger Abstützung mit Verbunddübeln M12 und M24 (Einzeldübel) mit Mörtel ED (Lehr, Brecht, Eligehausen (2000))

- ANHANG E -

NACHRECHNUNG
VON ZENTRISCHEN AUSZIEHVERSUCHEN
MIT VERBUNDDÜBELN

INHALT

Tabelle E1:	Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))	1
Tabelle E2:	Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998))	10
Tabelle E3:	Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit zwei Verbunddübeln, Mörtel HH (HEG (1993))	14
Tabelle E4:	Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit zwei Verbunddübeln, Mörtel SP (ITW (1988))	15
Tabelle E5:	Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))	16

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel SP (ITW (1988))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Elgehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
8/4-6-1/1	8	48	48	25,9	28,7	15,7	22,4	1,28	40,6	0,71	26,5	1,08	12,0	27,4	1,05
8/4-6-1/2	8	48	48	25,9	31,2	15,7	22,4	1,39	40,6	0,77	26,5	1,18	12,0	27,4	1,14
8/4-6-1/3	8	48	48	25,9	32,1	15,7	22,4	1,43	40,6	0,79	26,5	1,21	12,0	27,4	1,17
8/4-6-1/4	8	48	48	25,9	31,4	15,7	22,4	1,40	40,6	0,77	26,5	1,18	12,0	27,4	1,15
WH8/4-6-1,0/1	8	48	48	26,5	29,9	15,7	22,7	1,32	41,1	0,73	26,5	1,13	12,0	27,4	1,09
WH8/4-6-1,0/2	8	48	48	26,5	25,8	15,7	22,7	1,14	41,1	0,63	26,5	0,97	12,0	27,4	0,94
WH8/4-6-1,0/3	8	48	48	26,5	26,9	15,7	22,7	1,19	41,1	0,65	26,5	1,01	12,0	27,4	0,98
8/4-8-1/1	8	64	64	26,7	31,7	21,5	40,5	0,78	63,5	0,50	42,1	0,75	12,0	43,4	0,73
8/4-8-1/2	8	64	64	26,7	29,5	21,5	40,5	0,73	63,5	0,46	42,1	0,70	12,0	43,4	0,68
8/4-8-1/3	8	64	64	26,7	34	21,5	40,5	0,84	63,5	0,54	42,1	0,81	12,0	43,4	0,78
8/4-8-1/4	8	64	64	32,7	56,1	21,5	44,8	1,25	70,3	0,80	42,1	1,33	12,0	43,4	1,29
8/4-8-1/5	8	64	64	32,7	57,6	21,5	44,8	1,29	70,3	0,82	42,1	1,37	12,0	43,4	1,33
8/4-8-1/6	8	64	64	32,7	58,3	21,5	44,8	1,30	70,3	0,83	42,1	1,38	12,0	43,4	1,34
8/4-8-1/7	8	64	64	23,5	51,1	21,5	38,0	1,35	59,6	0,86	42,1	1,21	12,0	43,4	1,18
8/4-8-1/8	8	64	64	23,5	52	21,5	38,0	1,37	59,6	0,87	42,1	1,23	12,0	43,4	1,20
8/4-8-1/9	8	64	64	23,5	49,7	21,5	38,0	1,31	59,6	0,83	42,1	1,18	12,0	43,4	1,14
8/4-8-1,51	8	64	96	33,7	67,7	21,5	61,9	1,09	86,0	0,79	55,0	1,23	12,0	59,1	1,15
8/4-8-1,5/2	8	64	96	33,7	65,5	21,5	61,9	1,06	86,0	0,76	55,0	1,19	12,0	59,1	1,11
8/4-8-1,5/3	8	64	96	33,7	67,6	21,5	61,9	1,09	86,0	0,79	55,0	1,23	12,0	59,1	1,14
8/4-8-1,5/4	8	64	96	33,7	69,3	21,5	61,9	1,12	86,0	0,81	55,0	1,26	12,0	59,1	1,17

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Elgehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Elgehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Elgehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
8/4-8-2/1	8	64	128	33,7	76,9	21,5	80,8	0,95	86,0	0,89	69,7	1,10	12,0	77,2	1,00
8/4-8-2/2	8	64	128	33,7	70,4	21,5	80,8	0,87	86,0	0,82	69,7	1,01	12,0	77,2	0,91
8/4-8-2/3	8	64	128	33,7	75,5	21,5	80,8	0,93	86,0	0,88	69,7	1,08	12,0	77,2	0,98
8/4-8-2/4	8	64	128	33,7	90,7	21,5	80,8	1,12	86,0	1,05	69,7	1,30	12,0	77,2	1,17
8/4-8-2,5/1	8	64	160	27,6	80,9	21,5	73,2	1,11	86,0	0,94	86,0	0,94	12,0	77,2	1,05
8/4-8-2,5/2	8	64	160	32,7	73,3	21,5	79,6	0,92	86,0	0,85	86,0	0,85	12,0	77,2	0,95
8/4-8-2,5/3	8	64	160	32,7	76,8	21,5	79,6	0,96	86,0	0,89	86,0	0,89	12,0	77,2	0,99
8/4-10-1/1	8	80	80	23,5	79	26,7	59,3	1,33	83,2	0,95	60,1	1,32	12,0	63,7	1,24
8/4-10-1/2	8	80	80	23,5	67,3	26,7	59,3	1,13	83,2	0,81	60,1	1,12	12,0	63,7	1,06
8/4-10-1/3	8	80	80	25,9	72,8	26,7	62,3	1,17	87,4	0,83	60,1	1,21	12,0	63,7	1,14
8/4-10-1/4	8	80	80	25,9	72,3	26,7	62,3	1,16	87,4	0,83	60,1	1,20	12,0	63,7	1,13
WH8/4-10-1,0/1	8	80	80	26,5	64,5	26,7	63,0	1,02	88,4	0,73	60,1	1,07	12,0	63,7	1,01
WH8/4-10-1,0/2	8	80	80	26,5	66,7	26,7	63,0	1,06	88,4	0,75	60,1	1,11	12,0	63,7	1,05
WH8/4-10-1,0/3	8	80	80	28,8	71,4	26,7	65,7	1,09	92,2	0,77	60,1	1,19	12,0	63,7	1,12
WH8/4-10-1,0/4	8	80	80	28,8	69,6	26,7	65,7	1,06	92,2	0,76	60,1	1,16	12,0	63,7	1,09
WH8/4-10-1,5/1	8	80	120	27,3	76,2	26,7	87,0	0,88	106,8	0,71	81,8	0,93	12,0	90,6	0,84
WH8/4-10-1,5/2	8	80	120	27,3	82,2	26,7	87,0	0,94	106,8	0,77	81,8	1,01	12,0	90,6	0,91
WH8/4-10-1,5/3	8	80	120	27,3	72,8	26,7	87,0	0,84	106,8	0,68	81,8	0,89	12,0	90,6	0,80
WH8/4-10-1,5/4	8	80	120	27,3	65,3	26,7	87,0	0,75	106,8	0,61	81,8	0,80	12,0	90,6	0,72
WH8/4-12-0,5/1	8	96	48	26,5	72,9	24,1	63,0	1,16	89,0	0,82	40,7	1,79	12,0	54,7	1,33
WH8/4-12-0,5/2	8	96	48	26,5	58,7	24,1	63,0	0,93	89,0	0,66	40,7	1,44	12,0	54,7	1,07
WH8/4-12-0,5/3	8	96	48	26,5	55,1	24,1	63,0	0,87	89,0	0,62	40,7	1,35	12,0	54,7	1,01
WH8/4-12-0,5/4	8	96	48	26,5	68,4	24,1	63,0	1,09	89,0	0,77	40,7	1,68	12,0	54,7	1,25

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
WH8/4-12-0,5/1	8	96	48	26,5	72,9	24,1	63,0	1,16	89,0	0,82	40,7	1,79	12,0	54,7	1,33
WH8/4-12-0,5/2	8	96	48	26,5	58,7	24,1	63,0	0,93	89,0	0,66	40,7	1,44	12,0	54,7	1,07
WH8/4-12-0,5/3	8	96	48	26,5	55,1	24,1	63,0	0,87	89,0	0,62	40,7	1,35	12,0	54,7	1,01
WH8/4-12-0,5/4	8	96	48	26,5	68,4	24,1	63,0	1,09	89,0	0,77	40,7	1,68	12,0	54,7	1,25
8/4-12-1/1	8	96	96	26,4	49,3	24,1	90,6	0,54	96,4	0,51	61,7	0,80	12,0	88,7	0,56
8/4-12-1/2	8	96	96	26,4	37	24,1	90,6	0,41	96,4	0,38	61,7	0,60	12,0	88,7	0,42
8/4-12-1/3	8	96	96	26,4	40,9	24,1	90,6	0,45	96,4	0,42	61,7	0,66	12,0	88,7	0,46
WH8/4-12-1,5/1	8	96	144	28,8	110,1	24,1	128,7	0,86	96,4	1,14	87,0	1,27	12,0	115,8	0,95
WH8/4-12-1,5/2	8	96	144	28,8	102	24,1	128,7	0,79	96,4	1,06	87,0	1,17	12,0	115,8	0,88
WH8/4-12-1,5/3	8	96	144	28,8	106,1	24,1	128,7	0,82	96,4	1,10	87,0	1,22	12,0	115,8	0,92
WH8/4-12-1,5/4	8	96	144	28,8	109,5	24,1	128,7	0,85	96,4	1,14	87,0	1,26	12,0	115,8	0,95
8/4-16-1/1	8	128	128	27,8	69,7	29,7	165,2	0,42	118,8	0,59	96,2	0,72	12,0	154,4	0,45
8/4-16-1/2	8	128	128	27,8	69,4	29,7	165,2	0,42	118,8	0,58	96,2	0,72	12,0	154,4	0,45
8/4-16-1/3	8	128	128	27,8	70,3	29,7	165,2	0,43	118,8	0,59	96,2	0,73	12,0	154,4	0,46
8/4-20-11	8	160	160	28,1	104	35,6	259,5	0,40	142,4	0,73	142,4	0,73	12,0	244,3	0,43
8/4-20-1/2	8	160	160	28,1	86,3	35,6	259,5	0,33	142,4	0,61	142,4	0,61	12,0	244,3	0,35
8/4-20-1/3	8	160	160	28,1	90,3	35,6	259,5	0,35	142,4	0,63	142,4	0,63	12,0	244,3	0,37
WH8/4H-6-1,0/1	12	48	48	62,1	40,6	23,3	34,7	1,17	62,9	0,65	39,4	1,03	17,0	38,8	1,05
WH8/4H-6-1,0/2	12	48	48	62,1	41,2	23,3	34,7	1,19	62,9	0,66	39,4	1,05	17,0	38,8	1,06
WH8/4H-6-1,0/3	12	48	48	62,1	25,7	23,3	34,7	0,74	62,9	0,41	39,4	0,65	17,0	38,8	0,66
WH8/4H-6-1,0/4	12	48	48	62,1	34,8	23,3	34,7	1,00	62,9	0,55	39,4	0,88	17,0	38,8	0,90
WH8/4H-8-1,0/1	12	64	64	62,1	58,6	26,9	61,7	0,95	96,8	0,61	52,7	1,11	17,0	61,5	0,95
WH8/4H-8-1,0/2	12	64	64	62,1	55,7	26,9	61,7	0,90	96,8	0,58	52,7	1,06	17,0	61,5	0,91
WH8/4H-8-1,0/3	12	64	64	62,1	54,1	26,9	61,7	0,88	96,8	0,56	52,7	1,03	17,0	61,5	0,88
WH8/4H-8-1,0/4	12	64	64	62,1	56,4	26,9	61,7	0,91	96,8	0,58	52,7	1,07	17,0	61,5	0,92

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
WH8/4H-10-1,0/1	12	80	80	63,7	88,5	31,4	97,7	0,91	125,6	0,70	70,7	1,25	17,0	90,3	0,98
WH8/4H-10-1,0/2	12	80	80	63,7	93,7	31,4	97,7	0,96	125,6	0,75	70,7	1,33	17,0	90,3	1,04
WH8/4H-10-1,0/3	12	80	80	63,7	89,2	31,4	97,7	0,91	125,6	0,71	70,7	1,26	17,0	90,3	0,99
WH8/4H-12-0,5/1	12	96	48	54	102,3	34,8	89,9	1,14	127,0	0,81	58,8	1,74	17,0	77,5	1,32
WH8/4H-12-0,5/2	12	96	48	54	101	34,8	89,9	1,12	127,0	0,80	58,8	1,72	17,0	77,5	1,30
WH8/4H-12-0,5/3	12	96	48	54	103,5	34,8	89,9	1,15	127,0	0,81	58,8	1,76	17,0	77,5	1,33
WH8/4H-12-0,5/4	12	96	48	54	99,5	34,8	89,9	1,11	127,0	0,78	58,8	1,69	17,0	77,5	1,28
WH8/4H-12-1,0/1	12	96	96	63,7	116,8	34,8	140,7	0,83	139,2	0,84	89,1	1,31	17,0	125,6	0,93
WH8/4H-12-1,0/2	12	96	96	63,7	107,2	34,8	140,7	0,76	139,2	0,77	89,1	1,20	17,0	125,6	0,85
WH8/4H-12-1,0/4	12	96	96	63,7	102,1	34,8	140,7	0,73	139,2	0,73	89,1	1,15	17,0	125,6	0,81
WH8/4H-12-1,5/1	12	96	144	54	140,3	34,8	176,3	0,80	139,2	1,01	125,6	1,12	17,0	164,1	0,86
WH8/4H-12-1,5/2	12	96	144	54	113	34,8	176,3	0,64	139,2	0,81	125,6	0,90	17,0	164,1	0,69
WH8/4H-12-1,5/3	12	96	144	54	134,5	34,8	176,3	0,76	139,2	0,97	125,6	1,07	17,0	164,1	0,82
WH8/4H-12-1,5/4	12	96	144	54	141,4	34,8	176,3	0,80	139,2	1,02	125,6	1,13	17,0	164,1	0,86
12/4-4-1/1	12	48	48	26,7	26,5	16,1	22,8	1,16	41,2	0,64	23,2	1,14	11,7	33,1	0,80
12/4-4-1/2	12	48	48	26,7	23,9	16,1	22,8	1,05	41,2	0,58	23,2	1,03	11,7	33,1	0,72
12/4-4-1/3	12	48	48	26,7	24,7	16,1	22,8	1,08	41,2	0,60	23,2	1,07	11,7	33,1	0,75
12/4-4-1/4	12	48	48	26,7	25,5	16,1	22,8	1,12	41,2	0,62	23,2	1,10	11,7	33,1	0,77
12/4-4-1/5	12	48	48	33,7	37,3	16,1	25,6	1,46	46,3	0,81	23,2	1,61	11,7	33,1	1,13
12/4-4-1/6	12	48	48	33,7	39,3	16,1	25,6	1,54	46,3	0,85	23,2	1,70	11,7	33,1	1,19
12/4-4-1/7	12	48	48	33,7	38,8	16,1	25,6	1,52	46,3	0,84	23,2	1,67	11,7	33,1	1,17
12/4-4-1/8	12	48	48	33,7	37,4	16,1	25,6	1,46	46,3	0,81	23,2	1,61	11,7	33,1	1,13

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
12/4-4-1,5/1	12	48	72	26,7	32,9	16,1	31,0	1,06	52,2	0,63	27,2	1,21	11,7	40,0	0,82
12/4-4-1,5/2	12	48	72	26,7	31,9	16,1	31,0	1,03	52,2	0,61	27,2	1,17	11,7	40,0	0,80
12/4-4-1,5/3	12	48	72	26,7	35,7	16,1	31,0	1,15	52,2	0,68	27,2	1,31	11,7	40,0	0,89
12/4-4-1,5/5	12	48	72	26,7	27,3	16,1	31,0	0,88	52,2	0,52	27,2	1,00	11,7	40,0	0,68
12/4-4-1,5/6	12	48	72	35,7	32,3	16,1	35,8	0,90	60,4	0,54	27,2	1,19	11,7	40,0	0,81
12/4-4-1,5/7	12	48	72	35,7	26,8	16,1	35,8	0,75	60,4	0,44	27,2	0,98	11,7	40,0	0,67
12/4-4-1,5/8	12	48	72	35,7	28	16,1	35,8	0,78	60,4	0,46	27,2	1,03	11,7	40,0	0,70
12/4-4-1,5/9	12	48	72	35,7	30,6	16,1	35,8	0,85	60,4	0,51	27,2	1,12	11,7	40,0	0,76
12/4-4-1,5/11	12	48	72	22,4	32,4	16,1	28,4	1,14	47,8	0,68	27,2	1,19	11,7	40,0	0,81
12/4-4-1,5/12	12	48	72	22,4	32	16,1	28,4	1,13	47,8	0,67	27,2	1,18	11,7	40,0	0,80
12/4-4-1,5/13	12	48	72	22,4	24,9	16,1	28,4	0,88	47,8	0,52	27,2	0,92	11,7	40,0	0,62
12/4-4-1,5/14	12	48	72	22,4	25,9	16,1	28,4	0,91	47,8	0,54	27,2	0,95	11,7	40,0	0,65
12/4-4-2/1	12	48	96	26,7	43,3	16,1	40,5	1,07	64,4	0,67	31,6	1,37	11,7	47,6	0,91
12/4-4-2/2	12	48	96	26,7	41,3	16,1	40,5	1,02	64,4	0,64	31,6	1,31	11,7	47,6	0,87
12/4-4-2/3	12	48	96	26,7	42,4	16,1	40,5	1,05	64,4	0,66	31,6	1,34	11,7	47,6	0,89
12/4-4-2/4	12	48	96	26,7	39,1	16,1	40,5	0,97	64,4	0,61	31,6	1,24	11,7	47,6	0,82
12/4-4-2/5	12	48	96	33,7	60,4	16,1	45,5	1,33	64,4	0,94	31,6	1,91	11,7	47,6	1,27
12/4-4-2/6	12	48	96	33,7	51,4	16,1	45,5	1,13	64,4	0,80	31,6	1,63	11,7	47,6	1,08
12/4-4-2/7	12	48	96	33,7	46,8	16,1	45,5	1,03	64,4	0,73	31,6	1,48	11,7	47,6	0,98
12/4-4-2/8	12	48	96	33,7	49,4	16,1	45,5	1,09	64,4	0,77	31,6	1,57	11,7	47,6	1,04
12/4-4-2,5/1	12	48	120	26,7	44,2	16,1	40,5	1,09	64,4	0,69	36,2	1,22	11,7	55,9	0,79
12/4-4-2,5/2	12	48	120	26,7	30,5	16,1	40,5	0,75	64,4	0,47	36,2	0,84	11,7	55,9	0,55
12/4-4-2,5/3	12	48	120	26,7	41,1	16,1	40,5	1,02	64,4	0,64	36,2	1,13	11,7	55,9	0,74
12/4-4-2,5/4	12	48	120	26,7	43,1	16,1	40,5	1,06	64,4	0,67	36,2	1,19	11,7	55,9	0,77
12/4-4-2,5/5	12	48	120	26,4	44,3	16,1	40,2	1,10	64,4	0,69	36,2	1,22	11,7	55,9	0,79

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
12/4-4-2,5/6	12	48	120	26,4	38,6	16,1	40,2	0,96	64,4	0,60	36,2	1,07	11,7	55,9	0,69
12/4-4-2,5/7	12	48	120	26,4	40,1	16,1	40,2	1,00	64,4	0,62	36,2	1,11	11,7	55,9	0,72
12/4-4-2,5/8	12	48	120	26,4	33,1	16,1	40,2	0,82	64,4	0,51	36,2	0,91	11,7	55,9	0,59
12/4-4-2,5/9	12	48	120	33,7	52	16,1	45,5	1,14	64,4	0,81	36,2	1,44	11,7	55,9	0,93
12/4-4-2,5/10	12	48	120	33,7	62,8	16,1	45,5	1,38	64,4	0,98	36,2	1,73	11,7	55,9	1,12
12/4-4-2,5/11	12	48	120	32,3	53,3	16,1	44,5	1,20	64,4	0,83	36,2	1,47	11,7	55,9	0,95
12/4-4-3/1	12	48	144	29,8	47,6	16,1	42,8	1,11	64,4	0,74	41,2	1,15	11,7	64,8	0,73
12/4-4-3/2	12	48	144	29,8	39,6	16,1	42,8	0,93	64,4	0,61	41,2	0,96	11,7	64,8	0,61
12/4-4-3/3	12	48	144	29,8	45,3	16,1	42,8	1,06	64,4	0,70	41,2	1,10	11,7	64,8	0,70
12/4-4-3/4	12	48	144	29,8	39,3	16,1	42,8	0,92	64,4	0,61	41,2	0,95	11,7	64,8	0,61
12/4-4-2/5	12	48	144	28,1	63,6	16,1	41,5	1,53	64,4	0,99	41,2	1,54	11,7	64,8	0,98
12/4-4-2/6	12	48	144	28,1	71,7	16,1	41,5	1,73	64,4	1,11	41,2	1,74	11,7	64,8	1,11
12/4-4-2/7	12	48	144	33,7	68,7	16,1	45,5	1,51	64,4	1,07	41,2	1,67	11,7	64,8	1,06
12/4-4-2/8	12	48	144	33,7	54,4	16,1	45,5	1,20	64,4	0,84	41,2	1,32	11,7	64,8	0,84
12/4-4-2/9	12	48	144	33,7	71,7	16,1	45,5	1,58	64,4	1,11	41,2	1,74	11,7	64,8	1,11
12/4-4-2/10	12	48	144	23,5	67,7	16,1	38,0	1,78	64,4	1,05	41,2	1,64	11,7	64,8	1,04
12/4-4-2/11	12	48	144	23,5	68,4	16,1	38,0	1,80	64,4	1,06	41,2	1,66	11,7	64,8	1,05
WH12/4-6-1,0/1	12	72	72	28,9	64,7	35,4	53,3	1,21	78,8	0,82	59,8	1,08	11,7	60,0	1,08
WH12/4-6-1,0/2	12	72	72	28,9	62,5	35,4	53,3	1,17	78,8	0,79	59,8	1,04	11,7	60,0	1,04
WH12/4-6-1,0/3	12	72	72	26,5	61,8	35,4	51,0	1,21	75,5	0,82	59,8	1,03	11,7	60,0	1,03
WH12/4-6-1,0/4	12	72	72	26,5	62,9	35,4	51,0	1,23	75,5	0,83	59,8	1,05	11,7	60,0	1,05
12/4-8-0,5/1	12	96	48	27,2	77,4	38,6	63,8	1,21	90,1	0,86	55,6	1,39	11,7	66,2	1,17
12/4-8-0,5/2	12	96	48	27,2	79,7	38,6	63,8	1,25	90,1	0,88	55,6	1,43	11,7	66,2	1,20
12/4-8-0,5/3	12	96	48	27,2	79,4	38,6	63,8	1,24	90,1	0,88	55,6	1,43	11,7	66,2	1,20
12/4-8-0,5/4	12	96	48	26,4	90,8	38,6	62,9	1,44	88,8	1,02	55,6	1,63	11,7	66,2	1,37

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
12/4-8-1/1	12	96	96	26,4	81,4	38,6	90,6	0,90	116,0	0,70	75,7	1,08	11,7	95,3	0,85
12/4-8-1/2	12	96	96	26,4	70,3	38,6	90,6	0,78	116,0	0,61	75,7	0,93	11,7	95,3	0,74
12/4-8-1/3	12	96	96	27,6	101,8	38,6	92,6	1,10	118,6	0,86	75,7	1,35	11,7	95,3	1,07
12/4-8-1/4	12	96	96	27,6	96,8	38,6	92,6	1,05	118,6	0,82	75,7	1,28	11,7	95,3	1,02
12/4-8-1/5	12	96	96	27,6	90	38,6	92,6	0,97	118,6	0,76	75,7	1,19	11,7	95,3	0,94
12/4-8-1,5/1	12	96	144	27,6	131,4	38,6	126,0	1,04	150,1	0,88	98,8	1,33	11,7	129,7	1,01
12/4-8-1,5/2	12	96	144	27,6	134,2	38,6	126,0	1,06	150,1	0,89	98,8	1,36	11,7	129,7	1,03
12/4-8-1,5/3	12	96	144	27,6	125,5	38,6	126,0	1,00	150,1	0,84	98,8	1,27	11,7	129,7	0,97
12/4-8-1,5/4	12	96	144	27,6	127,1	38,6	126,0	1,01	150,1	0,85	98,8	1,29	11,7	129,7	0,98
12/4-8-2/1	12	96	192	33,7	156	38,6	181,9	0,86	154,4	1,01	125,1	1,25	11,7	169,4	0,92
12/4-8-2/1	12	96	192	33,7	157,9	38,6	181,9	0,87	154,4	1,02	125,1	1,26	11,7	169,4	0,93
12/4-8-2/1	12	96	192	33,7	129,5	38,6	181,9	0,71	154,4	0,84	125,1	1,04	11,7	169,4	0,76
12/4-8-2/1	12	96	192	33,7	153,9	38,6	181,9	0,85	154,4	1,00	125,1	1,23	11,7	169,4	0,91
12/4-8-2,5/1	12	96	240	23,4	106	38,6	151,6	0,70	154,4	0,69	154,4	0,69	11,7	169,4	0,63
12/4-8-2,5/2	12	96	240	23,4	134,3	38,6	151,6	0,89	154,4	0,87	154,4	0,87	11,7	169,4	0,79
12/4-8-2,5/3	12	96	240	23,4	100,4	38,6	151,6	0,66	154,4	0,65	154,4	0,65	11,7	169,4	0,59
12/4-8-2,5/4	12	96	240	23,4	114,5	38,6	151,6	0,76	154,4	0,74	154,4	0,74	11,7	169,4	0,68
12/4-8-2,5/5	12	96	240	23,5	182,9	38,6	151,9	1,20	154,4	1,18	154,4	1,18	11,7	169,4	1,08
12/4-8-2,5/6	12	96	240	25,9	129,9	38,6	159,5	0,81	154,4	0,84	154,4	0,84	11,7	169,4	0,77
WH12/4-10-1,0/1	12	120	120	35,2	143,7	48,1	163,4	0,88	187,2	0,77	108,2	1,33	11,7	139,8	1,03
WH12/4-10-1,0/2	12	120	120	26,5	132,4	48,1	141,8	0,93	162,4	0,82	108,2	1,22	11,7	139,8	0,95
WH12/4-10-1,0/3	12	120	120	28,8	120,6	48,1	147,8	0,82	169,3	0,71	108,2	1,11	11,7	139,8	0,86
WH12/4-10-1,0/4	12	120	120	28,8	123,9	48,1	147,8	0,84	169,3	0,73	108,2	1,14	11,7	139,8	0,89

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
WH12/4-12-0,3/1	12	144	48	30,6	123,6	61,7	132,7	0,93	159,3	0,78	88,8	1,39	11,7	99,2	1,25
WH12/4-12-0,3/2	12	144	48	30,6	88,8	61,7	132,7	0,67	159,3	0,56	88,8	1,00	11,7	99,2	0,89
WH12/4-12-0,3/3	12	144	48	30,6	106	61,7	132,7	0,80	159,3	0,67	88,8	1,19	11,7	99,2	1,07
12/4-12-0,5/1	12	144	72	32,7	134,1	61,7	157,5	0,85	181,6	0,74	104,3	1,29	11,7	120,1	1,12
12/4-12-0,5/1	12	144	72	32,7	135,6	61,7	157,5	0,86	181,6	0,75	104,3	1,30	11,7	120,1	1,13
12/4-12-0,5/1	12	144	72	27,2	166	61,7	143,6	1,16	165,6	1,00	104,3	1,59	11,7	120,1	1,38
12/4-12-0,5/1	12	144	72	27,2	146,2	61,7	143,6	1,02	165,6	0,88	104,3	1,40	11,7	120,1	1,22
12/4-12-0,5/1	12	144	72	27,2	168,1	61,7	143,6	1,17	165,6	1,02	104,3	1,61	11,7	120,1	1,40
12/4-12-0,5/1	12	144	72	27,2	148,9	61,7	143,6	1,04	165,6	0,90	104,3	1,43	11,7	120,1	1,24
12/4-12-1/1	12	144	144	26,4	155,9	61,7	203,8	0,77	213,1	0,73	158,0	0,99	11,7	194,5	0,80
12/4-12-1/2	12	144	144	26,4	198,2	61,7	203,8	0,97	213,1	0,93	158,0	1,25	11,7	194,5	1,02
12/4-12-1/3	12	144	144	26,4	206,6	61,7	203,8	1,01	213,1	0,97	158,0	1,31	11,7	194,5	1,06
12/4-12-1/4	12	144	144	26,4	177	61,7	203,8	0,87	213,1	0,83	158,0	1,12	11,7	194,5	0,91
12/4-12-1/5	12	144	144	26,4	158,8	61,7	203,8	0,78	213,1	0,75	158,0	1,01	11,7	194,5	0,82
12/4-12-1,5/1	12	144	216	26,4	208,6	61,7	277,3	0,75	246,8	0,85	222,7	0,94	11,7	254,1	0,82
12/4-12-1,5/2	12	144	216	26,4	209,3	61,7	277,3	0,75	246,8	0,85	222,7	0,94	11,7	254,1	0,82
12/4-12-1,5/3	12	144	216	33,7	217,6	61,7	313,4	0,69	246,8	0,88	222,7	0,98	11,7	254,1	0,86
12/4-16-1/1	12	192	192	30,5	233,4	72,4	389,4	0,60	289,6	0,81	234,6	0,99	11,7	338,7	0,69
12/4-16-1/2	12	192	192	30,5	229,8	72,4	389,4	0,59	289,6	0,79	234,6	0,98	11,7	338,7	0,68
12/4-16-1/3	12	192	192	30,5	258	72,4	389,4	0,66	289,6	0,89	234,6	1,10	11,7	338,7	0,76
12/4-16-1/4	12	192	192	30,5	310,7	72,4	389,4	0,80	289,6	1,07	234,6	1,32	11,7	338,7	0,92

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
16/4-8-1/1	16	128	128	29,6	172,3	59,5	170,5	1,01	189,1	0,91	99,6	1,73	9,1	131,7	1,31
16/4-8-1/2	16	128	128	29,6	145,9	59,5	170,5	0,86	189,1	0,77	99,6	1,47	9,1	131,7	1,11
16/4-8-1/3	16	128	128	29,6	174	59,5	170,5	1,02	189,1	0,92	99,6	1,75	9,1	131,7	1,32
16/4-8-1/4	16	128	128	29,6	182,7	59,5	170,5	1,07	189,1	0,97	99,6	1,83	9,1	131,7	1,39
olv1	24	288	384	27,9	756,6	217,1	1034,4	0,73	727,2	1,04	703,6	1,08	11,8	1024,9	0,74
olv2	24	288	384	26,8	815,3	217,1	1013,8	0,80	712,7	1,14	703,6	1,16	11,8	1024,9	0,80
olv3	24	288	384	42	1092,9	217,1	1269,2	0,86	868,6	1,26	703,6	1,55	11,8	1024,9	1,07
olv4	24	288	384	42	698,8	217,1	1269,2	0,55	868,6	0,80	703,6	0,99	11,8	1024,9	0,68
olv5	24	288	384	25,7	691,7	217,1	992,8	0,70	697,9	0,99	703,6	0,98	11,8	1024,9	0,67
olv6	24	288	192	26	642,6	217,1	639,1	1,01	502,6	1,28	425,6	1,51	11,8	576,5	1,11
olv7	24	288	192	26	653,35	217,1	639,1	1,02	502,6	1,30	425,6	1,54	11,8	576,5	1,13
olv8	24	288	192	26	594,2	217,1	639,1	0,93	502,6	1,18	425,6	1,40	11,8	576,5	1,03

Tabelle E1: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel HH (Lehr, Eligehausen (1998/4), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
H12/4-2/2	12	48	48	27,2	31,4	21,6	23,0	1,37	47,8	0,66	31,10	1,01	13,0	36,8	0,85
H12/4-2/3	12	48	48	27,2	34,4	21,6	23,0	1,50	47,8	0,72	31,10	1,11	13,0	36,8	0,94
H12/4-2/11	12	48	48	224	34,6	21,6	65,9	0,52	43,4	0,80	31,10	1,11	13,0	36,8	0,94
H12/4-2/12	12	48	48	224	36,6	21,6	65,9	0,55	43,4	0,84	31,10	1,18	13,0	36,8	1,00
H12/4-2/13	12	48	48	224	35,8	21,6	65,9	0,54	43,4	0,83	31,10	1,15	13,0	36,8	0,97
H12/4-2/14	12	48	48	224	35,1	21,6	65,9	0,53	43,4	0,81	31,10	1,13	13,0	36,8	0,95
H12/8-1/1	12	96	48	21,8	73,9	53,9	57,1	1,29	92,7	0,80	77,62	0,95	13,0	73,5	1,01
H12/8-1/11	12	96	48	25,7	81	53,9	62,1	1,31	100,6	0,81	77,62	1,04	13,0	73,5	1,10
H12/8-1/12	12	96	48	35,3	96,4	53,9	72,7	1,33	117,9	0,82	77,62	1,24	13,0	73,5	1,31
H12/8-1/13	12	96	48	35,3	89,8	53,9	72,7	1,23	117,9	0,76	77,62	1,16	13,0	73,5	1,22
H12/8-2/1	12	96	96	21,8	102,1	53,9	82,3	1,24	121,0	0,84	105,64	0,97	13,0	105,9	0,96
H12/8-2/2	12	96	96	21,8	85,4	53,9	82,3	1,04	121,0	0,71	105,64	0,81	13,0	105,9	0,81
H12/8-2/3	12	96	96	21,8	81,2	53,9	82,3	0,99	121,0	0,67	105,64	0,77	13,0	105,9	0,77
H12/8-2/11	12	96	96	35,3	113,3	53,9	104,7	1,08	154,0	0,74	105,64	1,07	13,0	105,9	1,07
H12/8-2/12	12	96	96	35,3	118	53,9	104,7	1,13	154,0	0,77	105,64	1,12	13,0	105,9	1,11
H12/8-2/13	12	96	96	25,7	89,6	53,9	89,4	1,00	131,4	0,68	105,64	0,85	13,0	105,9	0,85
H12/8-3/1	12	96	144	30,4	159,3	53,9	132,3	1,20	180,9	0,88	137,98	1,15	13,0	144,1	1,11
H12/8-3/2	12	96	144	30,4	164,6	53,9	132,3	1,24	180,9	0,91	137,98	1,19	13,0	144,1	1,14
H12/8-3/3	12	96	144	30,4	142,4	53,9	132,3	1,08	180,9	0,79	137,98	1,03	13,0	144,1	0,99
H12/10-1/1	12	120	72	27,5	107,5	62,0	108,5	0,99	153,9	0,70	104,78	1,03	13,0	111,2	0,97
H12/10-1/2	12	120	72	27,5	118,8	62,0	108,5	1,10	153,9	0,77	104,78	1,13	13,0	111,2	1,07
H12/10-1/3	12	120	72	27,5	124,6	62,0	108,5	1,15	153,9	0,81	104,78	1,19	13,0	111,2	1,12

Tabelle E2: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
H12/10-2/1	12	120	120	27,5	143,9	62,0	144,4	1,00	190,0	0,76	139,50	1,03	13,0	155,3	0,93
H12/10-2/2	12	120	120	27,5	136,5	62,0	144,4	0,95	190,0	0,72	139,50	0,98	13,0	155,3	0,88
H12/10-2/3	12	120	120	27,5	154,8	62,0	144,4	1,07	190,0	0,81	139,50	1,11	13,0	155,3	1,00
WS12/4-10-1,5/1	12	120	180	29,1	127,6	62,0	202,2	0,63	235,2	0,54	189,88	0,67	13,0	220,8	0,58
WS12/4-10-1,5/2	12	120	180	29,1	130,06	62,0	202,2	0,64	235,2	0,55	189,88	0,68	13,0	220,8	0,59
WS12/4-10-1,5/3	12	120	180	29,1	161,07	62,0	202,2	0,80	235,2	0,68	189,88	0,85	13,0	220,8	0,73
WS12/4-10-2,0/1	12	120	240	29,1	175,1	62,0	264,1	0,66	235,2	0,74	248,00	0,71	13,0	235,2	0,74
WS12/4-10-2,0/2	12	120	240	29,1	166	62,0	264,1	0,63	235,2	0,71	248,00	0,67	13,0	235,2	0,71
WS12/4-10-2,0/3	12	120	240	29,1	187,2	62,0	264,1	0,71	235,2	0,80	248,00	0,75	13,0	235,2	0,80
WS12/4-12-0,3/1	12	144	48	30,6	137,3	63,6	132,7	1,03	182,9	0,75	91,58	1,50	13,0	110,3	1,25
WS12/4-12-0,3/2	12	144	48	30,6	113,2	63,6	132,7	0,85	182,9	0,62	91,58	1,24	13,0	110,3	1,03
WS12/4-12-0,3/3	12	144	48	32	138	63,6	135,7	1,02	187,1	0,74	91,58	1,51	13,0	110,3	1,25
H12/12-1/1	12	144	72	24,9	111	63,6	137,4	0,81	181,9	0,61	107,48	1,03	13,0	133,4	0,83
H12/12-1/2	12	144	72	24,9	131,8	63,6	137,4	0,96	181,9	0,72	107,48	1,23	13,0	133,4	0,99
H12/12-1/3	12	144	72	24,9	136,8	63,6	137,4	1,00	181,9	0,75	107,48	1,27	13,0	133,4	1,03
H12/12-2/1	12	144	144	33,5	161,9	63,6	229,5	0,71	275,6	0,59	162,82	0,99	13,0	216,1	0,75
H12/12-2/2	12	144	144	33,5	172,4	63,6	229,5	0,75	275,6	0,63	162,82	1,06	13,0	216,1	0,80
H12/12-2/3	12	144	144	24,9	153,7	63,6	197,9	0,78	237,6	0,65	162,82	0,94	13,0	216,1	0,71
WS12/4-12-1,5/1	12	144	216	28,2	221,5	63,6	286,6	0,77	282,3	0,78	229,60	0,96	13,0	282,3	0,78
WS12/4-12-1,5/2	12	144	216	28,2	218,3	63,6	286,6	0,76	282,3	0,77	229,60	0,95	13,0	282,3	0,77
WS12/4-12-1,5/3	12	144	216	28,2	221	63,6	286,6	0,77	282,3	0,78	229,60	0,96	13,0	282,3	0,78

Tabelle E2: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
H12/4H-2/1	12	48	48	46,2	52,7	27,1	30,0	1,76	62,3	0,85	39,02	1,35	15,4	43,5	1,21
H12/4H-2/2	12	48	48	46,2	53,5	27,1	30,0	1,79	62,3	0,86	39,02	1,37	15,4	43,5	1,23
H12/4H-2/3	12	48	48	46,2	50,2	27,1	30,0	1,68	62,3	0,81	39,02	1,29	15,4	43,5	1,15
H12/4H-2/4	12	48	48	46,2	53,3	27,1	30,0	1,78	62,3	0,86	39,02	1,37	15,4	43,5	1,22
H12/4H-2/11	12	48	48	59,7	48,4	27,1	34,0	1,42	70,8	0,68	39,02	1,24	15,4	43,5	1,11
H12/4H-2/12	12	48	48	59,7	47,1	27,1	34,0	1,38	70,8	0,67	39,02	1,21	15,4	43,5	1,08
H12/4H-2/13	12	48	48	59,7	48	27,1	34,0	1,41	70,8	0,68	39,02	1,23	15,4	43,5	1,10
H12/4H-2/14	12	48	48	59,7	46,2	27,1	34,0	1,36	70,8	0,65	39,02	1,18	15,4	43,5	1,06
H12/8H-1/1	12	96	48	57,9	117,7	66,6	93,1	1,26	151,0	0,78	95,90	1,23	15,4	87,1	1,35
H12/8H-1/2	12	96	48	57,9	130,7	66,6	93,1	1,40	151,0	0,87	95,90	1,36	15,4	87,1	1,50
H12/8H-1/3	12	96	48	57,9	120,1	66,6	93,1	1,29	151,0	0,80	95,90	1,25	15,4	87,1	1,38
H12/8H-2/1	12	96	96	57,9	126,9	66,6	134,1	0,95	197,2	0,64	130,54	0,97	15,4	125,4	1,01
H12/8H-2/2	12	96	96	57,9	133,8	66,6	134,1	1,00	197,2	0,68	130,54	1,03	15,4	125,4	1,07
H12/8H-2/3	12	96	96	57,9	176,9	66,6	134,1	1,32	197,2	0,90	130,54	1,36	15,4	125,4	1,41
H12/8H-4/2	12	96	96	56	129,5	66,6	131,9	0,98	194,0	0,67	130,54	0,99	15,4	125,4	1,03
H12/8H-5/3	12	96	96	56	135,2	66,6	131,9	1,03	194,0	0,70	130,54	1,04	15,4	125,4	1,08
WS12/4H-8-1,5/1	12	96	128	56	174	66,6	162,8	1,07	222,9	0,78	156,58	1,11	15,4	154,8	1,12
WS12/4H-8-1,5/2	12	96	128	56	183	66,6	162,8	1,12	222,9	0,82	156,58	1,17	15,4	154,8	1,18
H12/8H-3/1	12	96	144	57,9	178	66,6	182,5	0,98	222,9	0,80	170,50	1,04	15,4	170,7	1,04
H12/8H-3/2	12	96	144	57,9	112,1	66,6	182,5	0,61	222,9	0,50	170,50	0,66	15,4	170,7	0,66
H12/8H-3/3	12	96	144	57,9	150,8	66,6	182,5	0,83	222,9	0,68	170,50	0,88	15,4	170,7	0,88
WS12/4H-8-2,0/1	12	96	192	64,2	188,8	66,6	251,1	0,75	222,9	0,85	215,78	0,87	15,4	222,9	0,85
WS12/4H-8-2,0/2	12	96	192	64,2	188,6	66,6	251,1	0,75	222,9	0,85	215,78	0,87	15,4	222,9	0,85

Tabelle E2: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
H12/10H-1/1	12	120	60	63,9	133,3	71,3	152,9	0,87	221,7	0,60	111,41	1,20	15,4	120,0	1,11
H12/10H-1/2	12	120	60	63,9	114	71,3	152,9	0,75	221,7	0,51	111,41	1,02	15,4	120,0	0,95
H12/10H-1/3	12	120	60	63,9	121,2	71,3	152,9	0,79	221,7	0,55	111,41	1,09	15,4	120,0	1,01
WS12/4H-10-0,5/1	12	120	60	56,7	148,7	71,3	144,0	1,03	208,8	0,71	111,41	1,33	15,4	120,0	1,24
WS12/4H-10-0,5/2	12	120	60	56,7	145,1	71,3	144,0	1,01	208,8	0,69	111,41	1,30	15,4	120,0	1,21
WS12/4H-10-0,5/3	12	120	60	56,7	151,6	71,3	144,0	1,05	208,8	0,73	111,41	1,36	15,4	120,0	1,26
H12/10H-3/1	12	120	120	56	165,4	71,3	206,1	0,80	271,1	0,61	160,43	1,03	15,4	184,0	0,90
H12/10H-3/2	12	120	120	56	152,8	71,3	206,1	0,74	271,1	0,56	160,43	0,95	15,4	184,0	0,83
H12/10H-3/3	12	120	120	56	172,9	71,3	206,1	0,84	271,1	0,64	160,43	1,08	15,4	184,0	0,94
H12/12H-1/1	12	144	72	57,5	166,5	70,9	208,8	0,80	276,4	0,60	119,82	1,39	15,4	158,1	1,05
H12/12H-1/2	12	144	72	57,5	205	70,9	208,8	0,98	276,4	0,74	119,82	1,71	15,4	158,1	1,30
H12/12H-1/3	12	144	72	57,5	168,4	70,9	208,8	0,81	276,4	0,61	119,82	1,41	15,4	158,1	1,07
H12/12H-2/2	12	144	144	57,5	224,4	70,9	300,7	0,75	334,4	0,67	181,50	1,24	15,4	256,0	0,88
H12/12H-2/3	12	144	144	59,9	174	70,9	306,9	0,57	334,4	0,52	181,50	0,96	15,4	256,0	0,68
H12/12H-2/4	12	144	144	59,9	179,9	70,9	306,9	0,59	334,4	0,54	181,50	0,99	15,4	256,0	0,70
H16/6-2/1	16	96	96	25,6	88	44,4	89,2	0,99	131,1	0,67	75,0	1,17	8,9	81,2	1,08
H16/6-2/2	16	96	96	25,6	77,6	44,4	89,2	0,87	131,1	0,59	75,0	1,03	8,9	81,2	0,96
H16/6-2/3	16	96	96	25,6	69,3	44,4	89,2	0,78	131,1	0,53	75,0	0,92	8,9	81,2	0,85
H16/6-2/4	16	96	96	25,6	71,4	44,4	89,2	0,80	131,1	0,54	75,0	0,95	8,9	81,2	0,88
H16/8-2/1	16	128	128	31	173,4	72,7	174,5	0,99	222,2	0,78	142,5	1,22	8,9	128,8	1,35
H16/8-2/2	16	128	128	31	174	72,7	174,5	1,00	222,2	0,78	142,5	1,22	8,9	128,8	1,35
H16/8-2/3	16	128	128	31	183,6	72,7	174,5	1,05	222,2	0,83	142,5	1,29	8,9	128,8	1,43
H16/10-2/1	16	160	160	33,5	231,6	45,9	283,4	0,82	286,3	0,81	103,3	2,24	8,9	189,0	1,23
H16/10-2/2	16	160	160	33,5	229,3	45,9	283,4	0,81	286,3	0,80	103,3	2,22	8,9	189,0	1,21
H16/10-2/3	16	160	160	33,5	211,4	45,9	283,4	0,75	286,3	0,74	103,3	2,05	8,9	189,0	1,12

Tabelle E2: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit vier Verbunddübeln, Mörtel SP (Hilt (1996), Wagner (1998))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
1	8	80	40	32	38,63	27,3	38,5	1,00	54,6	0,71	34,1	1,13	13,6	35,83	1,08
2	8	80	40	32	36,21	27,3	38,5	0,94	54,6	0,66	34,1	1,06	13,6	35,83	1,01
3	8	80	40	32	41,23	27,3	38,5	1,07	54,6	0,76	34,1	1,21	13,6	35,83	1,15
4	8	80	40	32	42,66	27,3	38,5	1,11	54,6	0,78	34,1	1,25	13,6	35,83	1,19
5	8	80	40	32	40,29	27,3	38,5	1,05	54,6	0,74	34,1	1,18	13,6	35,83	1,12
1	10	90	45	32	69,13	39,8	48,7	1,42	76,1	0,91	48,8	1,42	14,1	50,99	1,36
2	10	90	45	32	70,5	39,8	48,7	1,45	76,1	0,93	48,8	1,45	14,1	50,99	1,38
3	10	90	45	32	70,22	39,8	48,7	1,44	76,1	0,92	48,8	1,44	14,1	50,99	1,38
4	10	90	45	32	70,94	39,8	48,7	1,46	76,1	0,93	48,8	1,46	14,1	50,99	1,39
5	10	90	45	32	69,02	39,8	48,7	1,42	76,1	0,91	48,8	1,42	14,1	50,99	1,35
1	12	110	55	32	85	58,6	72,7	1,17	102,8	0,83	72,0	1,18	14,1	75,39	1,13
2	12	110	55	32	88,07	58,6	72,7	1,21	102,8	0,86	72,0	1,22	14,1	75,39	1,17
3	12	110	55	32	89,69	58,6	72,7	1,23	102,8	0,87	72,0	1,25	14,1	75,39	1,19
4	12	110	55	32	79,17	58,6	72,7	1,09	102,8	0,77	72,0	1,10	14,1	75,39	1,05
5	12	110	55	32	82,57	58,5	72,7	1,14	102,8	0,80	71,9	1,15	14,1	75,26	1,10
1	16	125	63	32	82,73	74,5	94,1	0,88	124,7	0,66	89,2	0,93	11,9	92,83	0,89
2	16	125	63	32	110,09	74,5	94,1	1,17	124,7	0,88	89,2	1,23	11,9	92,83	1,19
3	16	125	63	32	91,47	74,5	94,1	0,97	124,7	0,73	89,2	1,03	11,9	92,83	0,99
4	16	125	63	32	97,3	74,5	94,1	1,03	124,7	0,78	89,2	1,09	11,9	92,83	1,05
5	16	125	63	32	87,1	74,5	94,1	0,93	124,7	0,70	89,2	0,98	11,9	92,83	0,94
1	20	170	85	32	194,71	125,2	173,7	1,12	197,5	0,99	151,8	1,28	11,7	158,46	1,23
2	20	170	85	32	178,09	125,2	173,7	1,03	197,5	0,90	151,8	1,17	11,7	158,46	1,12
3	20	170	85	32	159,96	125,2	173,7	0,92	197,5	0,81	151,8	1,05	11,7	158,46	1,01
4	20	170	85	32	190,39	125,2	173,7	1,10	197,5	0,96	151,8	1,25	11,7	158,46	1,20

Tabelle E3: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit zwei Verbunddübeln, Mörtel HH (HEG 1993))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
1	24	210	105	32	199,78	142,1	265,1	0,75	271,1	0,74	173,2	1,15	9,0	180,96	1,10
2	24	210	105	32	224,23	142,1	265,1	0,85	271,1	0,83	173,2	1,29	9,0	180,96	1,24
3	24	210	105	32	241,39	142,1	265,1	0,91	271,1	0,89	173,2	1,39	9,0	180,96	1,33
4	24	210	105	32	213,22	142,1	265,1	0,80	271,1	0,79	173,2	1,23	9,0	180,96	1,18
5	24	210	105	32	222,61	142,1	265,1	0,84	271,1	0,82	173,2	1,29	9,0	180,96	1,23

Tabelle E3: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit zwei Verbunddübeln, Mörtel HH (HEG 1993))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
1	9,53	84,15	38,1	29,8	53,08	38,1	40,3	1,32	65,5	0,81	45,7	1,16	15,1	47,6	1,11
2	9,53	84,15	38,1	29,8	56,76	38,1	40,3	1,41	65,5	0,87	45,7	1,24	15,1	47,6	1,19
3	9,53	84,15	38,1	29,8	59,82	38,1	40,3	1,48	65,5	0,91	45,7	1,31	15,1	47,6	1,26
4	9,53	84,15	38,1	29,8	51,86	38,1	40,3	1,29	65,5	0,79	45,7	1,13	15,1	47,6	1,09
5	9,53	84,15	38,1	29,8	44,51	38,1	40,3	1,10	65,5	0,68	45,7	0,97	15,1	47,6	0,93
1	15,88	141,12	63,5	29,8	141,26	101,7	113,2	1,25	142,1	0,99	122,0	1,16	14,4	127,1	1,11
2	15,88	141,12	63,5	29,8	129,01	101,7	113,2	1,14	142,1	0,91	122,0	1,06	14,4	127,1	1,01
3	15,88	141,12	63,5	29,8	133,3	101,7	113,2	1,18	142,1	0,94	122,0	1,09	14,4	127,1	1,05
4	15,88	141,12	63,5	29,8	99,62	101,7	113,2	0,88	142,1	0,70	122,0	0,82	14,4	127,1	0,78
5	15,88	141,12	63,5	29,8	126,56	101,7	113,2	1,12	142,1	0,89	122,0	1,04	14,4	127,1	1,00

Tabelle E4: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Gruppenbefestigungen mit zwei Verbunddübeln, Mörtel SP (ITW 1988))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
1	8	80	40	32,0	22,83	27,3	19,6	1,16	27,3	0,84	20,5	1,12	13,6	22,2	1,03
2	8	80	40	32,0	22,52	27,3	19,6	1,15	27,3	0,82	22,2	1,02	13,6	22,2	1,02
3	8	80	40	32,0	22,03	27,3	19,6	1,12	27,3	0,81	22,2	0,99	13,6	22,2	0,99
4	8	80	40	32,0	21,9	27,3	19,6	1,12	27,3	0,80	22,2	0,99	13,6	22,2	0,99
5	8	80	40	32,0	21,98	27,3	19,6	1,12	27,3	0,81	22,2	0,99	13,6	22,2	0,99
6	8	80	40	32,0	22,13	27,3	19,6	1,13	27,3	0,81	22,2	1,00	13,6	22,2	1,00
7	8	80	40	32,0	22,63	27,3	19,6	1,15	27,3	0,83	22,2	1,02	13,6	22,2	1,02
8	8	80	40	32,0	20,63	27,3	19,6	1,05	27,3	0,76	22,2	0,93	13,6	22,2	0,93
9	8	80	40	32,0	22,26	27,3	19,6	1,13	27,3	0,82	22,2	1,00	13,6	22,2	1,00
10	8	80	40	32,0	21,67	27,3	19,6	1,10	27,3	0,79	22,2	0,98	13,6	22,2	0,98
1	10	90	45	32,0	33,56	39,8	24,8	1,35	39,8	0,84	31,1	1,08	14,1	31,1	1,08
2	10	90	45	32,0	33,32	39,8	24,8	1,34	39,8	0,84	31,1	1,07	14,1	31,1	1,07
3	10	90	45	32,0	34,65	39,8	24,8	1,40	39,8	0,87	31,1	1,11	14,1	31,1	1,11
4	10	90	45	32,0	34,08	39,8	24,8	1,37	39,8	0,86	31,1	1,10	14,1	31,1	1,10
5	10	90	45	32,0	34,21	39,8	24,8	1,38	39,8	0,86	31,1	1,10	14,1	31,1	1,10
6	10	90	45	32,0	35,23	39,8	24,8	1,42	39,8	0,89	31,1	1,13	14,1	31,1	1,13
7	10	90	45	32,0	31,95	39,8	24,8	1,29	39,8	0,80	31,1	1,03	14,1	31,1	1,03
8	10	90	45	32,0	34,5	39,8	24,8	1,39	39,8	0,87	31,1	1,11	14,1	31,1	1,11
9	10	90	45	32,0	35,85	39,8	24,8	1,44	39,8	0,90	31,1	1,15	14,1	31,1	1,15
10	10	90	45	32,0	34,76	39,8	24,8	1,40	39,8	0,87	31,1	1,12	14,1	31,1	1,12
1	12	110	55	32,0	48,32	58,5	37,1	1,30	54,0	0,90	46,0	1,05	14,1	46,0	1,05
2	12	110	55	32,0	42,58	58,5	37,1	1,15	54,0	0,79	46,0	0,93	14,1	46,0	0,93
3	12	110	55	32,0	45,36	58,5	37,1	1,22	54,0	0,84	46,0	0,99	14,1	46,0	0,99
4	12	110	55	32,0	42,34	58,5	37,1	1,14	54,0	0,78	46,0	0,92	14,1	46,0	0,92

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
5	12	110	55	32,0	42,37	58,5	37,1	1,14	54,0	0,79	46,0	0,92	14,1	46,0	0,92
6	12	110	55	32,0	48,03	58,5	37,1	1,29	54,0	0,89	46,0	1,04	14,1	46,0	1,04
7	12	110	55	32,0	47,18	58,5	37,1	1,27	54,0	0,87	46,0	1,03	14,1	46,0	1,03
8	12	110	55	32,0	44,5	58,5	37,1	1,20	54,0	0,82	46,0	0,97	14,1	46,0	0,97
9	12	110	55	32,0	47,95	58,5	37,1	1,29	54,0	0,89	46,0	1,04	14,1	46,0	1,04
10	12	110	55	32,0	46,01	58,5	37,1	1,24	54,0	0,85	46,0	1,00	14,1	46,0	1,00
1	16	125	62,5	32,0	53,07	74,5	47,9	1,11	65,4	0,81	55,4	0,96	11,9	55,4	0,96
2	16	125	62,5	32,0	52,37	74,5	47,9	1,09	65,4	0,80	55,4	0,94	11,9	55,4	0,94
3	16	125	62,5	32,0	62,01	74,5	47,9	1,29	65,4	0,95	55,4	1,12	11,9	55,4	1,12
4	16	125	62,5	32,0	59,57	74,5	47,9	1,24	65,4	0,91	55,4	1,07	11,9	55,4	1,07
5	16	125	62,5	32,0	51,67	74,5	47,9	1,08	65,4	0,79	55,4	0,93	11,9	55,4	0,93
6	16	125	62,5	32,0	43,12	74,5	47,9	0,90	65,4	0,66	55,4	0,78	11,9	55,4	0,78
7	16	125	62,5	32,0	51,1	74,5	47,9	1,07	65,4	0,78	55,4	0,92	11,9	55,4	0,92
8	16	125	62,5	32,0	52,22	74,5	47,9	1,09	65,4	0,80	55,4	0,94	11,9	55,4	0,94
9	16	125	62,5	32,0	45,33	74,5	47,9	0,95	65,4	0,69	55,4	0,82	11,9	55,4	0,82
10	16	125	62,5	32,0	56,97	74,5	47,9	1,19	65,4	0,87	55,4	1,03	11,9	55,4	1,03
1	20	170	85	32,0	107,5	125,2	88,6	1,21	103,7	1,04	95,9	1,12	11,7	95,9	1,12
2	20	170	85	32,0	103,78	125,2	88,6	1,17	103,7	1,00	95,9	1,08	11,7	95,9	1,08
3	20	170	85	32,0	90,99	125,2	88,6	1,03	103,7	0,88	95,9	0,95	11,7	95,9	0,95
4	20	170	85	32,0	113,33	125,2	88,6	1,28	103,7	1,09	95,9	1,18	11,7	95,9	1,18
5	20	170	85	32,0	103,85	125,2	88,6	1,17	103,7	1,00	95,9	1,08	11,7	95,9	1,08

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6 Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
6	20	170	85	32,0	103,78	125,2	88,6	1,17	103,7	1,00	95,9	1,08	11,7	95,9	1,08
7	20	170	85	32,0	108,96	125,2	88,6	1,23	103,7	1,05	95,9	1,14	11,7	95,9	1,14
8	20	170	85	32,0	107,18	125,2	88,6	1,21	103,7	1,03	95,9	1,12	11,7	95,9	1,12
9	20	170	85	32,0	110,42	125,2	88,6	1,25	103,7	1,07	95,9	1,15	11,7	95,9	1,15
10	20	170	85	32,0	105,24	125,2	88,6	1,19	103,7	1,02	95,9	1,10	11,7	95,9	1,10
1	24	210	105	32,0	134,22	142,1	135,2	0,99	142,1	0,94	109,9	1,22	9,0	109,9	1,22
2	24	210	105	32,0	116,73	142,1	135,2	0,86	142,1	0,82	109,9	1,06	9,0	109,9	1,06
3	24	210	105	32,0	116,41	142,1	135,2	0,86	142,1	0,82	109,9	1,06	9,0	109,9	1,06
4	24	210	105	32,0	125,96	142,1	135,2	0,93	142,1	0,89	109,9	1,15	9,0	109,9	1,15
5	24	210	105	32,0	119	142,1	135,2	0,88	142,1	0,84	109,9	1,08	9,0	109,9	1,08
6	24	210	105	32,0	125,47	142,1	135,2	0,93	142,1	0,88	109,9	1,14	9,0	109,9	1,14
7	24	210	105	32,0	125,47	142,1	135,2	0,93	142,1	0,88	109,9	1,14	9,0	109,9	1,14
8	24	210	105	32,0	127,09	142,1	135,2	0,94	142,1	0,89	109,9	1,16	9,0	109,9	1,16
HC8/64-1	8	64	32	33,7	16,75	21,5	11,1	1,51	18,4	0,91	15,1	1,11	13,4	16,1	1,04
HC8/64-2	8	64	32	33,7	15,97	21,5	11,1	1,44	18,4	0,87	15,1	1,06	13,4	16,1	0,99
HC8/64-3	8	64	32	33,7	13,16	21,5	11,1	1,19	18,4	0,71	15,1	0,87	13,4	16,1	0,82
HC8/64-4	8	64	32	33,7	17,93	21,5	11,1	1,62	18,4	0,97	15,1	1,19	13,4	16,1	1,11
HC8/64-5	8	64	32	33,7	17,02	21,5	11,1	1,53	18,4	0,92	15,1	1,13	13,4	16,1	1,06
HC8/96-1	8	96	48	32,5	26,21	24,1	25,0	1,05	24,1	1,09	19,3	1,36	10,0	21,1	1,24
HC8/96-2	8	96	48	32,5	31,24	24,1	25,0	1,25	24,1	1,30	19,3	1,62	10,0	21,1	1,48
HC8/96-3	8	96	48	32,5	21,41	24,1	25,0	0,86	24,1	0,89	19,3	1,11	10,0	21,1	1,02
HC8/96-4	8	96	48	32,5	26,95	24,1	25,0	1,08	24,1	1,12	19,3	1,40	10,0	21,1	1,28
HC8/96-5	8	96	48	32,5	23,15	24,1	25,0	0,93	24,1	0,96	19,3	1,20	10,0	21,1	1,10

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
HC8/128-1	8	128	64	33,7	43,54	29,7	44,4	0,98	29,7	1,47	26,7	1,63	9,2	29,7	1,47
HC8/128-2	8	128	64	33,7	47,47	29,7	44,4	1,07	29,7	1,60	26,7	1,78	9,2	29,7	1,60
HC8/128-3	8	128	64	33,7	45,23	29,7	44,4	1,02	29,7	1,52	26,7	1,69	9,2	29,7	1,52
HC8/128-4	8	128	64	33,7	46,42	29,7	44,4	1,05	29,7	1,56	26,7	1,74	9,2	29,7	1,56
HC8/128-5	8	128	64	33,7	42,71	29,7	44,4	0,96	29,7	1,44	26,7	1,60	9,2	29,7	1,44
HC8/160-1	8	160	80	32,5	49,11	35,6	69,4	0,71	35,6	1,38	35,6	1,38	8,9	35,6	1,38
HC8/160-2	8	160	80	28,5	47,46	35,6	69,4	0,68	35,6	1,33	35,6	1,33	8,9	35,6	1,33
HC8/160-3	8	160	80	28,5	40,54	35,6	69,4	0,58	35,6	1,14	35,6	1,14	8,9	35,6	1,14
HC8/160-4	8	160	80	28,5	50,09	35,6	69,4	0,72	35,6	1,41	35,6	1,41	8,9	35,6	1,41
HC8/160-5	8	160	80	28,5	50,30	35,6	69,4	0,73	35,6	1,41	35,6	1,41	8,9	35,6	1,41
HC8/160-6	8	160	80	28,5	50,43	35,6	69,4	0,73	35,6	1,42	35,6	1,42	8,9	35,6	1,42
HC8/160-7	8	160	80	28,5	40,49	35,6	69,4	0,58	35,6	1,14	35,6	1,14	8,9	35,6	1,14
HC12/48-1	12	48	36	33,7	14,26	16,1	7,9	1,80	14,3	1,00	10,5	1,36	8,9	11,1	1,29
HC12/48-2	12	48	36	33,7	12,23	16,1	7,9	1,54	14,3	0,85	10,5	1,17	8,9	11,1	1,10
HC12/48-3	12	48	36	33,7	14,41	16,1	7,9	1,82	14,3	1,01	10,5	1,38	8,9	11,1	1,30
HC12/48-4	12	48	36	33,7	13,99	16,1	7,9	1,77	14,3	0,98	10,5	1,34	8,9	11,1	1,26
HC12/48-5	12	48	36	33,7	12,37	16,1	7,9	1,56	14,3	0,86	10,5	1,18	8,9	11,1	1,12
HC12/48-6	12	48	48	33,7	15,02	16,1	9,8	1,53	16,1	0,93	11,3	1,33	8,9	12,1	1,24
HC12/48-7	12	48	48	33,7	15,29	16,1	9,8	1,56	16,1	0,95	11,3	1,36	8,9	12,1	1,27
HC12/48-8	12	48	48	33,7	15,31	16,1	9,8	1,56	16,1	0,95	11,3	1,36	8,9	12,1	1,27
HC12/48-9	12	48	48	33,7	14,47	16,1	9,8	1,48	16,1	0,90	11,3	1,28	8,9	12,1	1,20
HC12/48-11	12	48	60	33,7	16,33	16,1	11,8	1,38	16,1	1,01	12,1	1,35	8,9	13,1	1,25
HC12/48-12	12	48	60	33,7	16,41	16,1	11,8	1,39	16,1	1,02	12,1	1,36	8,9	13,1	1,25
HC12/48-13	12	48	60	33,7	16,30	16,1	11,8	1,38	16,1	1,01	12,1	1,35	8,9	13,1	1,25

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Elgehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
HC12/96-1	12	96	48	32,5	25,87	30,1	25,0	1,04	30,1	0,86	21,1	1,23	8,3	22,6	1,15
HC12/96-2	12	96	48	32,5	26,62	30,1	25,0	1,07	30,1	0,88	21,1	1,26	8,3	22,6	1,18
HC12/96-3	12	96	48	32,5	31,83	30,1	25,0	1,27	30,1	1,06	21,1	1,51	8,3	22,6	1,41
HC12/96-4	12	96	48	32,5	26,34	30,1	25,0	1,05	30,1	0,88	21,1	1,25	8,3	22,6	1,17
HC12/96-16	12	96	48	32,5	34,05	47,1	25,0	1,36	33,9	1,01	33,0	1,03	13,0	35,3	0,96
HC12/96-17	12	96	48	32,5	31,01	47,1	25,0	1,24	33,9	0,92	33,0	0,94	13,0	35,3	0,88
HC12/96-18	12	96	48	32,5	32,53	47,1	25,0	1,30	33,9	0,96	33,0	0,99	13,0	35,3	0,92
HC12/96-19	12	96	48	32,5	35,57	47,1	25,0	1,42	33,9	1,05	33,0	1,08	13,0	35,3	1,01
HC12/96-20	12	96	48	32,5	32,92	47,1	25,0	1,32	33,9	0,97	33,0	1,00	13,0	35,3	0,93
HC12/96-6	12	96	72	32,5	27,58	30,1	31,7	0,87	30,1	0,92	24,1	1,15	8,3	26,3	1,05
HC12/96-7	12	96	72	32,5	29,54	30,1	31,7	0,93	30,1	0,98	24,1	1,23	8,3	26,3	1,12
HC12/96-9	12	96	72	32,5	31,36	30,1	31,7	0,99	30,1	1,04	24,1	1,30	8,3	26,3	1,19
HC12/96-10	12	96	72	32,5	32,97	30,1	31,7	1,04	30,1	1,10	24,1	1,37	8,3	26,3	1,25
HC12/96-21	12	96	72	32,5	35,59	47,1	31,7	1,12	40,5	0,88	37,7	0,94	13,0	41,2	0,86
HC12/96-22	12	96	72	32,5	36,78	47,1	31,7	1,16	40,5	0,91	37,7	0,98	13,0	41,2	0,89
HC12/96-23	12	96	72	32,5	37,92	47,1	31,7	1,20	40,5	0,94	37,7	1,01	13,0	41,2	0,92
HC12/96-24	12	96	72	32,5	37,46	47,1	31,7	1,18	40,5	0,93	37,7	0,99	13,0	41,2	0,91
HC12/96-25	12	96	72	32,5	35,70	47,1	31,7	1,13	40,5	0,88	37,7	0,95	13,0	41,2	0,87
HC12/96-11	12	96	96	32,5	23,93	30,1	39,2	0,61	30,1	0,80	27,1	0,88	8,3	30,1	0,80
HC12/96-12	12	96	96	32,5	26,15	30,1	39,2	0,67	30,1	0,87	27,1	0,97	8,3	30,1	0,87
HC12/96-13	12	96	96	32,5	30,38	30,1	39,2	0,78	30,1	1,01	27,1	1,12	8,3	30,1	1,01
HC12/96-15	12	96	96	32,5	22,35	30,1	39,2	0,57	30,1	0,74	27,1	0,83	8,3	30,1	0,74

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Elgehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Elgehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Elgehausen, Mällée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
HC12/96-26	12	96	96	26,7	46,44	47,1	39,2	1,19	47,1	0,99	42,4	1,10	13,0	47,1	0,99
HC12/96-27	12	96	96	26,7	45,83	47,1	39,2	1,17	47,1	0,97	42,4	1,08	13,0	47,1	0,97
HC12/96-28	12	96	96	26,7	50,29	47,1	39,2	1,28	47,1	1,07	42,4	1,19	13,0	47,1	1,07
HC12/96-29	12	96	96	26,7	49,73	47,1	39,2	1,27	47,1	1,06	42,4	1,17	13,0	47,1	1,06
HC12/96-30	12	96	96	26,7	52,63	47,1	39,2	1,34	47,1	1,12	42,4	1,24	13,0	47,1	1,12
HC12/144-1	12	144	36	33,7	51,65	95,5	42,7	1,21	51,0	1,01	62,1	0,83	17,6	65,7	0,79
HC12/144-2	12	144	36	33,7	47,54	95,5	42,7	1,11	51,0	0,93	62,1	0,77	17,6	65,7	0,72
HC12/144-3	12	144	36	33,7	46,77	95,5	42,7	1,10	51,0	0,92	62,1	0,75	17,6	65,7	0,71
HC12/144-4	12	144	36	33,7	50,14	95,5	42,7	1,17	51,0	0,98	62,1	0,81	17,6	65,7	0,76
HC12/144-5	12	144	36	33,7	49,22	95,5	42,7	1,15	51,0	0,96	62,1	0,79	17,6	65,7	0,75
HC12/144-6	12	144	72	33,7	53,36	95,5	56,2	0,95	62,2	0,86	76,4	0,70	17,6	83,6	0,64
HC12/144-7	12	144	72	33,7	54,66	95,5	56,2	0,97	62,2	0,88	76,4	0,72	17,6	83,6	0,65
HC12/144-8	12	144	72	33,7	62,98	95,5	56,2	1,12	62,2	1,01	76,4	0,82	17,6	83,6	0,75
HC12/144-9	12	144	72	33,7	51,23	95,5	56,2	0,91	62,2	0,82	76,4	0,67	17,6	83,6	0,61
HC12/144-10	12	144	72	33,7	61,57	95,5	56,2	1,10	62,2	0,99	76,4	0,81	17,6	83,6	0,74
HC12/144-21	12	144	72	26,7	62,86	89,5	56,2	1,12	62,2	1,01	71,6	0,88	16,5	78,3	0,80
HC12/144-22	12	144	72	26,7	71,88	89,5	56,2	1,28	62,2	1,16	71,6	1,00	16,5	78,3	0,92
HC12/144-23	12	144	72	26,7	68,61	89,5	56,2	1,22	62,2	1,10	71,6	0,96	16,5	78,3	0,88
HC12/144-24	12	144	72	26,7	63,89	89,5	56,2	1,14	62,2	1,03	71,6	0,89	16,5	78,3	0,82
HC12/144-25	12	144	72	26,7	61,46	89,5	56,2	1,09	62,2	0,99	71,6	0,86	16,5	78,3	0,78
HC12/144-11	12	144	108	33,7	74,42	95,5	71,3	1,04	74,4	1,00	90,7	0,82	17,6	95,5	0,78
HC12/144-12	12	144	108	33,7	81,65	95,5	71,3	1,14	74,4	1,10	90,7	0,90	17,6	95,5	0,85
HC12/144-13	12	144	108	33,7	78,05	95,5	71,3	1,09	74,4	1,05	90,7	0,86	17,6	95,5	0,82
HC12/144-14	12	144	108	33,7	79,16	95,5	71,3	1,11	74,4	1,06	90,7	0,87	17,6	95,5	0,83

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Elgehausen, Mällée (1988), CC Methode (Fuchs, Elgehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
HC12/144-15	12	144	108	33,7	81,46	95,5	71,3	1,14	74,4	1,10	90,7	0,90	17,6	95,5	0,85
HC12/144-16	12	144	144	33,7	95,37	95,5	88,1	1,08	87,5	1,09	95,5	1,00	17,6	95,5	1,00
HC12/144-17	12	144	144	33,7	93,05	95,5	88,1	1,06	87,5	1,06	95,5	0,97	17,6	95,5	0,97
HC12/144-18	12	144	144	33,7	100,15	95,5	88,1	1,14	87,5	1,14	95,5	1,05	17,6	95,5	1,05
HC12/144-19	12	144	144	33,7	89,83	95,5	88,1	1,02	87,5	1,03	95,5	0,94	17,6	95,5	0,94
HC12/144-20	12	144	144	33,7	99,10	95,5	88,1	1,12	87,5	1,13	95,5	1,04	17,6	95,5	1,04
HC12/144-26	12	144	180	26,7	83,68	89,5	106,6	0,79	89,5	0,93	89,5	0,93	16,5	89,5	0,93
HC12/144-27	12	144	180	26,7	84,22	89,5	106,6	0,79	89,5	0,94	89,5	0,94	16,5	89,5	0,94
HC12/144-28	12	144	180	26,7	85,88	89,5	106,6	0,81	89,5	0,96	89,5	0,96	16,5	89,5	0,96
HC12/144-29	12	144	180	26,7	93,96	89,5	106,6	0,88	89,5	1,05	89,5	1,05	16,5	89,5	1,05
HC12/144-30	12	144	216	26,7	89,19	89,5	126,7	0,70	89,5	1,00	89,5	1,00	16,5	89,5	1,00
HC12/144-31	12	144	216	26,7	89,49	89,5	126,7	0,71	89,5	1,00	89,5	1,00	16,5	89,5	1,00
HC12/144-32	12	144	216	26,7	89,79	89,5	126,7	0,71	89,5	1,00	89,5	1,00	16,5	89,5	1,00
HC12/192-1	12	192	48	33,7	80,73	72,4	75,9	1,06	72,4	1,12	50,7	1,59	10,0	54,3	1,49
HC12/192-2	12	192	48	33,7	79,98	72,4	75,9	1,05	72,4	1,10	50,7	1,58	10,0	54,3	1,47
HC12/192-3	12	192	48	33,7	86,54	72,4	75,9	1,14	72,4	1,20	50,7	1,71	10,0	54,3	1,59
HC12/192-4	12	192	48	33,7	89,71	72,4	75,9	1,18	72,4	1,24	50,7	1,77	10,0	54,3	1,65
HC12/192-5	12	192	48	33,7	85,12	72,4	75,9	1,12	72,4	1,18	50,7	1,68	10,0	54,3	1,57
HC12/192-6	12	192	96	33,7	108,16	72,4	99,9	1,08	72,4	1,49	65,2	1,66	10,0	72,4	1,49
HC12/192-7	12	192	96	33,7	95,78	72,4	99,9	0,96	72,4	1,32	65,2	1,47	10,0	72,4	1,32
HC12/192-8	12	192	96	33,7	106,50	72,4	99,9	1,07	72,4	1,47	65,2	1,63	10,0	72,4	1,47
HC12/192-9	12	192	96	33,7	111,33	72,4	99,9	1,11	72,4	1,54	65,2	1,71	10,0	72,4	1,54

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u,test}	N _{u,single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}	τ	N _{u,calc}	N _{u,test} /N _{u,calc}
HC12/192-10	12	192	96	33,7	99,95	72,4	99,9	1,00	72,4	1,38	65,2	1,53	10,0	72,4	1,38
HC12/192-11	12	192	144	28,5	86,26	94,8	126,8	0,68	94,8	0,91	94,8	0,91	13,1	94,8	0,91
HC12/192-12	12	192	144	28,5	86,21	94,8	126,8	0,68	94,8	0,91	94,8	0,91	13,1	94,8	0,91
HC12/192-13	12	192	144	28,5	79,68	94,8	126,8	0,63	94,8	0,84	94,8	0,84	13,1	94,8	0,84
HC12/192-14	12	192	192	28,5	81,53	94,8	156,7	0,52	94,8	0,86	94,8	0,86	13,1	94,8	0,86
HC12/192-15	12	192	192	28,5	78,47	94,8	156,7	0,50	94,8	0,83	94,8	0,83	13,1	94,8	0,83
HC12/192-16	12	192	192	28,5	101,51	94,8	156,7	0,65	94,8	1,07	94,8	1,07	13,1	94,8	1,07
HC12/192-17	12	192	240	28,5	91,03	94,8	189,5	0,48	94,8	0,96	94,8	0,96	13,1	94,8	0,96
HC12/192-18	12	192	240	28,5	98,36	94,8	189,5	0,52	94,8	1,04	94,8	1,04	13,1	94,8	1,04
HC12/192-19	12	192	240	28,5	94,90	94,8	189,5	0,50	94,8	1,00	94,8	1,00	13,1	94,8	1,00
HC12/192-20	12	192	240	28,5	108,60	94,8	189,5	0,57	94,8	1,15	94,8	1,15	13,1	94,8	1,15
HC12/240-1	12	240	60	28,5	71,95	81,3	118,6	0,61	81,3	0,88	61,0	1,18	9,0	66,1	1,09
HC12/240-2	12	240	60	28,5	72,37	81,3	118,6	0,61	81,3	0,89	61,0	1,19	9,0	66,1	1,10
HC12/240-3	12	240	60	28,5	69,06	81,3	118,6	0,58	81,3	0,85	61,0	1,13	9,0	66,1	1,05
HC12/240-4	12	240	60	28,5	60,73	81,3	118,6	0,51	81,3	0,75	61,0	1,00	9,0	66,1	0,92
HC12/240-5	12	240	60	28,5	64,68	81,3	118,6	0,55	81,3	0,80	61,0	1,06	9,0	66,1	0,98
HC12/240-6	12	240	120	28,5	90,94	81,3	156,1	0,58	81,3	1,12	81,3	1,12	9,0	81,3	1,12
HC12/240-7	12	240	120	28,5	93,89	81,3	156,1	0,60	81,3	1,15	81,3	1,15	9,0	81,3	1,15
HC12/240-8	12	240	120	28,5	98,72	81,3	156,1	0,63	81,3	1,21	81,3	1,21	9,0	81,3	1,21
HC12/240-9	12	240	120	28,5	112,07	81,3	156,1	0,72	81,3	1,38	81,3	1,38	9,0	81,3	1,38
HC12/240-10	12	240	120	28,5	76,87	81,3	156,1	0,49	81,3	0,95	81,3	0,95	9,0	81,3	0,95

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Elgehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
HC12/240-11	12	240	180	28,5	75,26	81,3	198,1	0,38	81,3	0,93	81,3	0,93	9,0	81,3	0,93
HC12/240-12	12	240	180	28,5	97,20	81,3	198,1	0,49	81,3	1,20	81,3	1,20	9,0	81,3	1,20
HC12/240-13	12	240	180	28,5	70,69	81,3	198,1	0,36	81,3	0,87	81,3	0,87	9,0	81,3	0,87
HC12/240-14	12	240	240	28,5	84,07	81,3	244,8	0,34	81,3	1,03	81,3	1,03	9,0	81,3	1,03
HC12/240-15	12	240	240	28,5	85,39	81,3	244,8	0,35	81,3	1,05	81,3	1,05	9,0	81,3	1,05
HC12/240-16	12	240	240	28,5	74,44	81,3	244,8	0,30	81,3	0,92	81,3	0,92	9,0	81,3	0,92

Tabelle E5: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Elgehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Elgehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, Mörtel HH (HEG (1993), Popo-Ola, Newman (1995))

VERSUCH	d	h _{ef}	s	f _{cc}	N _{u, test}	N _{u, single}	Rehm, Eligehausen, Mallée		CC - Methode		SIA 179		Lehr (2003)		
							N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}	τ	N _{u, calc}	N _{u, test} /N _{u, calc}
1	9,53	84,15	38,1	29,6	33,22	38,1	19,9	1,67	30,9	1,07	26,7	1,25	15,1	28,6	1,16
2	9,53	84,15	38,1	29,6	34,12	38,1	19,9	1,72	31,3	1,09	26,7	1,28	15,1	28,6	1,19
3	9,53	84,15	38,1	29,6	39,52	38,1	19,9	1,99	33,7	1,17	26,7	1,48	15,1	28,6	1,38
4	9,53	84,15	38,1	29,6	26,91	38,1	19,9	1,35	27,8	0,97	26,7	1,01	15,1	28,6	0,94
5	9,53	84,15	38,1	29,6	29,31	38,1	19,9	1,47	29,0	1,01	26,7	1,10	15,1	28,6	1,03
1	15,88	141,12	63,5	29,2	68,87	101,7	55,4	1,24	96,4	0,71	71,2	0,97	14,4	76,3	0,90
2	15,88	141,12	63,5	29,2	78,66	101,7	55,4	1,42	101,7	0,77	71,2	1,11	14,4	76,3	1,03
3	15,88	141,12	63,5	29,2	78,86	101,7	55,4	1,42	101,7	0,78	71,2	1,11	14,4	76,3	1,03
4	15,88	141,12	63,5	29,2	78,46	101,7	55,4	1,42	101,7	0,77	71,2	1,10	14,4	76,3	1,03
5	15,88	141,12	63,5	29,2	72,06	101,7	55,4	1,30	98,6	0,73	71,2	1,01	14,4	76,3	0,94

Tabelle E6: Vergleich der gemessenen Höchstlasten mit Bemessungsmodellen: Rehm, Eligehausen, Mallée (1988), CC Methode (Fuchs, Eligehausen (1995), SIA 179 (1998) und Vorschlag (Kapitel 6), Versuche mit Verbundeinzeldübeln am Bauteilrand, (ITW (1988))