

77/7

E-77/7

ERSATZ VON BOLZEN DURCH HOLZSCHRAUBEN UND
SCHRAUBNÄGEL BEI DUEBELVERBINDUNGEN

Lehrstuhl für
Ingenieurholzbau u. Baukonstruktionen
Universität (TH) Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. K. Möhler

ERSATZ VON BOLZEN DURCH HOLZSCHRAUBEN UND SCHRAUBNÄGEL
BEI DUEBELVERBINDUNGEN

Untersuchungen
durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau
in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V.

von
K. Möhler und W. Herroeder

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)

1979

ERSATZ VON BOLZEN DURCH HOLZSCHRAUBEN UND SCHRAUBNÄGEL
BEI DÜBELVERBINDUNGEN

<u>Inhaltsverzeichnis :</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Sichtung der Literatur	2
3. Durchgeführte Versuchsreihen als Vorversuche	3
3.1 Allgemeines	3
3.2 Ausziehversuche mit den Holzschrauben	4
3.2.1 Versuchsaufbau	4
3.2.2 Versuchsergebnisse	5
3.3 Ueberdrehversuche mit den Holzschrauben	6
3.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung	6
3.3.2 Versuchsergebnisse	7
3.4 Bestimmung der erforderlichen Einpreßkräfte bei Bulldog-Dübeln	8
3.4.1 Versuchsaufbau	8
3.4.2 Versuchsergebnisse	9
3.5 Versuche mit gebolzten Dübelverbindungen nach DIN 1052, Teil 1 zur Ermittlung von Vergleichswerten zu den Hauptversuchen	10
3.5.1 Versuchsaufbau und -durchführung	10
3.5.2 Ergebnisse der Versuche	13
4. Hauptversuche mit Dübelkörpern mit Bolzenersatz	15
4.1 Ersatz von Bolzen durch Holzschrauben	15
4.1.1 Versuchsaufbau und -durchführung	15
4.1.2 Versuchsergebnisse und Auswertung	16
4.2 Ersatz von Bolzen durch Schraubnägel	19
4.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung	19
4.2.2 Versuchsergebnisse und Auswertung	20
5. Zusammenstellung sämtlicher Ergebnisse und Schlußfolgerungen	22
6. Zusammenfassung	23
Schrifttum	24

B E R I C H T

zum Forschungsauftrag "Ersatz von Bolzen durch Holzschrauben und Schraubnägel bei Dübelverbindungen"

Möhler K. und Herröder W.

1. EINLEITUNG

Für die Bemessung und Ausführung von Dübelverbindungen im Ingenieurholzbau gilt DIN 1052, Teil 1, Abschnitt 11.1 sowie DIN 1052, Teil 2. Dabei sind für Dübelverbindungen besonderer Bauart in DIN 1052, Teil 2, Tabelle 1 neben den zulässigen Belastungen verbindliche Festlegungen über die Mindestholzdicken und die Mindestdübelabstände für die z.Zt. anwendbaren Dübelformen und -größen angegeben. Zur Sicherung von Dübelverbindungen ist in der Tabelle auch für jede einzelne Dübelart vorgeschrieben, jeden Dübel mit einem Bolzen bestimmten Durchmessers zur Aufnahme der auftretenden Kippkräfte zu versehen. Die Anwendung derartiger Bolzen stößt aber mindestens dort an technische und nicht zuletzt wirtschaftliche Grenzen, wo Stäbe an Schmalseiten von hohen Rechteckquerschnitten angeschlossen werden sollen. Außerdem wird das Brandverhalten der "gebolzten" Dübelverbindung durch die gute Wärmeleitung des Stahlbolzens ungünstig beeinflusst. Es lag daher nahe zu untersuchen, ob der Bolzen durch Holzschrauben gleichen Durchmessers oder auch durch Schraubnägel ersetzt werden kann. Dabei kam es besonders darauf an, die Länge der Holzschrauben und Anzahl und Einschlagtiefe der Schraubnägel so festzulegen, daß das Verformungs- und Tragverhalten derartiger Verbindungen mindestens den Werten der gebolzten Verbindungen entsprechen. Über die Tragfähigkeit und das Formänderungsverhalten derartiger Verbindungen liegen bisher zumindest in Deutschland keine Untersuchungen vor, so daß über ihre zulässige Belastung weithin Unklarheit herrscht, obwohl diese Art der Dübelsicherung in der Praxis schon ab und zu angewandt wird, z.B. für den Anschluß von Pfetten auf Brettschichtbindern. In den USA ist der Ersatz von Bolzen durch Holzschrauben unter gewissen Voraussetzungen zulässig, wie in [1] mitgeteilt wird. Hiernach wird die

zulässige Belastung derartiger Verbindungen durch prozentuale Abminderung der Werte der gebolzten Verbindung bestimmt. Dabei liegen die vorgeschriebenen Abminderungen für die einzelnen Holzarten je nach der Einschraubtiefe zwischen 0 und 25%. Da dieses Verfahren im Hinblick auf Holzarten und Dübelformen nicht ohne weiteres auf deutsche Verhältnisse übertragen werden kann, war es erforderlich bei derartigen Dübelanschlüssen das Trag- und Verformungsverhalten durch besondere Versuche festzustellen.

Der Zweck dieses Forschungsvorhabens war es daher, durch praxisnahe Versuche zu klären, inwieweit bei Anordnung von Holzschrauben oder Schraubnägeln anstelle der vorgeschriebenen Bolzen die Wirksamkeit derartiger Verbindungen erhalten bleibt und aufgrund der Versuchsergebnisse Bemessungs- und Ausführungsregeln für derartige Verbindungen aufzustellen.

2. SICHTUNG DER LITERATUR

Bevor mit dem Entwurf und der Durchführung praktischer Versuche begonnen wurde, war eine umfassende Sichtung aller zugänglichen Literatur über diesen Problembereich vorgenommen worden. Dabei stellte sich heraus, daß im deutschsprachigen Raum noch keine Untersuchung veröffentlicht wurde, die sich mit der Anwendung von Holzschrauben nach DIN 571 oder Schraubnägeln als Alternative zum Dübelbolzen befaßt hätte.

Außerdem konnten keine Veröffentlichungen ausfindig gemacht werden, wonach eine theoretische Bestimmung der auftretenden Kippkräfte bei Belastung kreisförmiger Dübel möglich gewesen wäre. Dieses auch für diesen Forschungsauftrag grundlegende Problem theoretisch zu erfassen, ist sehr schwer, da die Beanspruchung und das Verhalten der Dübel von vielen Faktoren wie Dübelart, Dübelform, Steifigkeit des Dübelkörpers, Reibungsverhalten zwischen Dübel und Holz, der Holzart sowie der Holzfeuchtigkeit u.a.m. abhängig sind. Bisher sind keine Schadensfälle bekannt geworden, die durch das Versagen des Dübelbolzens verursacht worden wären. Auch die Anwendung von Holzschrauben anstelle eines Schraubenbolzens hat, soweit hier bekannt, keine nachteiligen Folgen bezüglich des Verformungs- und Tragverhaltens von Dübelverbindungen gezeigt.

Bei Rechteckdübeln, die aber in dieser Forschungsaufgabe nicht behandelt werden sollten, wurde die Beanspruchung der Dübel auf Kippen von

Habicht [2] theoretisch abgeleitet. Ansonsten bezogen sich Veröffentlichungen über Dübel auf deren Beschreibung und der Untersuchung der auftretenden Lochleibungskräfte, siehe [3], [4] u. [5]. Vorschriften und Veröffentlichungen über Holzschrauben bzw. Schraubnägel beziehen sich im wesentlichen auf Angaben über zulässige Belastungen senkrecht zur Schaftrichtung sowie auf Herausziehen und auf Beispiele für deren Anwendung auch außerhalb des Ingenieurholzbaues.

3. DURCHGEFÜHRTE VERSUCHSREIHEN ALS VORVERSUCHE

3.1 ALLGEMEINES

Zur Klärung der Frage, ob und in welcher Weise die bei Dübelverbindungen vorgeschriebenen Bolzen durch Holzschrauben gleichen Durchmessers oder durch Schraubnägel ersetzt werden können, wurden Versuche mit zweiseitigen Ringkeildübeln System Appel (Einfräsdübel) mit 65 und 95 mm Durchmesser und mit runden Verbindern System Bulldog (Einpreßdübel) mit 62 und 95 mm Durchmesser vorgesehen. Als Alternative zum nach DIN 1052, Teil 2 vorgeschriebenen Dübelbolzen wurden Sechskant-Holzschrauben nach DIN 571 und als Schraubnägel Bierbach-Sparrennägeln mit 6,0 mm Schraubgewindedurchmesser verwendet. In Anlehnung an die Norm wurden bei allen Versuchen mit Holzschrauben die dort vorgesehenen Bolzendurchmesser und die Unterlegscheiben 6/58 und 6/68 in runder Ausführung gewählt. Die Neigung zwischen Kraft- und Faserrichtung wurde mit 0° (Längsversuche) und mit 90° (Querversuche) variiert. Bevor mit diesen Versuchsreihen begonnen wurde, wurden einige Vorversuchsreihen durchgeführt, um die neben der Vorspannkraft auf den Bolzen bzw. die Holzschraube wirkende Zugkraft aus der Kippbeanspruchung des belasteten Dübels zu bestimmen. Daraus sollten Schlüsse für die erforderlichen Einschraubtiefen von Holzschrauben bzw. die Einschlagtiefen von Schraubnägeln gezogen werden. Außerdem war es wichtig Aufschlüsse darüber zu erhalten, bis zu welchem Drehmoment die Schraube angezogen werden kann, ohne daß ein Abwürgen der Schraube im Gewindeschaftritt auftritt oder die Schraube so weit überdreht wird, daß sie nicht mehr weiter in das Holz eindringt, sondern die durch das Gewinde erfaßten Holzfasern abschert. Dieser Grenzzustand ist deshalb von besonderer Wichtigkeit, da er weder deutlich sichtbar noch sonstwie feststellbar ist, aber bereits zu Zerstörungen des Holzes im Gewindebereich führen kann, die die Haltekraft der Schraube im Holz

wesentlich beeinträchtigen können. Gleichzeitig war es von Interesse festzustellen, wie hoch in diesen Fällen die im Schraubenquerschnitt auftretende Zugspannung wird.

Eine weitere Frage, die durch Vorversuche geklärt werden mußte, bestand darin, die Höhe der Kraft zu bestimmen, die erforderlich ist, einen Einpreßdübel System Bulldog problemlos in das Holz einpressen zu können und, ob dies sachgerecht allein mit der dazugehörigen Holzschraube bewerkstelligt werden kann, ohne diese zu überbeanspruchen. Dieses Problem war für die Einfräsdübel System Appel gegenstandslos, da diese in vorgefräste Nuten in das Holz eingelegt werden und die Bolzen in erster Linie die Sicherung der Dübel gegen Kippen bewirken sollen. Deshalb können hier, zumindest bei größeren Dübeldurchmessern auch geringere Schraubendurchmesser als bei Einpreßdübeln verwendet werden. Da für die Versuche weitgehend Brettschichtholz zur Anwendung kam, wurden auch Vorversuche zur Ermittlung der Haftkraft von Holzschrauben in Brettschichtholz durchgeführt und diese mit den nach DIN 1052, Teil 1, Abs. 11.4.3 berechneten Werten verglichen.

3.2 AUSZIEHVERSUCHE MIT DEN HOLZSCHRAUBEN

3.2.1. Versuchsaufbau

Mit Sechskant-Holzschrauben, Durchmesser 12 und 16 mm, wie sie für die Hauptversuche vorgesehen waren, wurden Ausziehversuche durchgeführt, wobei die Schrauben mit einer Einschraublänge von 5, 7,5, 10 und 12 cm sowie zusätzlich 14 und 16,5 cm bei Schrauben \varnothing 16 mm in Brettschichtholz mit einer Holzfeuchtigkeit von 10 - 13 % eingedreht wurden. Die Vorbohrung im Holz betrug 0,7 d, d.h. 8,4 mm für Holzschrauben \varnothing 12 mm und 11,5 mm für \varnothing 16 mm. Erläuternd ist hier zu erwähnen, daß das nach DIN 1052 vorgeschriebene Vorbohren mit 70 % des Schraubenschaftdurchmessers oft problematisch ist, da Holzbohrer im Handel nur in 1 mm-Durchmesserabstufung angeboten werden. Aus diesem Grund wurde für alle Versuche dieses Untersuchungsprogramms auf Stahlbohrer ausgewichen, die aber bei größeren Durchmessern ebenso schwer in 1/10 mm Abstufung im Handel erhältlich waren. Deshalb wurde die Vorbohrung für die Versuche mit \varnothing 16 mm nicht mit $0,7 \cdot 16 = 11,2$ mm, sondern mit 11,5 mm vorgenommen. Die Ausziehungskraft wurde mit Hilfe einer 100kN-Prüfmaschine aufgebracht, wobei die Last-Weg-Linie als Diagramm aufgezeichnet wurde.

In Bild 1 ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt

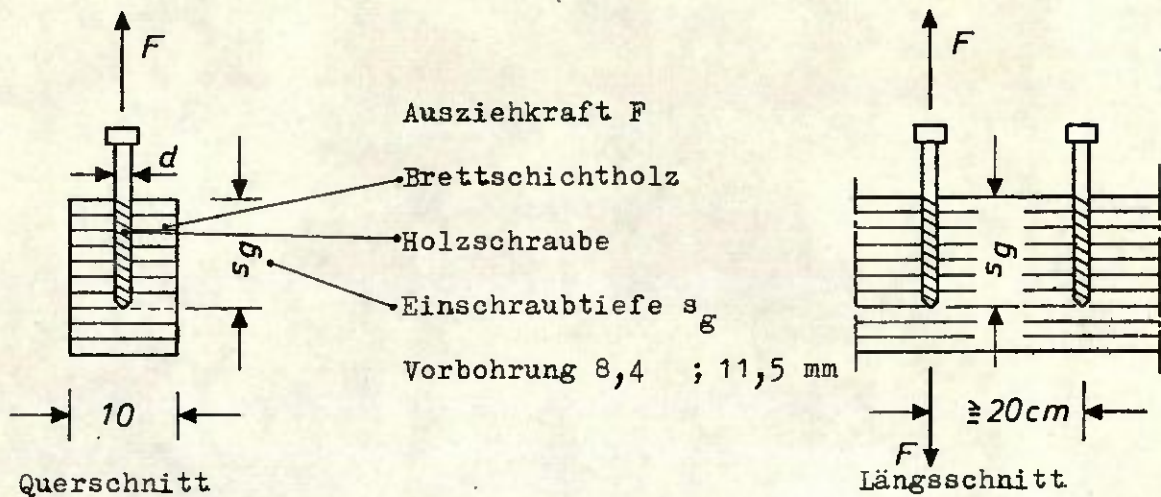


Bild 1: Versuchsaufbau der Ausziehversuche

3.2.2 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der durchgeführten Ausziehversuche sind in Tabelle 1 für die Holzschraubendurchmesser 12 mm und 16 mm zusammengestellt. Wie der Verlauf der mittleren Höchstlasten in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe nach Bild 2 zeigt, steigt der Ausziehwiderstand praktisch linear in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe an, wie es auch bei den nach DIN 1052 errechneten zulässigen Belastungen parallel zur Schraubenachse der Fall ist. Die Sicherheit gegenüber den Mittelwerten lag bei allen Versuchen zwischen 4 und 6, wobei die Sicherheiten mit zunehmender Einschraubtiefe anstiegen. Bei den 12 mm Holzschrauben ergaben sich im Kernquerschnitt bei $s_g = 12\text{ cm}$ mittlere Zugspannungen von $446,6\text{ N/mm}^2$. Im Schaftquerschnitt blieben die Spannungen unterhalb der Mindeststreckgrenze von 240 N/mm^2 . Ähnlich verhielt es sich bei den Holzschrauben $\varnothing 16\text{ mm}$. Hier wurde allerdings wegen des größeren Querschnittes die Höhe der Bruchspannung im Kernquerschnitt erst bei einer Einschraubtiefe von 16,5 cm erreicht.

Durch die steigenden Zugspannungen in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe wurden durch das Fließen des Stahles auch die Dehnwege im Verhältnis dazu immer größer.

Die Güteklasse des Brettschichtholzes beeinflusst die Ausziehwerte dahingehend, daß bei Gkl I geringfügig höhere Werte gemessen wurden gegenüber

Tabelle 1: Ergebnis der Ausziehversuche mit den Holzschrauben ϕ 12 und 16 mm

a) Holzschrauben ϕ 12 mm

s_g cm	N	\bar{Z}_B kN	Z_B 5% kN	zul Z nach DIN 1052 kN	\bar{v} \bar{Z}_B /zul Z	max σ_{Zs} N/mm ²	max σ_{Zk} N/mm ²	Ausziehweg Δl [mm]
5,5	4	7,84	5,96	1,98	3,96	73,0	135,0	3,1
7,5	5	12,83	11,58	2,70	4,75	117,3	220,8	2,9
10	4	18,28	15,06	3,60	5,08	170,0	300,6	5,5
12	5	24,75	18,61	4,32	5,73	226,3	446,6	4,8

b) Holzschrauben ϕ 16 mm

5,5	5	12,35	10,52	2,64	4,68	63,0	116,9	2,7
7,5	5	19,38	18,14	3,60	5,38	91,7	171,3	3,4
10	4	26,25	22,07	4,80	5,47	132,2	232,1	4,2
12	4	28,69	20,04	5,76	4,98	148,2	281,0	5,4
14	5	40,08	35,01	6,72	5,96	207,0	348,5	6,0
16,5	5	47,12	38,45	7,92	5,95	241,7	403,1	8,4

s_g =Einschraubtiefe;

N =Anzahl der Einzelversuche; max σ_{Zs} , max σ_{Zk} =Zugspannungen im Schaft-

Δl =Ausziehweg bei Erreichen der Bruchlast bzw. Kernquerschnitt ;

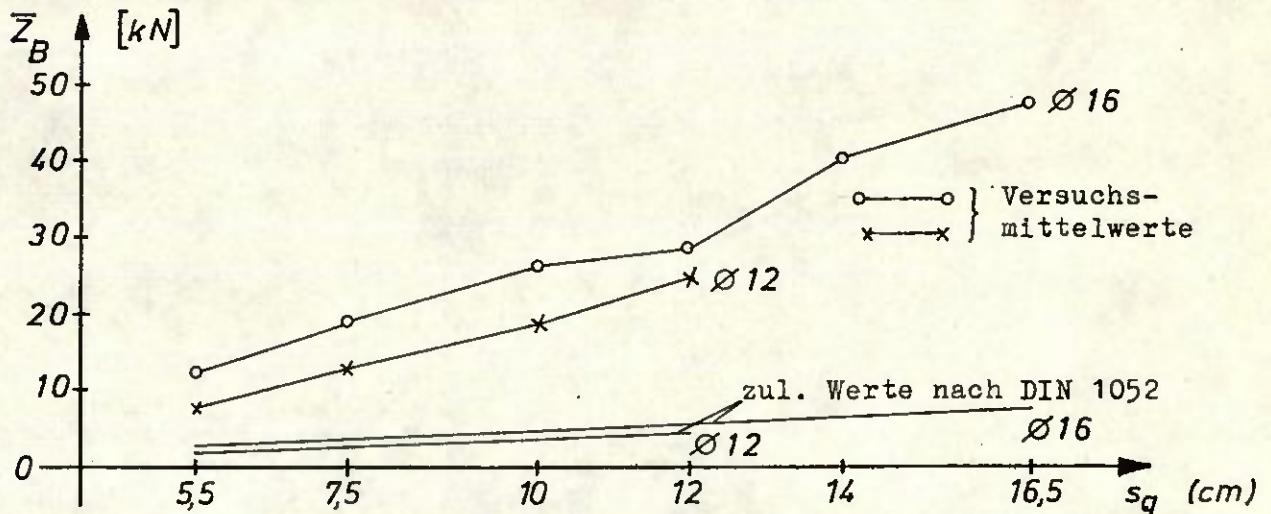


Bild 2: Mittlere Ausziehbruchlasten und zul. Ausziehlasten von Holzschrauben ϕ 12 und ϕ 16 mm in Brettschichtholz

bei Brettschichtholz der Gkl II. Bei den Holzschrauben ϕ 12 mm konnten Unterschiede bis zu 10 % festgestellt werden.

3.3 ÜBERDREHVERSUCHE MIT DEN HOLZSCHRAUBEN

3.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Zur Klärung der Frage, bei welchem Drehmoment M_T eine Holzschraube, die bis zu einer gewissen Einschraubtiefe eingedreht ist, bei weiterem Anziehen entweder die Holzfasern im Gewindebereich zerstört und damit keine oder nur noch eine geringe Zugkraft in Achsrichtung mehr aufnehmen kann, oder auch durch das aufgebrauchte Drehmoment im Schaft- bzw. Gewindebereich abgewürgt wird, wurden Überdrehversuche, wie in Bild 3 schematisch dargestellt, wiederum mit Holzschrauben ϕ 12 und ϕ 16 mm durchgeführt. Dabei wurden die Einschraubtiefen wie in Abschnitt 3.2 variiert, mit Ausnahme von $s_g = 16,5$ cm für ϕ 16 mm. Gleichzeitig wurde der Verlauf der Zugkraft in der Schraube mit Hilfe von Kraftmeßdosen bis zum Bruch gemessen.

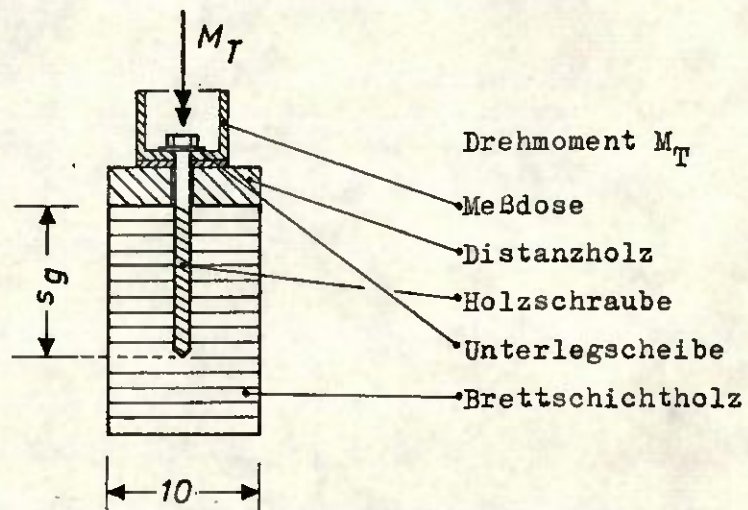


Bild 3: Schemaskizze des Versuchsaufbaus der Überdrehversuche

Die Schraubenlöcher wurden im Brettschichtholz wiederum mit 8,4 bzw. 11,5 mm vorgebohrt. Die Holzschrauben wurden ohne Messungen so weit eingedreht, bis die vorgegebene Einschraubtiefe im Brettschichtholz erreicht war, wobei der Schraubenkopf einschließlich Unterlegscheibe auf dem Boden der Kraftmeßdose satt aufsaß. Die gewünschte Einschraubtiefe wurde über ein Distanzhartholz mit ausreichendem Lochspiel geregelt. Danach wurde die Holzschraube mit einem 200 Nm Drehmomentenschlüssel mit Schleppeizer bis zum Bruch der Schraube oder des Holzes am

Gewindeteil weiter angezogen. Das dazu nötige Drehmoment konnte am Momentenschlüssel abgelesen werden, während der Verlauf der Zugkraft in der Schraube über die Meßdose elektrisch gemessen und als Kraft-Zeit-Linie durch einen X-Y-Schreiber aufgezeichnet wurde.

3.3.2 Versuchsergebnisse

Tabelle 2 enthält die bei den Überdrehversuchen festgestellten Versuchsergebnisse für die Holzschrauben 12 und 16 mm. In Bild 4 sind die Mittelwerte von $\max M$ und $\max Z$ in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe für die beiden Schraubendurchmesser aufgezeichnet. Aus dem Diagramm geht hervor, daß die Zunahme von Moment und Zugkraft mit größer werdender Einschraubtiefe geringer wird, und die Kurven sich einer Parallelen zur Abszisse nähern, was besonders augenfällig aus dem Kurvenverlauf für die Holzschrauben $\varnothing 12$ mm erkennbar ist. Dieses Verhalten erklärt sich aus den in der letzten Spalte der Tabelle 2 angegebenen Bruchursachen. Bei geringen Einschraubtiefen war die Festigkeit der Holzschraube groß genug, um das bis zum Abscheren der Holzfasern aufzubringende Drehmoment aufnehmen zu können. In diesem Fall wurden die das Gewinde umgebenden Holzfasern zerstört, während die Holzschraube keinen Schaden nahm. Bei größeren Einschraubtiefen und damit wachsenden Reibungsbeanspruchungen in der Gewindeoberfläche veränderte sich die Sachlage zugunsten des Holzes. Jetzt war die Festigkeit des Holzes größer als die Verwindungsfestigkeit der Schraube. Die Bruchstelle lag bei allen zerstörten Holzschrauben an der Übergangsstelle zwischen Schraubenschaft und Schraubengewinde. Die beim Bruch der Schrauben maximal erreichten Zugspannungen im Kern- und Schaftquerschnitt lagen zwischen 210 und 244 N/mm^2 . Dazu waren Drehmomente bei der 12 mm Schraube von ca. 90 Nm, bei der 16 mm Schraube von ca. 193 Nm aufzubringen. Brach die Schraube, so geschah dies plötzlich und schlagartig, weshalb bei der praktischen Anwendung darauf geachtet werden muß, daß die Anziehmomente unter den kritischen Werten bleiben. Für das praktische Arbeiten mit Holzschraubenverbindungen ist weiterhin die bei diesen Versuchen gemachte Beobachtung wichtig, daß vor allem bei kurzen Einschraubtlängen es sehr leicht ist, einen Bruch der Verbindung durch Zerstörung der Holzfasern im Gewindeteil durch weiteres Anziehen der Schraube herbeizuführen. Deshalb ist es wichtig darauf zu achten die Holzschraube nicht zu fest anzuziehen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Überdrehversuche

a) Holzschrauben ϕ 12 mm, Vorbohrung ϕ 8,4 mm

s_g cm	N	max M Nm	\bar{Z}_B kN	max σ_{Zs} N/mm ²	max σ_{Zk} N/mm ²	Bruchversagen
5,5	9	79,4	10,63	98,9	183,0	Holz
7,5	10	87,5	13,83	126,4	238,0	Holz
10	10	89,6	13,21	122,8	217,1	Holz/Schraube
12	8	90,0	13,39	122,4	241,6	Schraube

b) Holzschrauben ϕ 16 mm, Vorbohrung ϕ 11,5 mm

5,5	5	90,2	12,35	58,4	109,2	Holz
7,5	5	125,6	18,74	88,7	165,7	Holz
10	5	147,4	22,94	118,0	217,8	Holz
12	5	157,8	25,73	132,4	244,3	Holz
14	3	193,0	24,54	126,8	210,6	Schraube

max M = max aufgenommenes Drehmoment

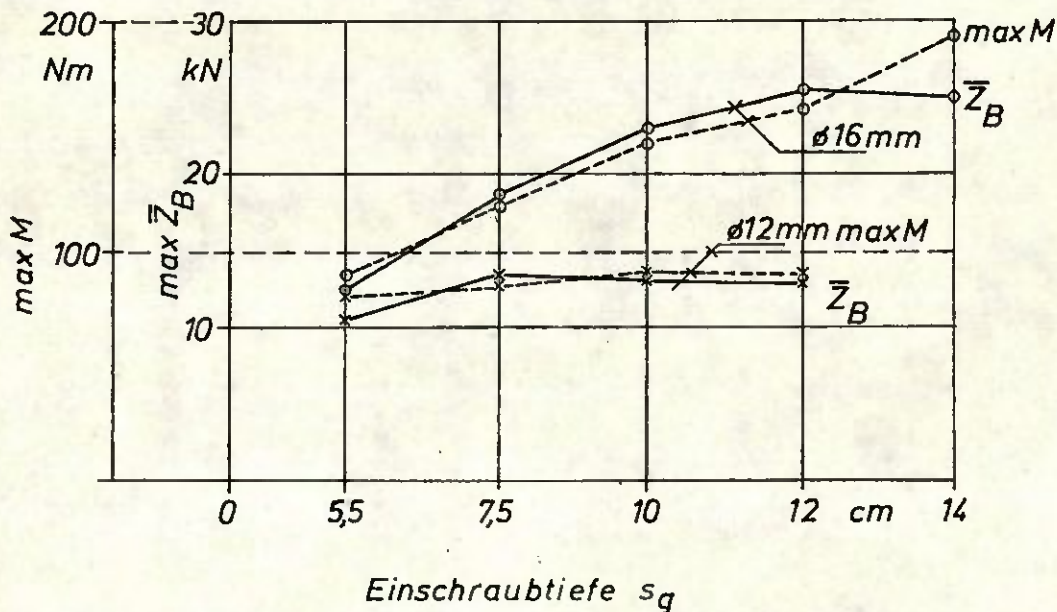


Bild 4: Zugkraft- und Drehmomentenverlauf in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe

Um Überbeanspruchungen mit Sicherheit zu vermeiden wird vorgeschlagen, die Holzschrauben bei derartigen Verbindungen zwar fest anzuziehen, nach dem sichtbaren Eindrücken der unter dem Kopf befindlichen Unterscheibe aber nicht mehr weiter zu drehen.

3.4 BESTIMMUNG DER ERFORDERLICHEN EINPRESSKRÄFTE BEI BULLDOG-DÜBELN

3.4.1 Versuchsaufbau

Diese Vorversuche hatten den Zweck, die Größe der erforderlichen Kräfte zu ermitteln, die notwendig sind, um die für die Hauptversuche vorgesehenen zweiseitigen Einpreßdübel System Bulldog ϕ 62 und ϕ 95 mm fachgerecht in die Hölzer der Versuchskörper eindrücken zu können. Für die praktische Anwendung von Dübelverbindungen mit Holzschrauben ist es wichtig zu wissen, ob Einpreßdübel gleichzeitig mit dem Eindrehen und Anziehen der sowieso notwendigen Holzschraube genügend eingepreßt werden können, oder ob eine besondere Preßvorrichtung dazu erforderlich ist. Die Versuchskörper bestanden nach Bild 5 aus 2 trockenen Fichtenholzbohlen mit den Abmessungen $a/b/l = 5/12/25$ cm. Die erforderliche Pressen-
kraft F_p wurde über den Druckkolben einer Prüfmaschine mit einer Geschwindigkeit von $v = 4$ mm/Min aufgebracht. Nachdem der Dübel eingepreßt war, wurde 30 sec lang die Belastung konstant gehalten, bevor wieder entlastet wurde. Gleichzeitig wurde über den Maschinenschreiber die Kraft-Weg-Linie aufgezeichnet.

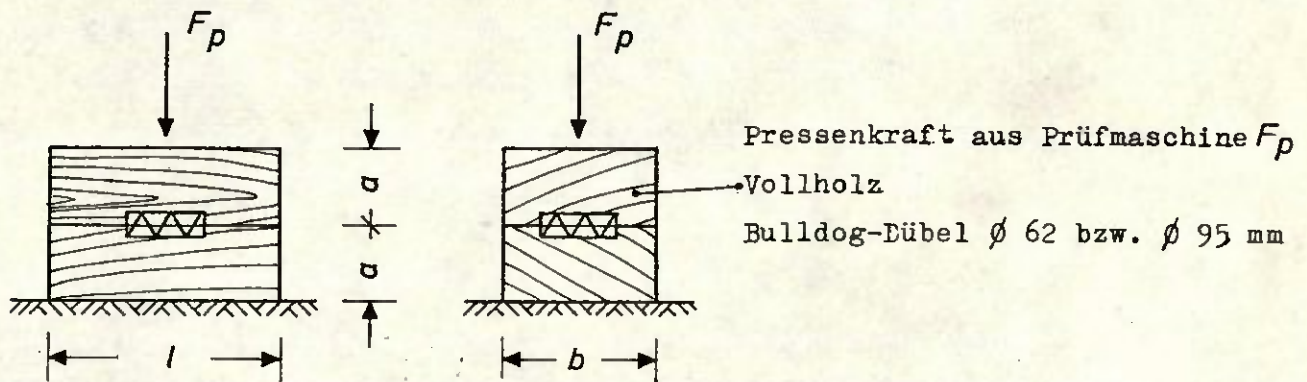


Bild 5: Versuchsaufbau - Einpreßversuche

3.4.2 Versuchsergebnisse

In Tabelle 3 sind die Anzahl der durchgeführten Versuche und die erforderlichen Einpreßkräfte mit ihren Mittelwerten aufgeführt. Wie der Spalte "Bemerkungen" zu entnehmen ist, wurden die Bulldog-Dübel hauptsächlich in astfreie Bereiche der Hölzer eingepreßt, wie dies auch in der Praxis bei Dübelverbindungen in der Regel sein sollte. Die erforderliche Preßkraft betrug für die Dübel ϕ 62 mm im Mittel 9,64 kN, wobei der kleinste Einzelwert 8,0 kN und der größte Wert 11,5 kN bei 7 Versuchen betrug. Für die Dübel ϕ 95 mm wurden mittlere Kräfte von 20,4 kN (minimal 18,5 kN und maximal 22,8 kN) festgestellt. Da es in der Praxis aber häufig vorkommt, daß im Anschlußbereich auch Äste auftreten, wurden zusätzlich noch 2 Versuche je Dübelgröße durchgeführt, bei denen ein Teil der Dübelzacken in Äste eingepreßt werden mußte. Bei Dübeln ϕ 62 mm erhöhte sich die erforderliche Preßkraft um ca. 50-60 %, wobei etwa 30 % der Dübelzacken in feste Äste gepreßt wurden, bei Dübel ϕ 95 mm erhöhte sich die Kraft um ca. 10 % bei 20 % Anteiligen Dübelzacken im Vergleich zu astfreien Verbindungen.

Unmittelbar nach der Entlastung der Versuchskörper wurden die durch die Rückfederung der Dübel entstandenen Fugendicken gemessen. Sie lagen bei allen geprüften Verbindungen zwischen 1,5 und 2,5 mm (Dübelblechdicke 1,3 mm). Messungen, durchgeführt nach ca. 8 Stunden, ergaben keine weiteren oder nur unwesentliche Vergrößerungen der Fugen.

Die für diese Versuche verwendeten Vollhölzer besaßen im Mittel eine Holzfeuchtigkeit von $u = 14,8$ %, die Rohdichte lag bei $\rho = 0,46$ g/cm³ und die Druckfestigkeit parallel zur Faser betrug $R_{DII} = 43,8$ N/mm². Wie aus dem Vergleich der Tabelle 2 und 3 hervorgeht, wäre es theoretisch möglich, Bulldog-Dübel ϕ 62 mm mit Holzschrauben ϕ 12 ab einer Einschraubtiefe von $s_g = 5,5$ cm in Holz einzupressen, wobei dieser geringe s_g -Wert allerdings schon einen Grenzwert bedeutet, da mit einer Zerstörung der Holzfasern im Gewindebereich gerechnet werden muß. Um diese Feststellung zu überprüfen, wurden Bulldog-Dübel ϕ 62 mm mit Holzschrauben ϕ 12 mm und verschiedenen Einschraubtiefen ins Holz einzupressen versucht. Die Eigenschaften der dafür verwendeten Hölzer waren die gleichen wie die der vorangegangenen Einpreßversuche. Die Versuchskörper wurden im Gewindeteil der Holzschraube mit 8,4 mm, im Schaftteil mit 12 mm vorgebohrt. Die Hölzer waren, von einigen kleinen Ästen abgesehen, astfrei.

Tabelle 3: Erforderliche Einpreßkräfte von Bulldog-Dübeln

Dübel ϕ mm	N	erf F kN	5 % Fraktile	Bemerkungen
ϕ 62 *)	7	9,64	6,98	Hölzer astfrei 4 Dübelzähne/Seite stoßen auf Äste 5 bzw. 2 Dübelzähne/Seite stoßen auf Äste
ϕ 62	1	13,75		
ϕ 62	1	15,50		
ϕ 95 **)	6	20,38	17,34	Hölzer astfrei 3 Dübelzähne stoßen auf einer Seite auf Äste 4 Dübelzähne/Seite stoßen auf Äste
ϕ 95	1	21,75		
ϕ 95	1	22,75		

*) Bulldog ϕ 62 hat 12 Zacken/Seite

***) Bulldog ϕ 95 hat 12 Außen- und 6 Innenzacken/Seite

Für den ersten Versuch wurde eine Einschraubtiefe von 12 cm gewählt. Mit dieser Länge ließ sich der Dübel problemlos in das Holz eindrücken. Es wurde dazu ein maximales Moment von 80 Nm aufgewendet.

Der zweite Versuch wurde mit $s_g = 10$ cm durchgeführt; auch hier konnte der Dübel ebenso problemlos eingepreßt werden.

Beim dritten Versuch wurde die Einschraubtiefe auf 7,5 cm verringert, dabei konnte der Dübel ebenfalls noch gut eingedrückt werden. Allerdings kam es hierbei darauf an, die Schraube nicht zu fest anzuziehen, da nur wenige weitere Umdrehungen genügten, die Holzschraube zu überdrehen, d.h. den Bruch des Holzes am Gewindeteil herbeizuführen, so daß die Haltekraft der Holzschraube nicht mehr gewährleistet war.

Wie dieses Ergebnis erwarten ließ, war es bei einem weiteren Versuch mit einer Einschraubtiefe von 5,5 cm nicht mehr möglich, den Dübel nur mit der Holzschraube sachgemäß in das Holz einzupressen. Nachdem die Zacken wenige Millimeter in das Holz gedrückt waren, wurde die Schraube überdreht. In der Praxis sollten Einpreßdübel nach Möglichkeit immer mit Hilfe besonderer Vorrichtungen eingebracht werden. In Fällen, in denen dies nicht oder nur bedingt möglich ist, und der Dübel allein mit einer Holzschraube eingepreßt werden soll, müssen ausreichend große Einschraubtiefen gewählt werden. Es erscheint zweckmäßig, die Einpreßdübel zuerst auf einem Holz einzupressen bzw. einzuschlagen, wenn wie bei hohen Brettschichtträgern Preßvorrichtungen nicht angesetzt werden können.

3.5 VERSUCHE MIT GEBOLZTEN DÜBELVERBINDUNGEN NACH DIN 1052, TEIL 2 ZUR ERMITTLUNG VON VERGLEICHSWERTEN ZU DEN HAUPTVERSUCHEN

3.5.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Dübelverbindungen mit Bolzen als Dübelsicherung wurden als Vergleichsversuche geprüft. Die dazu verwendeten Versuchskörper entsprachen in Aufbau, Holz und Abmessungen den für die Hauptversuche vorgesehenen Probekörpern. Ihre Ausbildung ist in Bild 6 dargestellt.

Mit diesen Versuchen wurden zwei Ziele verfolgt. Zum einen sollten die Ergebnisse wie Bruchlast, Verformung usw. als Vergleichswerte zu den späteren Hauptversuchen dienen, und zum anderen sollten Werte für die Beanspruchung des Dübelbolzens gewonnen werden, um die für die Hauptversuche erforderliche Einschraubtiefe der Holzschrauben und die Anzahl

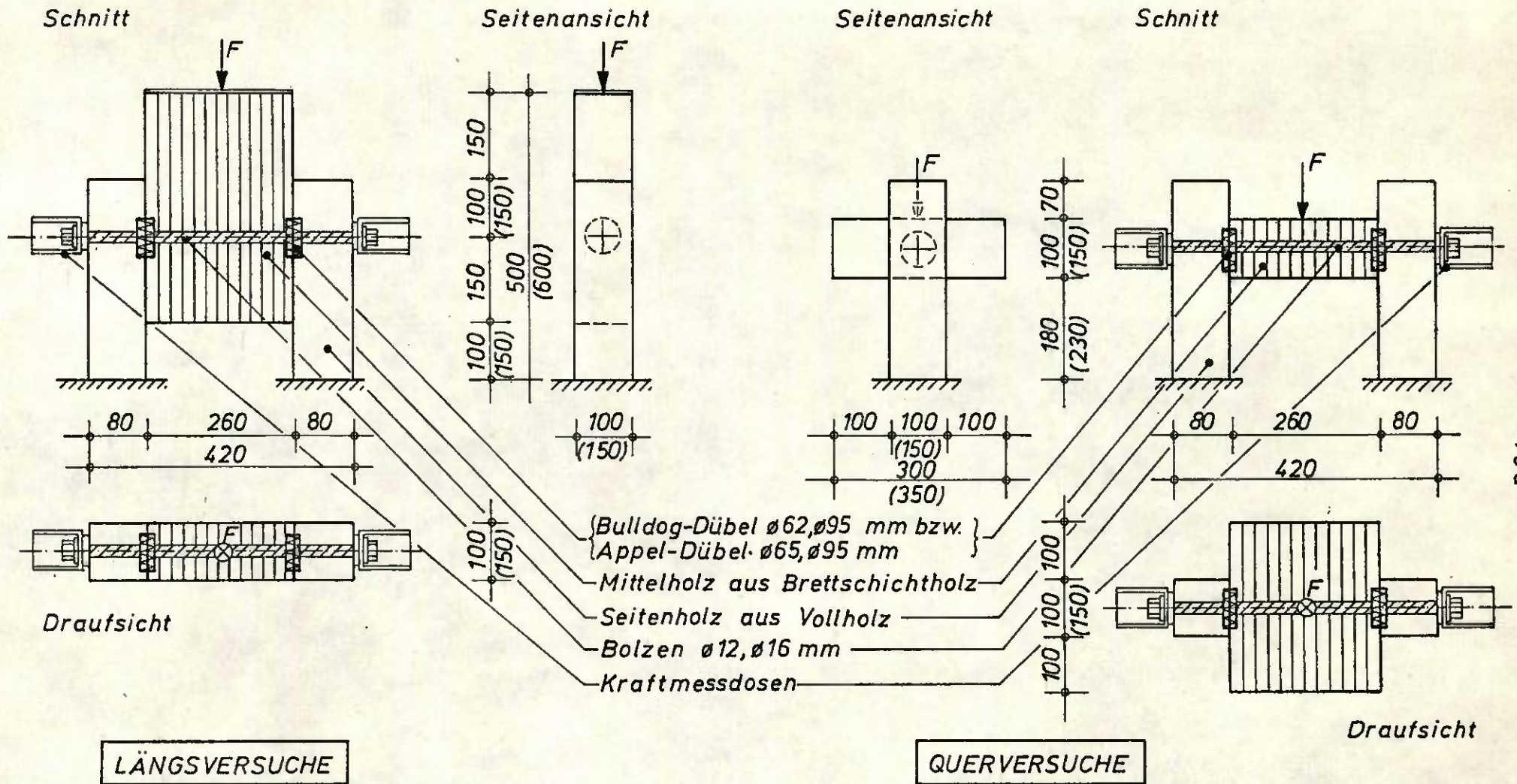


Bild 6: Versuchskörper für die Längs- und Querversuche mit gebolzten Dübelverbindungen

sowie die Einschlagtiefe der Schraubnägel festlegen zu können. Die Versuche wurden als Druckversuche durchgeführt, wobei Längsversuche (Kraft- zur Faserrichtung 0°) und Querversuche (Kraft- zur Faserrichtung 90°) vorgesehen wurden. Als Dübel kamen Einfräsdübel (zweiseitige Ringkeildübel $\varnothing 65$ und $\varnothing 95$ mm, System Appel) und Einpreßdübel (zweiseitige Verbinder $\varnothing 62$ und $\varnothing 95$ mm, System Bulldog) zur Anwendung. Die Prüfkörper waren dreiteilig aufgebaut, so daß pro Versuch immer 2 Dübelverbindungen getestet wurden. Das Mittelholz war aus Brettschichtholz der Gkl II und die Außenhölzer aus Vollholz gefertigt. Die Bohrung für den Dübelbolzen wurde um 1 mm größer als der Bolzendurchmesser ausgeführt.

In der folgenden Tabelle 4 sind die mittleren Kennwerte der verwendeten Hölzer zusammengestellt. Diese Werte können auch bei allen weiteren Versuchsreihen als maßgebend angesehen werden, da sämtliche Versuche mit den gleichen Hölzern durchgeführt wurden. Die Werte wurden aus insgesamt ca. 75 Einzelproben gewonnen.

Tabelle 4: Kennwerte der Mittel- und Seitenhölzer

		Mittelhölzer		Seitenhölzer	
		von - bis	mittel	von - bis	mittel
Holzfeuchtigkeit	%	9 - 13,3	10,6	8,2 - 11,8	10,5
Rohdichte	g/cm ³	0,375 - 0,536	0,449	0,351 - 0,508	0,440
Druckfestigkeit parallel zur Faser	N/mm ²	37,5 - 60,5	43,9	27,8 - 52,2	43,4
Jahrringbreite	mm	1,5 - 9,3	3,8	1,5 - 4,2	2,7

Wie schon Graf [5] mitgeteilt hat, ist die Tragfähigkeit einer Dübelverbindung abhängig von der Anzugskraft des Bolzens, wobei die Größe der Bolzenkraft bei Verbindungen mit Einfräsdübeln von kleinerem Einfluß ist als bei Einpreßdübeln. Vor allem wird durch die fehlende Vorspannung die Nachgiebigkeit erhöht, so daß 1,5 mm Verschiebung bei weit geringerer Last erreicht werden, als es bei größerer Vorspannung der Fall ist. Nach Graf sollte die Anzugskraft der Heftschrauben eine Spannung von 100 N/mm^2 im Kernquerschnitt hervorrufen, was etwa der zulässigen Stahlspannung entspricht. Wie die Ergebnisse der Überdrehversuche in Abschnitt 3.3 gezeigt haben, ist es möglich eine Zugspannung von 100 N/mm^2 in der

Holzschraube zu erzeugen. Deshalb wurde auch die Anzugskraft entsprechend dieser Spannung im Kernquerschnitt der Holzschraube festgelegt. Da die Holzschrauben, vom Handel bezogen, in den Abmessungen kleine Differenzen aufwiesen, wurden die tatsächlichen Abmessungen festgestellt und die Anzugskraft über den gemittelten Kerndurchmesser errechnet. Sie ergab sich für Holzschrauben ϕ 12 mm zu 5,5 kN und für ϕ 16 mm zu 10,2 kN. Bedingt durch den im Vergleich zum Schaftquerschnitt größeren Kernquerschnitt der Bolzen betrug die Vorspannung bei den gleichen Anzugskräften hier nur 74 bzw. 70,8 N/mm². Die für Holzschrauben maßgebenden Anzugskräfte wurden dann bei allen Versuchen genau eingehalten. Um die Vorspannkkräfte genau aufzubringen und die Änderung der Bolzenkraft während des Versuchsablaufs verfolgen zu können, wurden Kraftmeßdosen am Kopf und an der Mutter des Bolzens angebracht. Mit ihrer Hilfe war es möglich, den Kraft- bzw. Spannungsverlauf im Bolzen bei zunehmender Belastung der Prüfkörper zu verfolgen. Da die Heftbolzen aufgrund des größeren Bohrloches im Versuchskörper Spiel besaßen, konnte bis zu einer Verschiebung von etwa 1,5 mm aus einer Zunahme der Bolzenkraft auf die durch das Kippen des Dübels entstehende Zugkraft im Bolzen geschlossen werden. Bei größeren Verschiebungen wurde die Bolzenkraft dann zunehmend auch von der Biegeverformung des Bolzens (Seilwirkung) beeinflußt, so daß eine eindeutige Bestimmung der allein aus der Dübelkippkraft herrührenden Zugkraft nicht mehr möglich war. Bis zum Versagen der Dübelverbindung wurde aber die im Bolzen auftretende Normalkraft gemessen.

Alle Versuche, auch die nachfolgend beschriebenen Versuche mit Holzschrauben bzw. Schraubnägeln als Dübelkippsicherung, wurden in Anlehnung an das z.Zt. für mechanische Holzverbindungsmittel gültige Prüfverfahren durchgeführt. Die Belastung wurde mit einer Universalprüfmaschine kontinuierlich mit ca. 8 - 10 kN/min kraftgesteuert bis $0,4 \cdot \max F$ aufgebracht, dann auf $0,1 \cdot \max F$ entlastet und danach bis zum Bruch der Probe gesteigert. $\max F$ entsprach hierbei der geschätzten Bruchlast der Dübelverbindung. Vor Versuchsbeginn wurden alle Schrauben gelöst, um anschließend mit Hilfe der Meßdose genau auf die festgelegte Spannung angezogen zu werden. Bei allen Prüfkörpern wurden dabei die Unterlegscheiben nur wenig in das Holz eingedrückt. Zur Messung der Verschiebungen in vertikaler und horizontaler Richtung wurden beidseitig an den Anschlußfugen in Höhe des Heftbolzens induktive Wegaufnehmer W 20

angebracht. In Abständen von $0,1 \cdot \max F$ wurden die auftretenden Verschiebungen bzw. Klaffungen gemessen und gleichzeitig mit der wirksamen Belastung ausgedrückt. In Bild 7 ist ein Längsversuchskörper mit Meßeinrichtung und in Bild 8 ein Querversuchskörper beim Versuch mit Teilen der Prüfmaschine wiedergegeben.

Bei dieser Versuchsreihe wurden bei allen Probekörpern die Bulldog-Einpreßdübel maschinell eingepreßt. Es hatte sich nämlich herausgestellt, daß viele Bolzenmuttern aufgrund der hohen Beanspruchungen beim Eindrücken der Dübel beschädigt wurden, da sie beim Andrehen in die Unterlegscheiben "fraßen".

3.5.2 Ergebnisse der Versuche

Für jeden Einzelzustand wurden jeweils mindestens 3 Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse sind zusammen mit den Mittelwerten für Längs- und Querversuche in Tabelle 5 und 6 aufgeführt. Bei allen Prüfkörpern blieben die in Kraftrichtung gemessenen Verschiebungen bei der zul. Belastung unterhalb der zulässigen Verschiebung von 1,5 mm, wobei diese Verschiebungen bei Appel-Dübel-Verbindungen größer als bei Bulldog-Dübel-Verbindungen waren. Die Verschiebungen in Richtung der Bolzenachse, d.h. die Erweiterungen der Verbindungsfuge, betragen bei Appel-Dübeln höchstens 0,02 mm, während bei Bulldog-Dübeln die Hölzer teilweise sogar fester zusammengepreßt wurden, d.h. die Fugen sich verengten.

Alle Angaben in Tabelle 5 und 6, die sich auf die zul. Belastung ($zul F$), die Höchstlast ($\max F$) und die aufgenommene Last bei der zulässigen Verschiebung von 1,5 mm beziehen, sind Werte, die für jeweils zwei beanspruchte Dübel gelten.

Bei den als Höchstlast bezeichneten Kräften war die Tragfähigkeit der Verbindungen praktisch erschöpft, da neben großen Verschiebungen von etwa 20 mm auch die Dübel zerstört waren, wie sich beim nachträglichen Öffnen der Verbindungen zeigte. Auch die Bolzen waren bei diesen Lasten stark verkrümmt und die Holzkerne zum größten Teil abgeschert.

In Tabelle 7 sind die auf einen Dübel bezogenen mittleren Lasten, die eine Verschiebung von 1,5 mm hervorriefen und die Mittelwerte der festgestellten Höchstlasten zusammengestellt. Ferner sind die sich aus den mittleren Höchstlasten ergebenden Werte $zul F'$ unter Zugrundelegung einer 2,75-fachen Sicherheit angegeben und den zulässigen Werten $zul F$ nach den DIN-Bestimmungen gegenübergestellt.

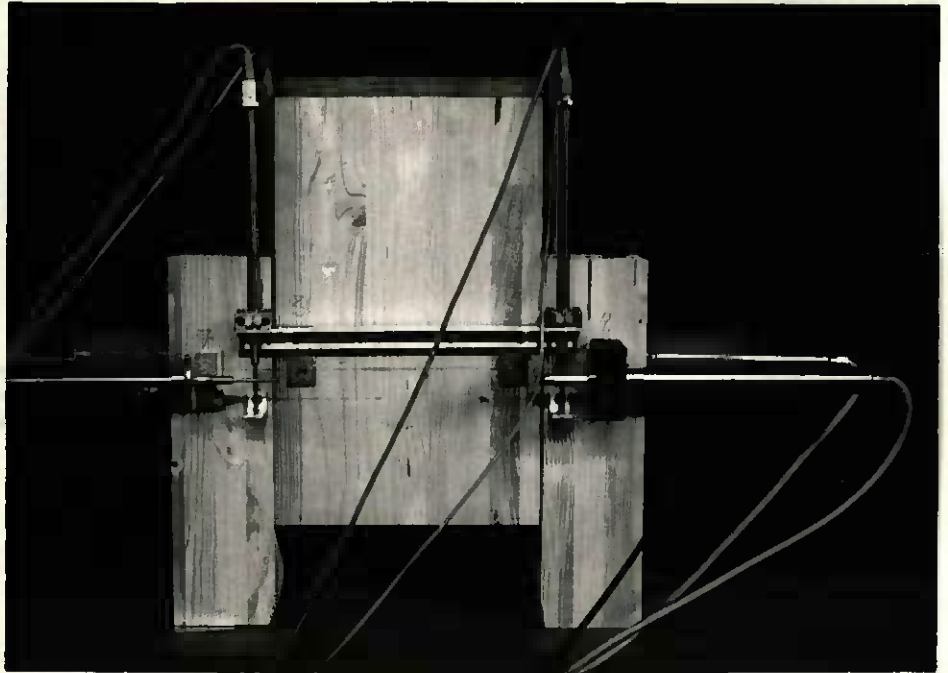


Bild 7: Längsversuchskörper (gebolzte Dübelverbindung) mit Meßeinrichtungen

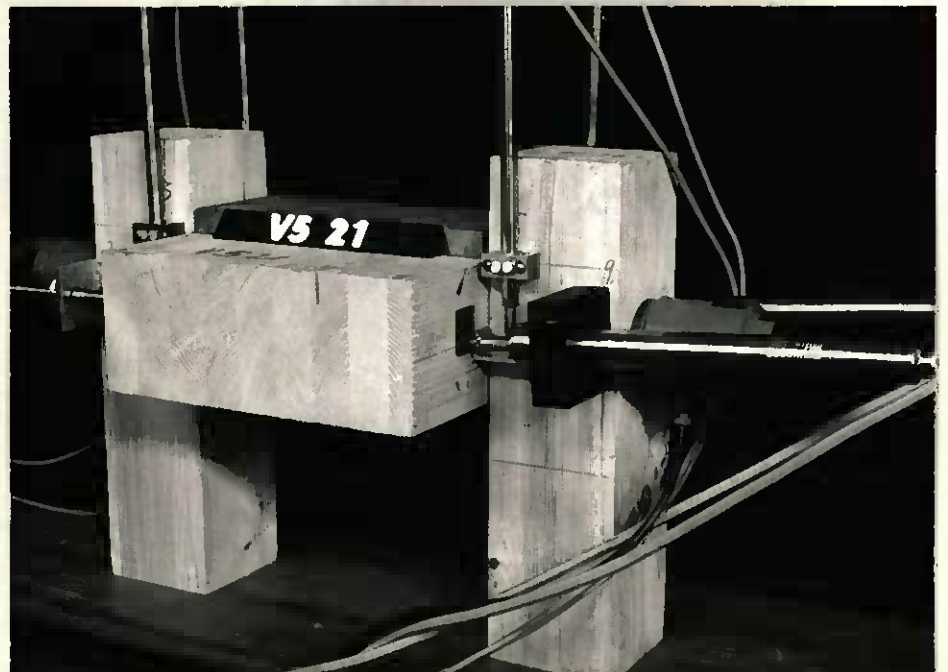


Bild 8: Querversuchskörper (gebolzte Dübelverbindung) mit Meßeinrichtung für Bolzenlängskraft und Verschiebung

Tabelle 5: Ergebnisse der Vergleichsversuche mit Dübelbolzen und Appel-Dübel

Versuch Nr.	V _V b. zul F mm	F _{1,5} kN	F _B kN	$\nu =$ F _B /zul F	$\Delta Z_{1,5}$ kN	ΔZ_B kN
-------------	----------------------------------	------------------------	----------------------	----------------------------------	------------------------	--------------------

LÄNGSVERSUCHE, Dübel ϕ 65 mm, Bolzen ϕ 12 mm, zul F = 23 kN

HA 10	0,99	31,6	83,7	3,64	0,25	11,14
11	0,91	31,8	86,1	3,74	0,50	11,22
12	0,86	33,0	81,2	3,53	0,60	10,21
\bar{X}	0,92	32,1	83,6	3,64	0,45	10,85

QUERVERSUCHE, Dübel ϕ 65 mm, Bolzen ϕ 12 mm, zul F = 18 kN

HA 20	0,86	25,6	55,8	3,10	0,70	7,43
21	1,02	24,6	61,6	3,42	1,00	6,52
22	1,28	20,2	56,4	3,13	0	5,42
\bar{X}	1,05	23,5	57,9	3,22	0,56	6,45

LÄNGSVERSUCHE, Dübel ϕ 95 mm, Bolzen ϕ 12 mm, zul F = 34 kN

HA 30	0,55	63,2	130,4	3,84	1,75	9,82
31	0,84	66,2	129,8	3,82	~0	8,32
32	0,76	68,6	140,1	4,12	1,65	9,10
\bar{X}	0,72	66,0	133,4	3,93	1,13	9,08

QUERVERSUCHE, Dübel ϕ 95 mm, Bolzen ϕ 12 mm, zul F = 25 kN

HA 40	0,44	44,4	74,8	2,99	1,65	9,60
41	0,75	41,4	67,5	2,70	1,55	4,54
42	0,80	39,2	74,8	2,99	2,1	8,15
\bar{X}	0,66	41,7	72,4	2,89	1,77	7,43

ΔZ = Änderung der Vorspannkraft im Dübelbolzen

Tabelle 6: Ergebnisse der Vergleichsversuche mit Dübelbolzen und Bulldog-Dübel

Versuch Nr.	V_V b. zul F mm	$F_{1,5}$ kN	F_B kN	$\nu =$ $F_B/\text{zul F}$	$\Delta Z_{1,5}$ kN	ΔZ_B kN
-------------	-------------------------	-----------------	-------------	-------------------------------	------------------------	--------------------

LÄNGSVERSUCHE, Dübel ϕ 62 mm, Bolzen ϕ 12 mm, zul F = 14 kN

HB 50	0,74	20,8	52,6	3,76	-1,20	8,32
51	0,45	21,8	55,6	3,97	-1,30	6,29
52	0,94	16,8	47,8	3,41	-0,75	7,06
\bar{X}	0,71	19,8	52,0	3,71	-1,08	7,22

QUERVERSUCHE, Dübel ϕ 62 mm, Bolzen ϕ 12 mm, zul F = 12 kN

HB 60	0,44	17,9	43,4	3,62	-0,45	6,46
61	0,28	24,2	49,2	4,10	-1,45	2,31
62	0,54	18,7	46,8	3,90	-1,50	3,59
\bar{X}	0,42	20,3	46,5	3,87	-1,13	4,12

LÄNGSVERSUCHE, Dübel ϕ 95 mm, Bolzen ϕ 16 mm, zul F = 24 kN

HB 70	0,55	31,5	77,2	3,21	-0,98	10,78
71	0,47	35,2	78,3	3,26	-2,60	9,15
72	0,48	34,2	78,1	3,25	-2,20	9,60
\bar{X}	0,50	33,6	77,8	3,24	-1,93	9,84

QUERVERSUCHE, Dübel ϕ 95 mm, Bolzen ϕ 16 mm, zul F = 21 kN

HB 80	0,52	31,3	72,4	3,45	-2,20	4,42
81	0,44	32,2	68,2	3,25	-1,37	5,59
82	0,46	32,6	70,3	3,34	-1,96	5,90
\bar{X}	0,47	32,0	70,3	3,35	-1,84	5,30

- Zeichen bei ΔZ entspricht einer Abnahme der Zugvorspannkraft

Tabelle 7 : Charakteristische Lastwerte in kN pro Dübel aus Versuchen mit normgemäßen Dübelverbindungen

Dübel- ∅	α Grad	$\bar{F}_{1,5}$ kN	\bar{F}_B	$\bar{F}_B/2.75$	zul F (DIN)
A 65	0	16,1	41,8	15,2	11,5
A 65	90	11,8	29,0	10,6	9,0
A 95	0	33,0	66,7	24,2	17,0
A 95	90	20,9	36,2	13,2	12,5
B 62	0	9,9	26,0	9,5	7,0
B 62	90	10,2	23,3	8,5	6,0
B 95	0	16,8	38,9	14,2	12,0
B 95	90	16,0	35,2	12,8	10,5

A = Appel, B = Bulldog

α = Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Bei allen Versuchen lagen die Höchstlasten über den 2,75 fachen zulässigen Werten nach DIN 1052, Teil 2 und die Lasten bei 1,5 mm Verschiebung wesentlich über den zulässigen Werten, besonders bei den Längsversuchen. Interessant sind die Ergebnisse der Messungen der Bolzenlängskräfte. Bei allen geprüften Körpern mit Bulldog-Verbindern wurde die aus der Vorspannung vorhandene Zugkraft im Bolzen nicht, wie vermutet werden konnte, und bei den Appel-Verbindern auch eintrat, höher, sondern verringerte sich bis zu einer Verschiebung von ca. 2 - 4 mm und nahm anschließend wieder zu, wobei nach ca. 7 - 10 mm die ursprüngliche Vorspannkraft wieder erreicht war. Bei 1,5 mm Verschiebung wurden Entlastungen der Bolzen bei Dübel ∅ 62 mm zwischen 0,45 und 1,5 kN, bei ∅ 95 mm zwischen 0,98 und 2,60 kN registriert. Die Mittelwerte lagen bei 1,1 bzw. 1,9 kN. Eine Erklärung dieses Verhaltens der Zugkraftbeanspruchung des Dübelbolzens kann die Beobachtung beim Versuch sein, daß die stets vorhandene Fuge zwischen Seiten- und Mittelholz sich von Beginn der Belastung an verengte, d.h. die vorher in die Holzfasern eingedrückten Dübelzacken drangen noch weiter ein und ermöglichten damit einen besseren und passenderen Sitz des Dübels im Holz.

Ein sofort mit der äußeren Belastung erfolgendes Anwachsen der Bolzenzugkraft wurde bei allen Prüfkörpern mit Appel-Verbindern festgestellt. Die Kraftänderungen lagen beim Appel ϕ 65 mm zwischen 0 und 1 kN und bei ϕ 95 mm zwischen 0 und 2,1 kN bei 1,5 mm Verschiebung. Diese Kräfte entstanden eindeutig aus den Kippbewegungen der Dübel.

Bei Erreichen der Höchstlast wurden Zunahmen der Bolzenkräfte bis zu 11 kN gemessen. Diese hohen Beanspruchungen wurden aber weitgehend von den mehr oder minder beträchtlichen Biegeverformungen der Bolzen hervorgerufen, da in diesem Versuchsstadium die Dübel sowie die das sie umgebende Holz bereits weitgehend zerstört waren und deshalb ein wesentlicher Einfluß der Dübelkippskräfte praktisch ausgeschlossen werden kann.

4. HAUPTVERSUCHE MIT DÜBELKÖRPERN MIT BOLZENERSATZ

4.1 ERSATZ VON BOLZEN DURCH HOLZSCHRAUBEN

4.1.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Prüfkörper, die in dieser Versuchsreihe verwendet wurden, waren in ihrem Aufbau, den benutzten Hölzern für Innen- und Seitenholz und in den Abmessungen praktisch identisch mit den in Abschnitt 3.4 besprochenen. Nur die Mittelhölzer aus Brettschichtholz waren teilweise wegen den unterschiedlich gewählten Einschraubtiefen für die Holzschrauben unterschiedlich breit. Bild 9 zeigt die Versuchskörper für die Längs- und Querversuche.

Abweichend von 3.4 wurden bei diesen Versuchen anstelle von Schraubenbolzen Holzschrauben nach DIN 521 mit den entsprechenden Schaftdurchmessern von 12 und 16 mm zur Sicherung der Dübel verwendet. Bei näherer Durchsicht der vom einschlägigen Fachhandel bezogenen Schrauben wurden leichte Unterschiede im Durchmesser, der Gewindeausbildung und der Gewindelänge bei vergleichbaren Schraubengrößen festgestellt. Um derartige Einflüsse weitgehend zu eliminieren, wurden die Holzschrauben vermessen und sortiert, so daß jede Versuchsreihe mit weitgehend gleichen Holzschrauben durchgeführt wurde. Die Gewindelängen waren auch bei sehr langen Schrauben (300 mm) mit nicht mehr als 12 cm Länge im Handel verfügbar. Aus diesem Grunde wurde die für die Versuche festzulegende Einschraubtiefe auf maximal 12 cm begrenzt, zumal auch die Ergebnisse der Vorversuche nach Abschnitt 3 eine ausreichende Tragfähigkeit bei dieser Einschraubtiefe erwarten ließen. Daher wurde für alle Versuche mit

kleinen Dübeln (ϕ 62 mm) die Einschraubtiefe einmal mit 7,5 cm und einmal mit 12 cm festgelegt. Für die Verbindungen mit großen Dübeln (ϕ 95 mm) wurde einheitlich eine Einschraubtiefe von 12 cm gewählt. Zum Einsatz kamen nur rohe Holzschrauben ohne irgendwelche Überzüge aus Zink oder ähnlichem.

Das Mittelholz der Prüfkörper, in das das Gewinde der Holzschraube eingedreht werden mußte, wurde für Schrauben ϕ 12 mm mit 8,4 mm, für ϕ 16 mm mit 11,5 mm, die Seitenholzteile mit ϕ 12 bzw. ϕ 16 mm vorgebohrt.

Ähnlich wie bei den Holzenversuchen wurde auch bei dieser Versuchsreihe beidseitig an jeder Holzschraube eine Druckmeßdose angebracht, mit welcher die Vorspannkraft beim Zusammenfügen der Prüfkörper genau aufgebracht werden konnte, die eine Zugspannung von 10 kN/mm^2 im Kernquerschnitt hervorrief. Unmittelbar vor Versuchsbeginn wurde die vorhandene Spannung nochmals überprüft, und die durch die Relaxation des Holzes und durch eine Verbesserung des Dübelsitzes hervorgerufene Spannungsabminderung in der Holzschraube korrigiert. Die vorhandene Klemmkraft errechnete sich für Holzschrauben ϕ 12 mm zu 5,5 kN und für ϕ 16 mm zu 10,2 kN. Die äußere Belastung wurde analog zu dem in 3.4.1 beschriebenen Verfahren aufgebracht.

4.1.2 Versuchsergebnisse und Auswertung

In den Tabellen 8 - 11 sind die ermittelten Versuchsergebnisse für die Längs- und Querversuche zusammengestellt. Für jeden Einzelzustand wurden jeweils mindestens 3 Versuche durchgeführt. In Tabelle 12 sind analog zu Tabelle 7 in Abschnitt 3.4.2 die auf einen Dübel bezogenen Mittelwerte der bei 1,5 mm Verschiebung aufgenommenen Lasten und der Bruchlasten, sowie die sich aus der Division der Bruchlasten mit 2,75 ergebenden Werte zusammengestellt und mit den nach DIN 1052 zulässigen Werten verglichen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Hauptversuche mit Holzschrauben ϕ 12 mm
Dübel: Appel ϕ 65 mm

Versuch Nr.	s _g mm	V _V b. zul F mm	V _H b. zul F mm	F _{1,5} kN	F _B kN	$\nu =$ F _B /zul F	$\Delta Z_{1,5}$ kN	ΔZ_B kN
LÄNGSVERSUCHE: zul F = 23 kN								
HA 1	75	0,71 0,63	-0,02 +0,03	44,1 45,0	75,1	3,26	+0,55 -0,20	3,59 3,31
2	75	0,65 0,94	-0,05 -0,01	43,0 35,4	75,3	3,27	+0,59 +0,34	5,83 4,32
3	75	0,72 0,58	-0,02 -0,01	40,1 47,1	81,1	3,53	+0,32 +0,73	3,67 9,23
\bar{X}		0,71	-0,01	42,5	77,2	3,35	+0,39	4,99
HA 20	120	0,77 0,73	+0,03 -0,03	39,9 40,4	81,0	3,52	-0,50 -0,70	4,95 8,63
21	120	0,69 0,75	-0,03 -0,04	44,7 40,9	76,2	3,31	+0,53 0	6,82 6,48
22	120	0,69 0,78	-0,01 -0,01	44,7 42,6	84,5	3,67	+0,54 +0,12	7,30 5,28
\bar{X}		0,74	-0,02	42,2	80,6	3,50	~0	6,58
Querversuche: zul F = 18 kN								
HA 10	75	0,81 0,52	0,02 0,02	30,0 36,5	64,2	3,01	- -	- -
11	75	0,72 0,55	0,01 0,01	36,5 38,5	72,6	4,03	-0,03 +0,02	4,64 4,03
12	75	0,67 0,45	0,02 0,01	32,5 36,5	71,3	3,96	-0,22 +0,40	3,26 2,30
\bar{X}		0,62	0,02	35,1	69,4	3,67	+0,04	3,56
HA 30	120	0,84 0,74	0,05 0,03	28,9 33,9	76,6	4,26	-0,84 -0,08	7,16 2,81
31	120	0,93 0,63	0,02 0,01	26,8 34,0	67,2	3,73	+0,09 +0,24	5,07 5,06
32	120	0,68 0,80	0,02 0,01	33,9 29,5	75,6	4,20	+0,95 +0,17	8,89 6,82
\bar{X}		0,77	0,01	31,2	73,1	4,06	+0,09	5,97

Tabelle 9: Ergebnisse der Hauptversuche mit Holzschrauben ϕ 12 mm
Dübel: Appel ϕ 95 mm

Versuch Nr.	s_g mm	V_V b. zul F mm	V_H b. zul F mm	$F_{1,5}$ kN	F_B kN	$\nu =$ $F_B/\text{zul F}$	$\Delta Z_{1,5}$ kN	ΔZ_B kN
----------------	-------------	-------------------------	-------------------------	-----------------	-------------	-------------------------------	------------------------	--------------------

LÄNGSVERSUCHE: zul F = 34 kN

HA 40	120	0,34 0,72	0,01 0,01	71,0 89,5	141,7	4,17	+0,74 +0,64	11,83 8,63
41	120	0,85 0,37	-0,03 -0,01	63,5 88,0	136,3	4,01	+0,45 +0,36	9,60 6,87
42	120	0,56 0,56	0,01 0,02	72,5 74,0	129,0	3,79	+0,62 +0,44	6,42 5,85
\bar{X}		0,57	0,01	76,4	135,7	3,99	+0,54	9,23

QUERVERSUCHE: zul F = 25 kN

HA 50	120	0,41 0,97	-0,02 -0,01	39,4 49,2	71,4	2,86	+0,44 +1,51	6,76 5,82
51	120	0,58 0,69	-0,01 -0,01	47,4 40,6	66,3	2,65	+0,71 +0,41	2,23 2,05
52	120	0,71 0,69	-0,03 0,02	44,2 43,2	78,1	3,12	+0,92 +0,24	10,92 3,18
\bar{X}		0,68	-0,01	44,0	71,9	2,88	0,71	5,16

Tabelle 10: Ergebnisse der Hauptversuche mit Holzschrauben ϕ 12 mm
Dübel: Bulldog ϕ 62 mm

Versuch Nr.	s_g mm	V_V b. zul F mm	V_H b. zul F mm	$F_{1,5}$ kN	F_B kN	$\nu =$ $F_B/\text{zul F}$	$\Delta Z_{1,5}$ kN	ΔZ_B kN
LÄNGSVERSUCHE: zul F = 14 kN								
HB 1	75	0,46 0,50	+0,05 +0,16	20,6 19,6	49,4	3,53	-2,15 -1,20	1,47 5,62
2	75	0,78 0,66	-0,03 -	18,0 18,6	51,9	3,71	-0,61 -0,85	5,66 6,39
3	75	0,39 0,59	+0,01 +0,02	20,2 19,0	53,1	3,79	- -0,49	- 5,25
4	75	0,46 0,50	+0,02 +0,04	22,6 22,2	53,1	3,79	-0,52 -0,54	6,28 6,31
\bar{X}		0,54	0,04	20,1	51,9	3,71	-0,91	5,28
HB 20	120	0,40 0,29	+0,04 +0,03	23,4 24,2	61,5	4,39	-1,30 -1,00	4,92 7,16
21	120	0,42 0,40	+0,02 +0,05	24,6 24,4	57,0	4,07	-1,34 -1,30	6,37 7,70
22	120	0,44 0,55	+0,04 +0,09	22,4 21,5	65,3	4,66	-1,56 -	10,7 7,41
23	120	0,33 0,43	+0,04 +0,07	24,5 23,5	62,5	4,46	-1,66 -1,70	6,09 7,16
24	120	0,44 0,48	+0,04 +0,05	22,8 22,7	60,7	4,34	-1,51 -2,00	7,19 7,58
\bar{X}		0,42	+0,05	23,4	61,4	4,38	-1,49	7,23
QUERVERSUCHE: zul F = 12 kN								
HB 10	75	0,30 0,51	-0,03 +0,01	19,4 18,2	45,1	3,76	-0,20 -0,55	2,38 1,79
11	75	0,35 0,31	+0,04 0,03	21,0 21,2	38,5	3,21	+0,01 -0,60	1,16 0,88
12	75	1,27 0,70	0,02 0,20	13,4 17,3	39,2	3,27	+0,04 -	- -
\bar{X}		0,57	0,05	18,4	40,9	3,41	-0,26	1,55
HB 30	120	0,21 0,33	0,05 0,04	26,7 25,1	48,1	4,0	-0,85 -0,95	6,68 4,80
31	120	0,64 0,19	0,06 0,01	18,7 25,2	47,0	3,92	-0,20 -0,73	-0,09 -0,06
32	120	1,09 0,24	0,06 0,04	19,7 23,6	42,6	3,55	-1,27 -1,53	-0,03 -1,14
\bar{X}		0,45	0,04	23,2	45,9	3,82	-0,92	1,69

Tabelle 11: Ergebnisse der Hauptversuche mit Holzschrauben ϕ 16 mm
Dübel: Bulldog ϕ 95 mm

Versuch Nr.	s_g mm	V _V b. zul F mm	V _H b. zul F mm	F _{1,5} kN	F _B kN	$\nu =$ F _B /zul F	$\Delta Z_{1,5}$ kN	ΔZ_B kN
-------------	-------------	----------------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------	----------------------------------	------------------------	--------------------

LÄNGSVERSUCHE: zul F = 24 kN

HB 40	120	0,49 0,32	0,09 0,06	40,4 37,6	81,8	3,41	-3,05 -1,80	0,80 2,51
41	120	0,44 0,44	0,03 0,04	40,5 37,4	89,1	3,71	-2,22 -1,52	1,61 6,01
42	120	0,49 0,41	0,07 0,07	37,6 39,4	80,3	3,35	-3,80 -3,24	4,05 3,93
\bar{X}		0,43	0,06	38,8	83,7	3,49	-2,61	3,15

QUERVERSUCHE: zul F = 21 kN

HB 50	120	0,39 0,31	0,09 0,04	38,7 43,9	80,4	3,83	-3,90 -2,75	0 2,03
51	120	0,26 0,50	0,09 0,05	46,0 42,0	91,3	4,35	-2,47 -1,77	3,17 3,54
52	120	0,55 0,31	0,08 0,04	32,4 41,5	83,1	3,96	-2,80 -1,30	1,35 4,75
\bar{X}		0,39	0,07	40,8	84,9	4,04	-2,50	2,47

In den Tabellen bedeuten:

- s_g : Einschraubtiefe
- V_V : Verschiebung zur Schraubenlängsachse
- V_H : Fugenerweiterung in Richtung der Schraubenlängsachse
- zul F : Zulässige Dübellast nach DIN 1052, Teil 2 für 2 Dübel
- F_{1,5} : Aufgenommene Last bei 1,5 mm Verschiebung
- F_B : Bruchlast (Höchstlast)
- ΔZ : Zugkraftänderung in der Holzschraube wobei { + eine Zunahme
- eine Abnahme
bedeutet
- $\Delta Z_{1,5}$: Zugkraftänderung bei 1,5 mm Verschiebung
- ΔZ_B : maximale Zugkraftänderung beim Bruchversuch

Tabelle 12: Charakteristische Lastwerte in kN pro
Dübel aus den Versuchen mit Holzschrauben

Dübel- ϕ	α Grad	s_g mm	$\bar{F}_{1,5}$ kN	\bar{F}_B kN	$\bar{F}_{B/2,75}$	zul F kN
A 65	0	75	21,3 (16,1)	38,6 (41,8)	14,0	11,5
A 65	0	120	21,1 (16,1)	40,3 (41,8)	14,7	11,5
A 65	90	75	17,6 (11,8)	34,7 (29,0)	12,6	9,0
A 65	90	120	15,6 (11,8)	36,6 (29,0)	13,3	9,0
A 95	0	120	38,2 (33,0)	67,9 (66,7)	24,7	17,0
A 95	90	120	22,0 (20,9)	36,0 (36,2)	13,1	12,5
B 62	0	75	10,1 (9,9)	26,0 (26,0)	9,45	7,0
B 62	0	120	11,7 (9,9)	31,7 (26,0)	11,5	7,0
B 62	90	75	9,7 (10,2)	20,5 (23,3)	7,5	6,0
B 62	90	120	11,6 (10,2)	23,0 (23,3)	8,4	6,0
B 95	0	120	19,4 (16,8)	41,9 (38,9)	15,3	12,0
B 95	90	120	20,4 (16,0)	42,5 (35,2)	15,5	10,5

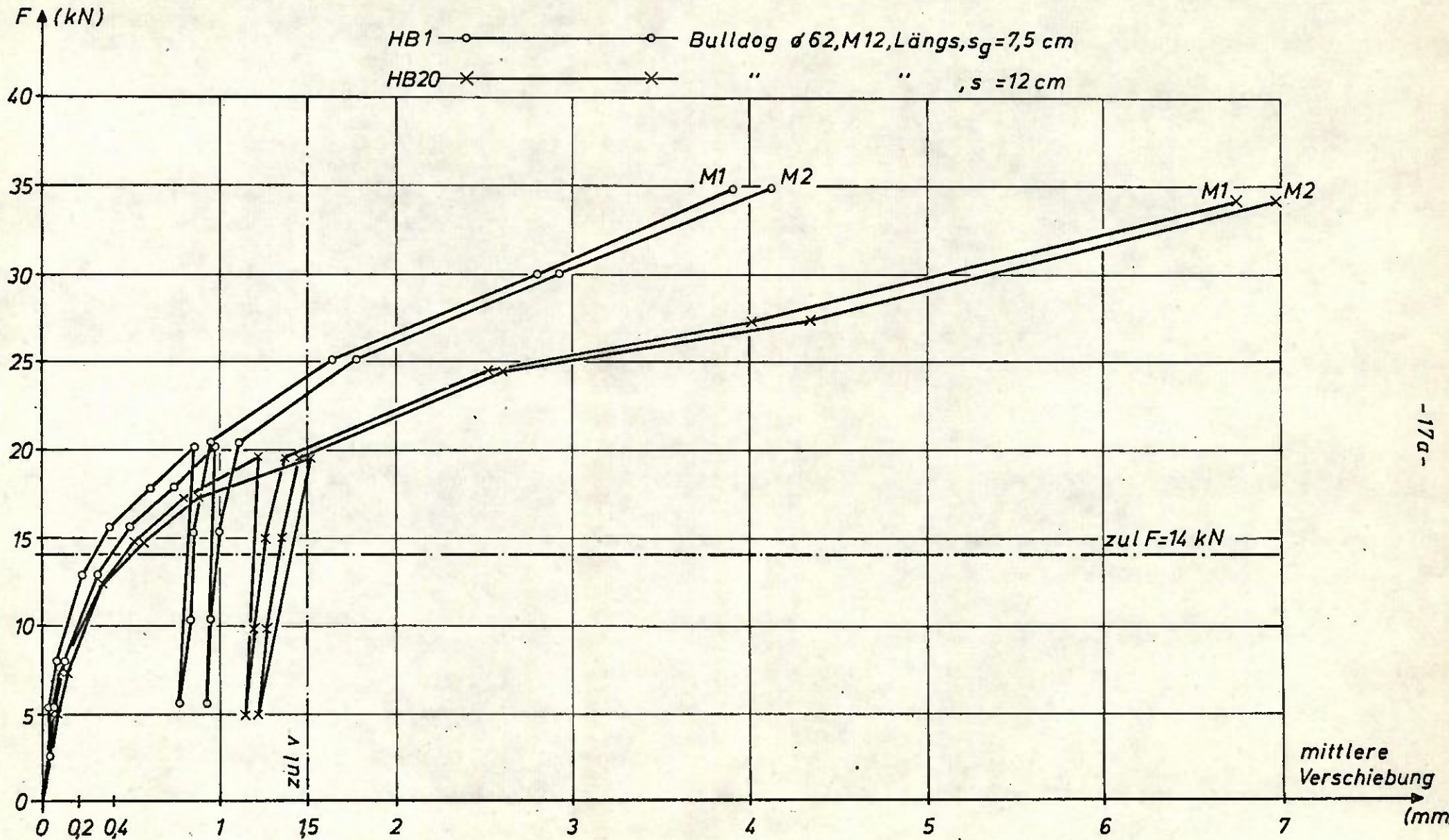
() Klammerwerte aus Tabelle 8 (normale Dübelverbindungen)

A = Appel, α = Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung,

B = Bulldog, s_g = Einschraubtiefe der Holzschraube

Bei allen geprüften Versuchskörpern lagen die gegenseitigen Verschiebungen in Kraftrichtung sowohl bei den Appel- wie bei den Bulldog-Dübeln erheblich unterhalb der zulässigen 1,5 mm bei der äußeren Belastung in Höhe der zulässigen Last. Auch bei diesen Versuchen ergab sich in diesem Bereich eine größere Verschiebung bei den Appel-Dübeln als bei den Bulldog-Einpreßdübeln. Die Verschiebungen in Richtung der Holzschraubenlängsachse verhielten sich ähnlich wie bei den Bolzenversuchen. Bei Prüfkörperbelastungen in Höhe der zulässigen Last wurden bei Appel-Dübeln Fugenerweiterungen bis ca. 0,03 mm gemessen, während sich die Fuge bei Bulldog-Dübeln um ca. 0,07 mm verengte.

In den Bildern 10-12 sind typische Last-Verschiebungslinien (F/v) und $\Delta Z/F$ -Linien sowie $\Delta Z/v$ -Linien der Bulldog-Versuche bei 7,5 und 12 cm Einschraubtiefe dargestellt, wobei M1 und M2 die Meßwerte an den Dübeln 1 und 2 wiedergeben. Der Bruch der Proben trat in fast allen Fällen nach ca. 2-3 cm Verschiebungsweg ein, in einigen wenigen Versuchen aber auch schon nach 1 cm Verschiebung. Obwohl bei diesen Verschiebungen die Dübel



-17a-

Bild 10: Lastverschiebungslinien F/v für 2 Versuchskörper mit verschiedener Einschraubtiefe

HB 1 — x — x — Bulldog $\varnothing 12$, Längs, M 12, $s_g = 7,5$ cm
 HB20 — o — o — " " " " $s_g = 12$ cm

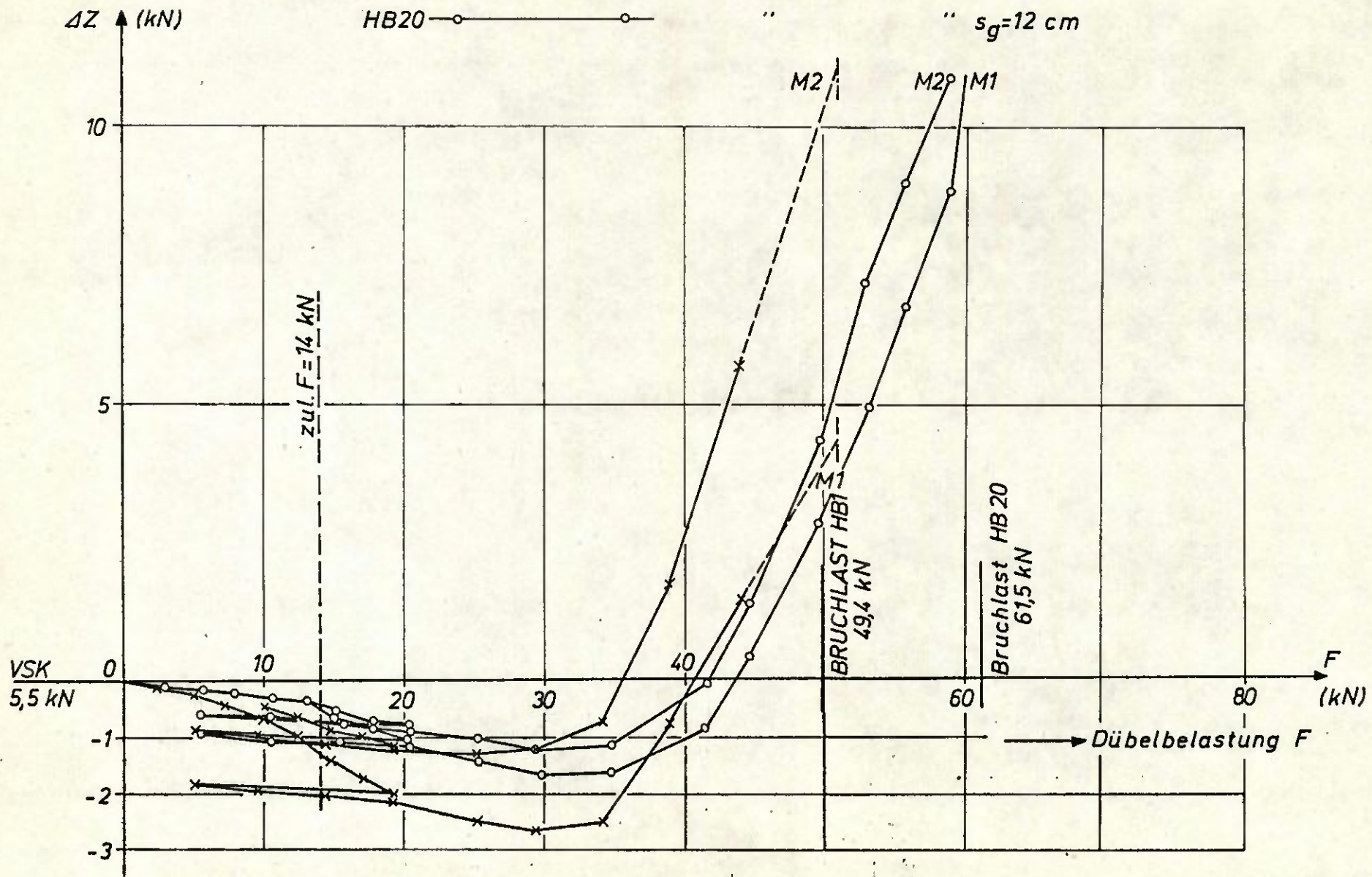


Bild 11: Mittlere Kraftänderung ΔZ in der Holzschraube in Abhängigkeit von der Dübelbelastung F .

Versuch HB1 —x—x—x— $s_g = 7,5 \text{ cm}$

Versuch HB20 —o—o—o— $s_g = 12 \text{ cm}$

Bulldog $\varnothing 62 \text{ mm}$, M12
Längsversuche

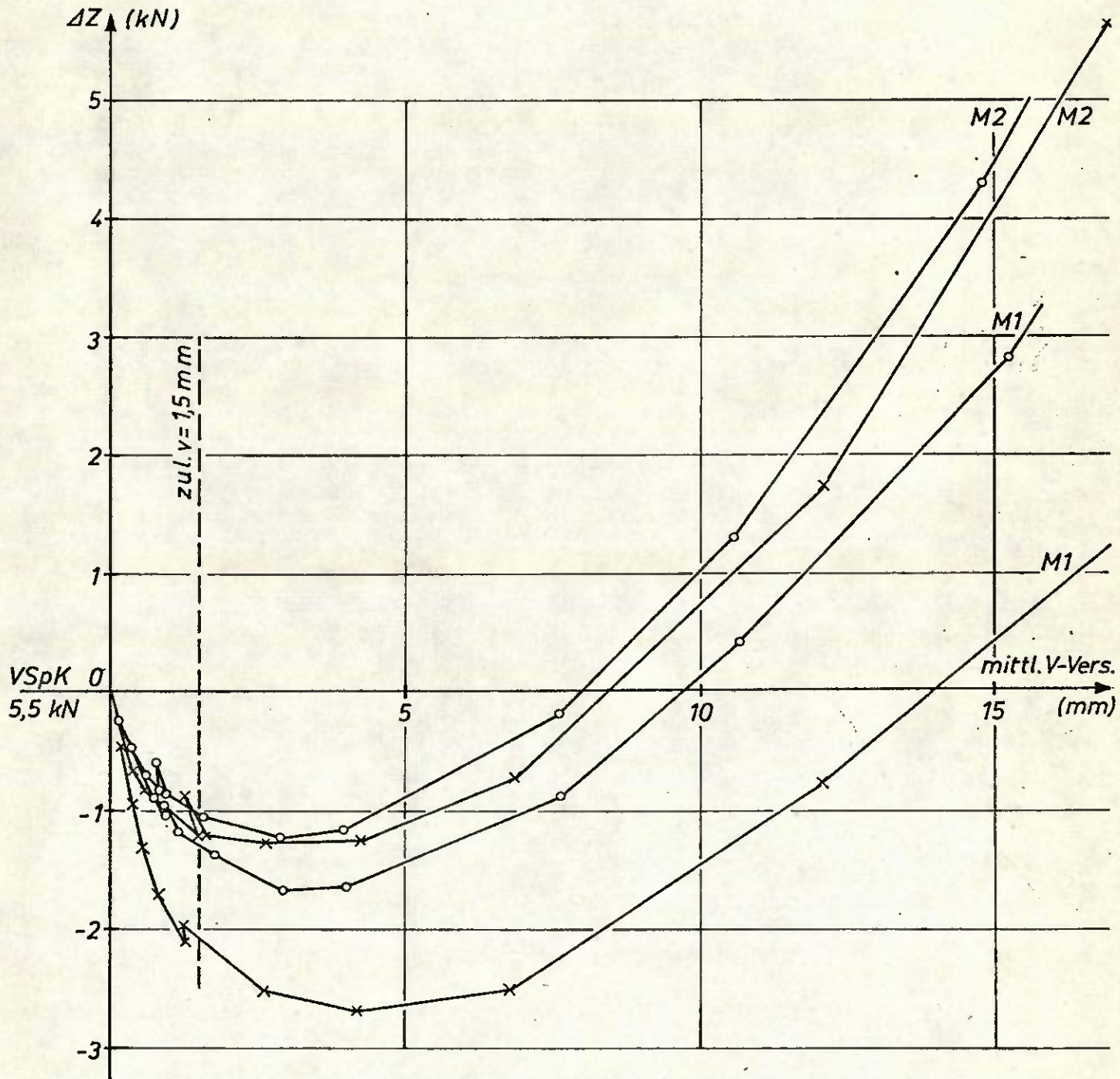


Bild 12: Mittlere Kraftänderung ΔZ in der Holzschraube in Abhängigkeit von der Vertikalverschiebung V

selbst und das sie umgebende Holz, bei Appel-Dübeln aufgrund des hohen Querdrucks, zerstört waren, nahmen die Körper noch Kraft auf, wobei die Holzschrauben weiter verformt wurden, bis eine Zugkraft im Gewindeteil erreicht war, die zum Abscheren des Holzes im Gewindeteil führte, so daß die Holzschraube herausgerissen wurde (siehe Bild 13). Der Vergleich der Lasten $\bar{F}_{1,5}$ und der maximalen Tragfähigkeiten \bar{F}_B zwischen Bolzen- und Holzschraubenversuchen zeigt, daß zumindest bei 120 mm Einschraubtiefe alle Holzschraubenversuche höhere $\bar{F}_{1,5}$ -Lasten und praktisch gleiche Höchstlasten \bar{F}_B wie die Bolzenversuche erreichten. Außerdem lagen die mittleren Verhältniswerte von Bruchlast zur zulässigen Last stets über 2,75.

Die beim Versuch über die Meßdosen erfaßten Zugkraftänderungen in den Holzschrauben zeigten den gleichen Verlauf in Abhängigkeit vom Verschiebungsweg und ein ähnliches Verhalten der Dübelverbindungen wie sie aus den Bolzenversuchen bekannt waren.

Bei einer gegenseitigen Verschiebung von 1,5 mm ergaben sich für Bulldog-Dübel Abminderungen der Vorspannkkräfte bis zu 1,3 kN bei ϕ 62 mm und bis zu 1,7 kN bei ϕ 95 mm Dübeln, wobei bei den Querversuchen die Abnahme geringer ausfiel. Auch bei den Appel-Dübel-Verbindungen waren bei einigen Versuchen kleine Zugkraftverminderungen festzustellen, jedoch erhöhte sich die Vorspannkraft bei den meisten Versuchen. Bei ϕ 65 mm Dübeln waren Zunahmen bis zu 0,75 kN, bei ϕ 95 mm Zunahmen bis zu 0,4 kN als Maximalwerte festzustellen. Ein Einfluß der Einschraubtiefe auf die Höhe der Zugkraftänderung in der Holzschraube aufgrund der größeren Steifigkeit der Verbindung konnte nicht festgestellt werden.

In Bild 12 sind charakteristische Kraft-Weg-Linien für die Zugkraftänderung in der Holzschraube aufgezeichnet. Kurz vor dem Bruch der Verbindungen wurden Zugkraftzunahmen aufgrund der Schraubenverformung bis zu maximal 12 kN gemessen. Das entspricht einer Zunahme der Spannung im Kernquerschnitt der Holzschraube ϕ 12 mm um ca. 217 N/mm^2 und mit der Vorspannung zusammen ergibt sich daraus ein Wert von ca. 315 N/mm^2 .

Bild 13 zeigt einen geschraubten Längskörper mit freigelegten Appel-dübeln und Holzschrauben, aus dem die Bruchverformungen von Dübel und Schrauben ersichtlich sind.

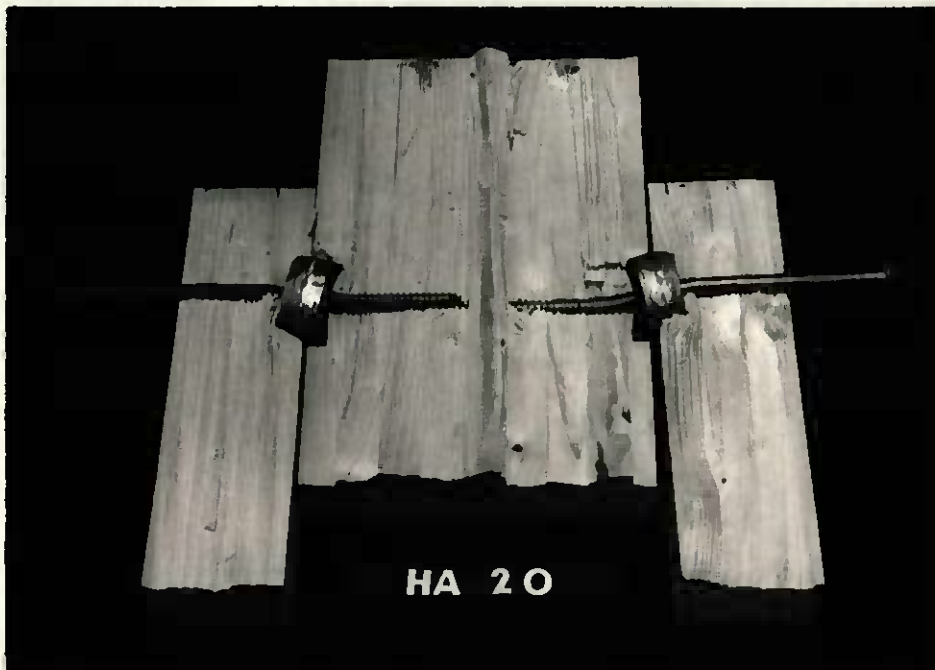


Bild 13 : Appel-Verbindung (längs) mit Holzschrauben
nach dem Versagen



HANDLER POST

4.2 ERSATZ VON BOLZEN DURCH SCHRAUBNÄGEL

4.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Für diese Versuche wurden Bierbach-Sparrennägel mit 5,1 mm Schaft- und 6,0 mm Gewindeaußendurchmesser verwendet. Die Berechnung der zulässigen Zugkraft in Richtung der Nagelachse erfolgt für diese bauaufsichtlich zugelassenen Nägel nach der Formel

$$\text{zul } N_z = 0,15 \cdot s \quad \text{kN}$$

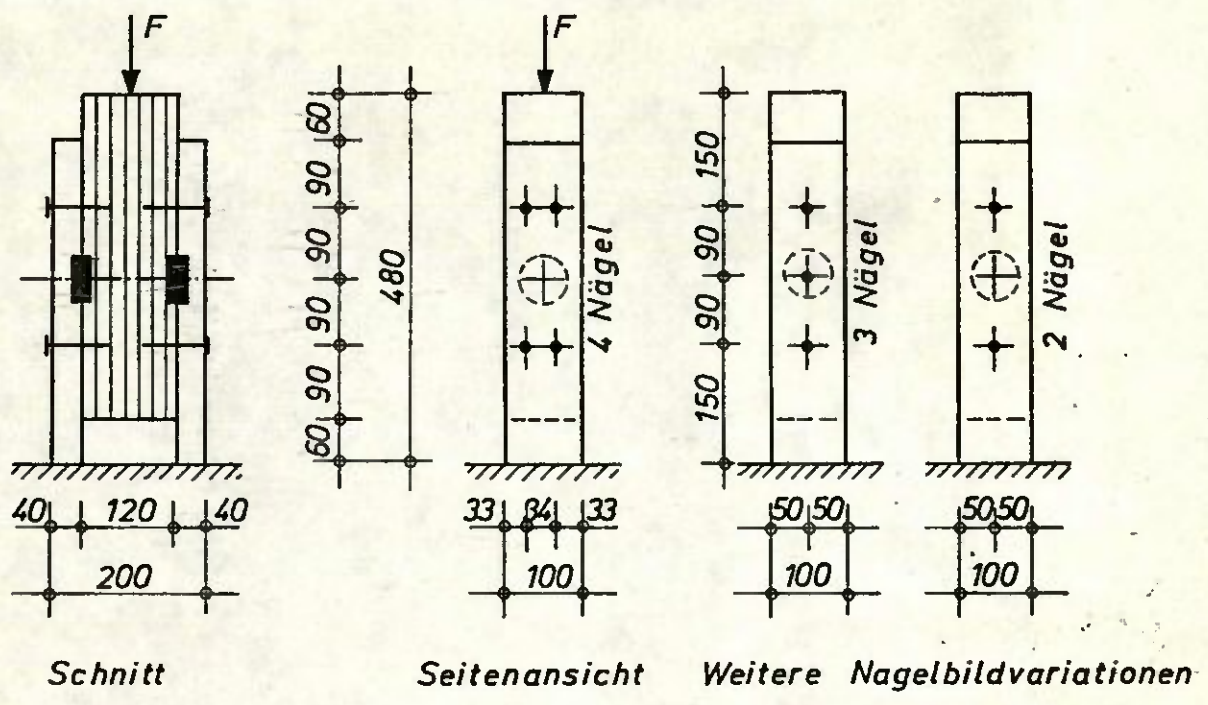
wobei s die Einschlagtiefe in cm ist. Größere Einschlagtiefen als 8 cm und kleinere als 4 cm dürfen bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Ansonsten sind diese Nägel genau wie normale Drahtstifte zu behandeln.

Da bei Dübelverbindungen mit Schraubnägeln eine bestimmte Gesamtdicke vorhanden sein muß, die z.B. bei Knotenpunkten von leichten Fachwerkbändern selten vorhanden ist, wurde im Hinblick darauf die minimal zulässige Einschlagtiefe von 4 cm gewählt. Sie wurde, soweit dies möglich war, bei allen Versuchsreihen beibehalten. Variiert wurde die Nagelanzahl pro Verbindung. In Bild 14 und 15 sind die Versuchskörper mit den verwendeten unterschiedlichen Nagelbildern dargestellt. Gegenüber den vorhergehenden Versuchsreihen waren die Dickenabmessungen der Seitenhölzer mit 4 und 7 cm ca. auf das nach DIN 1052, Bl. 2 vorgeschriebene Mindestmaß reduziert worden. Die Breite der Versuchskörper blieb wie auch bei den Bolzen- und Holzschraubenversuchen auf das Mindestmaß von 10 und 15 cm beschränkt. Die Versuchskörper waren auch bei diesen Versuchen, wie schon in Abschnitt 3.5 und 4.2 beschrieben, dreiteilig aufgebaut und aus dem gleichen Holzmaterial gefertigt wie bei den bereits behandelten Versuchsreihen.

Versuche, Bulldog-Dübel ohne besondere Presseneinrichtung mit den Schraubnägeln allein einzupressen, fielen unbefriedigend aus, so daß darauf ganz verzichtet wurde und alle Dübelverbindungen, wie in Abschnitt 3.4.1 beschrieben, maschinell zusammengepreßt wurden. Es wurden wiederum für jede Dübelart Längs- (0°) und Querversuche (90°) durchgeführt, wobei die Nagelanzahl variiert wurde. Für Verbindungen mit ausreichender Tragfähigkeit und Steifigkeit wurden mindestens je 3 Einzelversuche durchgeführt.

Bild 14: Versuchsaufbau der Längs- und Querversuche mit Schraubnägeln für Appel $\varnothing 65$ und Bulldog $\varnothing 62$ mm, Einschlagtiefe $s = 40$ und 70 mm.

LÄNGSVERSUCHE



QUERVERSUCHE

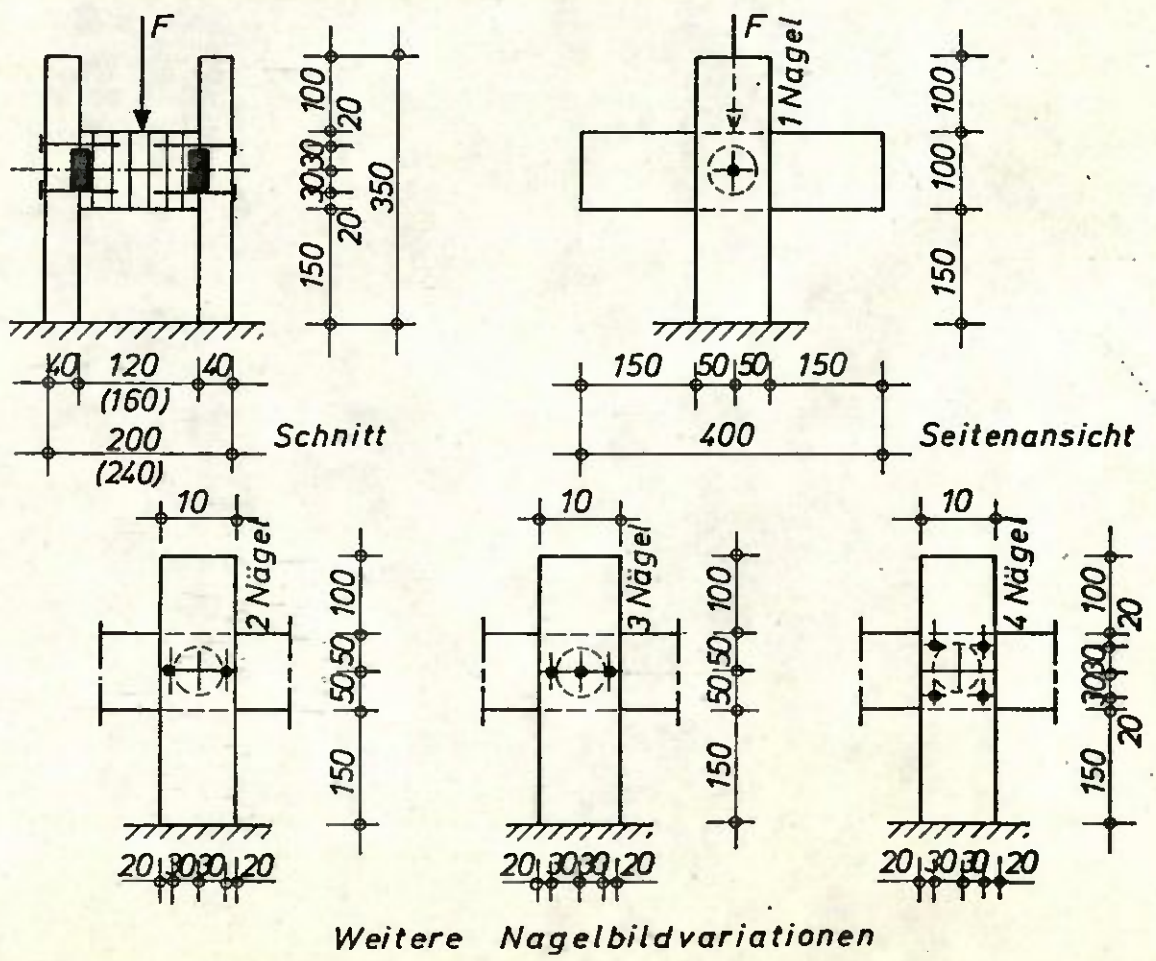
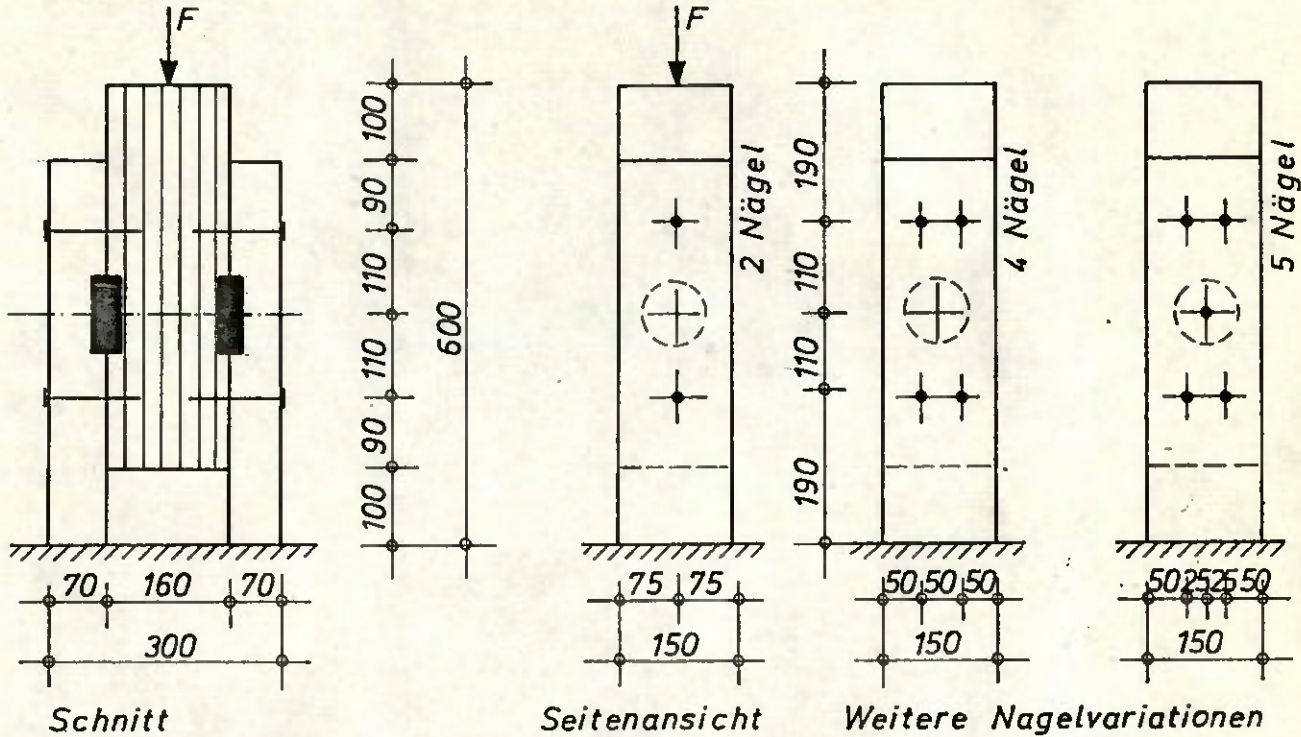
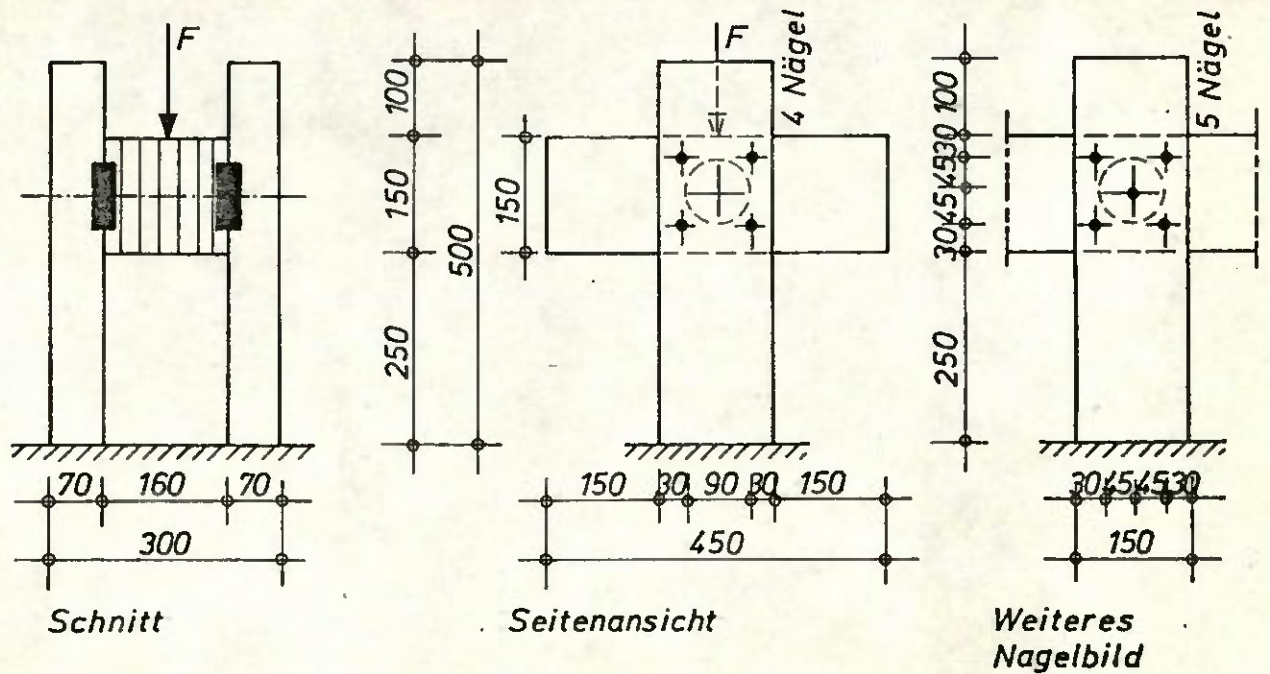


Bild 15: Versuchsaufbau der Längs- und Querversuche mit Schraubnägeln für Appel $\varnothing 95$ und Bulldog $\varnothing 95$ mm, Einschlagtiefe $s=40$ mm

LÄNGSVERSUCHE



QUERVERSUCHE



Das Aufbringen der Last bis zum Bruch der Prüfkörper sowie die Messung der vertikalen Verschiebungen entsprach den vorangegangenen Versuchsreihen. In einigen Fällen, besonders bei den Querversuchskörpern mit minimaler Anschlußfläche kam es vor, daß Seitenhölzer beim Eintreiben der Schraubnägel spalteten. Daraufhin wurden in diesen wenigen Fällen die Seitenhölzer mit etwa 0,7 d, d.h. mit 4 mm vorgebohrt.

4.2.2 Versuchsergebnisse und Auswertung

In den Tabellen 13 bis 16 sind die Versuchsergebnisse aus den Längs- und Querversuchen mit Schraubnägeln als Dübelsicherung mit Angabe der angewandten Nagelbilder und bei mehreren gleichen Prüfkörpern auch die jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Lastwerte beziehen sich dabei auf den Gesamtprüfkörper, d.h. auf 2 Dübel. In Tabelle 17 sind die auf einen Dübel bezogenen mittleren Lasten bei einer Verschiebung von 1,5 mm, die gemittelten Bruchlasten sowie die durch den Sicherheitswert 2,75 geteilten Bruchlasten für alle Versuche mit ausreichender Verschiebungssteifigkeit und Tragfähigkeit zusammengestellt.

Wie aus den Tabellen 13 bis 16 hervorgeht, lagen die gegenseitigen Verschiebungen der in Tabelle 17 aufgeführten Dübelverbindungen bei der zulässigen Dübelbelastung merklich unter dem zulässigen Wert von 1,5 mm. Verbindungen mit Bulldog-Dübeln wiesen wiederum kleinere Verschiebungen als die vergleichbaren Verbindungen mit Appel-Dübeln auf. Festzustellen war auch eine erhebliche Steifigkeitszunahme der Dübelverbindungen mit jedem zusätzlich eingeschlagenen Schraubnagel, während, wie aus den Querversuchen mit Appel-Dübeln \varnothing 65 mm und Bulldog-Dübeln \varnothing 62 mm hervorgeht, die Einschlagtiefe wahrscheinlich nur einen geringen Einfluß hatte. Die Bruchlast wurde im allgemeinen bei weniger als 1 cm Verschiebungsweg erreicht. Die Dübel selbst sowie das Holz waren weitgehend zerstört, während die Nägel das Holz zwar über Lochleibung zerstört hatten, aber selbst nur wenig verformt waren, im Gegensatz zu den Holzschrauben oder Dübelbolzen (s. Bild 16 und 17). Der endgültige Bruch der Verbindung trat meist plötzlich ein. Nachdem die aufnehmbare Haltekraft der Schraubnägeln überschritten war, wurden diese plötzlich aus dem Mittelholz herausgerissen. Die Nagelköpfe wurden dabei aber kaum in die Oberfläche des Seitenholzes eingedrückt. Bei allen Längsversuchen war es ohne besondere Schwierigkeiten möglich, mit den in Tabelle 17

Tabelle 13: Ergebnisse der Hauptversuche mit Schraubnägeln
Dübel: Appel ϕ 65 mm







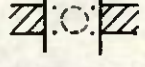
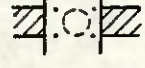


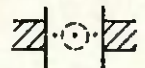





Versuch Nr.	s_g mm	Nagel- Bild u. Anzahl	V_V b. zul F mm	$F_{1,5}$ kN	F_B kN	$v =$ $F_B/zul F$
LÄNGSVERSUCHE: zul F = 23 kN						
HA 70	40	 2	0,75 0,76	32,7 32,6	52,5	2,28
HA 71	40	 4	0,30 0,31	58,9 58,0	98,8	4,30
72	40	 4	0,57 0,57	41,1 41,1	75,6	3,29
73	40	 4	0,53 0,45	45,5 55,0	77	3,35
\bar{X}			0,46	49,9	83,8	3,65
QUERVERSUCHE: zul F = 18 kN						
HA 80	40	 2	0,84 1,13	25,8 22,2	35,0	1,94
HA 81	40	 4	0,82 0,79	25,4 30,2	38,8	2,16
82	40	 4	0,57 0,70	30,5 30,4	47,2	2,62
83	40	 4	0,65 0,59	28,1 34,1	43,0	2,39
\bar{X}			0,69	29,8	43,0	2,39
HA 84	70	 4	0,74 0,77	31,5 31,2	60,6	3,37
HA 85	70	 3	1,13 0,78	23,6 31,7	55,0	3,06
86	70	 3	0,73 0,98	31,7 26,0	56,0	3,11
87	70	 3	1,03 0,63	24,5 33,1	49,8	2,77
\bar{X}			0,88	28,4	53,6	2,98

Tabelle 14: Ergebnisse der Hauptversuche mit Schraubnägeln
Dübel: Appel ϕ 95 mm

Versuch Nr.	s_g mm	Nagel- Bild u. Anzahl	V_y b, zul F mm	$F_{1,5}$ kN	F_B kN	$\nu =$ $F_B/\text{zul F}$
-------------	-------------	--------------------------	-------------------------	-----------------	-------------	-------------------------------

LÄNGSVERSUCHE: zul F = 34 kN

HA 90	40	 2	1,10 0,59	49,2 70,7	84,0	2,47
HA 91	40	 4	0,56 0,54	83,6 83,1	131,2	3,86
92	40	 4	0,65 0,52	77,5 80,3	136,2	4,00
93	40	 4	0,59 0,47	67,9 91,4	108,8	3,20
\bar{X}			0,56	80,6	125,1	3,69

QUERVERSUCHE: zul F = 25 kN


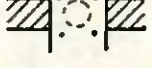
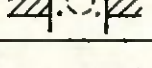





HA 100	40	 4	0,73 0,65	43,4 53,3	81,0	3,24
101	40	 4	0,66 0,52	42,4 55,9	72,2	2,89
102	40	 4	0,76 0,90	41,3 36,1	71,6	2,86
\bar{X}			0,70	45,4	74,9	3,00

Tabelle 15 : Ergebnisse der Hauptversuche mit Schraubnägeln
Dübel: Bulldog \varnothing 62 mm

Versuch nr.	s g mm	Nagel- Bild u. Anzahl	V _V h. zul F mm	F _{1,5} kN	F _B kN	v = F _B /zul F
----------------	--------------	--------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------	------------------------------

LÄNGSVERSUCHE: zul F = 14 kN

HB 70	40	 2	0,60 0,55	20,0 20,5	34,1	2,44
HB 71	40	 3	0,44 0,34	24,6 25,8	44,1	3,15
72	40	 3	0,38 0,38	25,3 25,5	44,4	3,17
73	40	 3	0,32 0,35	26,7 25,5	46,3	3,31
\bar{X}			0,37	25,6	44,9	3,21
HB 74	40	 4	0,25 0,27	30,5 29,1	54,5	3,90

QUERVERSUCHE: zul F = 12 kN

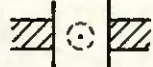
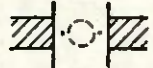
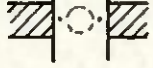
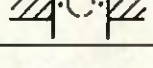
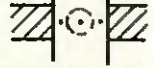
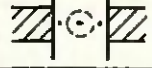
HB 80	40	 1	0,70 0,52	15,9 19,4	23,6	1,97
HB 81	40	 2	0,47 0,53	20,2 19,3	35,1	2,93
82	40	 2	0,40 0,26	21,1 -	38,8	3,23
83	40	 2	0,19 0,50	28,3 20,1	35,7	2,98
\bar{X}			0,39	21,8	36,5	3,05
HB 84	40	 3	0,15 0,37	35,6 25,4	44,4	3,70
HB 85	70	 3	0,16 0,50	27,7 23,2	43,7	3,64

Tabelle 16: Ergebnisse der Hauptversuche mit Schraubnägeln
Dübel: Bulldog ϕ 95 mm








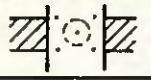


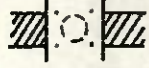




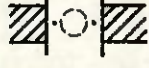
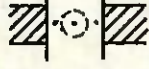


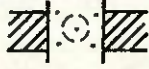
Versuchs-Nr.	s_g mm	Nagel-Bild u. Anzahl	V _v b. zul F mm	zul F kN	F _{1,5} kN	F _B kN	$\nu =$ F _B /zul F
LÄNGSVERSUCHE: zul F = 24 kN							
HB 90	40	 4	0,55 0,33	24	39,2 43,5	65,2	2,72
91	40	 4	0,65 0,31	24	34,0 47,7	67,5	2,81
\bar{X}			0,46		41,1	66,4	2,77
HB 92	40	 5	0,54 0,33	24	38,4 45,2	68,8	2,87
93	40	 5	0,65 0,30	24	38,3 50,9	78,0	3,25
94	40	 5	0,46 0,30	24	43,5 53,5	82,2	3,43
\bar{X}			0,43		45,0	76,3	3,18
QUERVERSUCHE: zul F = 21 kN							
HB 100	40	 5	0,38 0,29	21	40,3 44,5	64,2	3,06
101	40	 5	0,45 0,37	21	38,1 43,6	68,8	3,28
102	40	 5	0,69 0,34	21	42,4 49,5	68,8	3,28
\bar{X}			0,42		43,1	67,3	3,21

Tabelle 17: Charakteristische mittlere Lastwerte in kN pro Dübel aus den Versuchen mit Schraubnägeln (Bierbach-Sparrennägeln)

Dübel ϕ	α, β Grad/cm	N	Nagel- Bild u. Anzahl	$F_{1,5}$	F_B	$\frac{F_B}{2,75}$	zul F
A 65	0/4	3	 4	25,0	41,9	15,2	11,5
A 65	90/7	3	 3	14,2	26,8	9,8	9,0
A 65	90/7	1	 4	15,7	30,3	11,0	9,0
A 95	0/4	3	 4	40,3	62,5	22,7	17,0
A 95	90/4	3	 4	22,7	37,5	13,6	12,5
B 62	0/3	3	 3	12,8	22,5	8,2	7,0
B 62	0/1	1	 4	14,9	27,3	9,9	7,0
B 62	90/4	3	 2	10,9	18,3	6,7	6,0
B 62	90/4	1	 3	15,3	22,2	8,1	6,0
B 62	90/7	1	 3	12,7	21,9	8,0	6,0
B 95	0/4	3	 5	24,5	38,2	13,9	12,0
B 95	90/4	3	 5	21,6	33,7	12,3	10,5

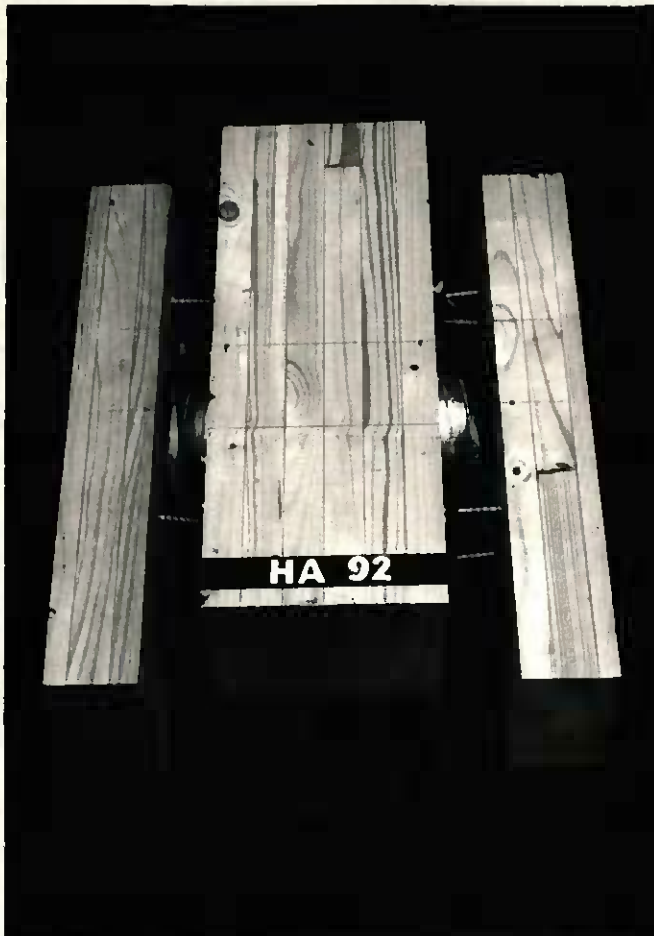


Bild 16 : Appel-Längsverbindungen mit Schraubnägeln nach dem Versagen

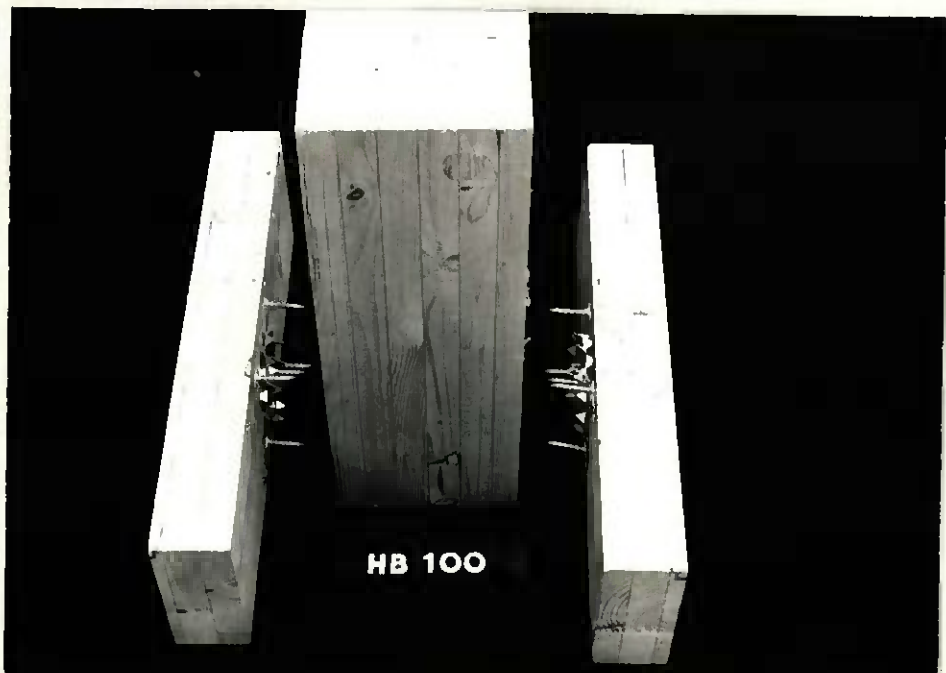


Bild 17 : Bulldog-Längsverbindungen nach dem Versagen

dargestellten Nagelbildern ausreichend hohe Tragfähigkeiten und Steifigkeiten zu erzielen, so daß ein Ersatz der Dübelbolzen durch Schraubnägeln (Bierbach-Sparrennägeln) bei 40 mm Einschlagtiefe möglich war. Dagegen gab es vorwiegend bei den Querversuchen mit kleinen Appel-Dübeln einige Schwierigkeiten, hervorgerufen allein durch die kleinen zur Verfügung stehenden Anschlußflächen (vgl. Bild 14). Bei Anordnung von 4 Nägeln in den Eckbereichen des zur Verfügung stehenden Quadrates konnte bei Versuchen immer wieder festgestellt werden, daß die beiden Nägel am beanspruchten Rand des Mittelholzes dieses aufgrund der Querkzugbeanspruchung vorzeitig zum Aufreißen brachten. Dadurch wurde natürlich die Tragfähigkeit der Verbindung stark herabgesetzt, zumal der äußere Dübelrand und die beiden Heftnägeln etwa auf einer Höhe lagen. Kam der Dübel nun zum Tragen, so bewirkte dies eine weitere Querkzugbeanspruchung des Mittelbolzens, so daß dieses vollends zumindest über eine Länge, die der Breite des Seitenholzes entsprach, aufriß. Diese Beobachtungen führten dazu, die Schraube möglichst auf der Mittellinie um den Nagelkopfdurchmesser versetzt anzubringen, was weitere Versuche auch als richtig erwiesen. Für die Bulldog-Dübel \varnothing 62 mm ließ sich dies auch leicht durchführen. Bei Appel-Dübeln \varnothing 65 mm waren, wie vorangegangene Versuche zeigten, mindestens 3 Schraubnägeln zur Dübelsicherung und für eine genügende Tragfähigkeit der Dübelverbindung erforderlich. Zum Fräsen der Dübelnut mußte aber vorher in Dübelmitte ein Loch von ca. 3,5 cm Tiefe gebohrt werden, um den Fräser über einen Dorn die richtige Führung zu geben. Bei einer Einschlagtiefe von 40 mm wäre daher der mittlere Nagel praktisch nutzlos, so daß für diese Versuchsreihe auf eine Einschlagtiefe von 70 mm übergegangen wurde, so daß der mittlere Nagel immerhin noch ca. 35 mm in das Loch eindringen konnte. Die Ergebnisse waren dann auch ausreichend, wie in Tabelle 13 aufgeführt. Die Verschiebungen lagen dann allerdings etwas höher als allgemein, jedoch noch weit unter 1,5 mm.

Weitgehend problemlos verhielten sich die Querversuche demgegenüber beim Einsatz der großen Dübel, da sich hierfür die Anschlußflächen als genügend groß erwiesen.

Typische Lastverschiebungslinien sind in den Bildern 18 und 19 dargestellt.

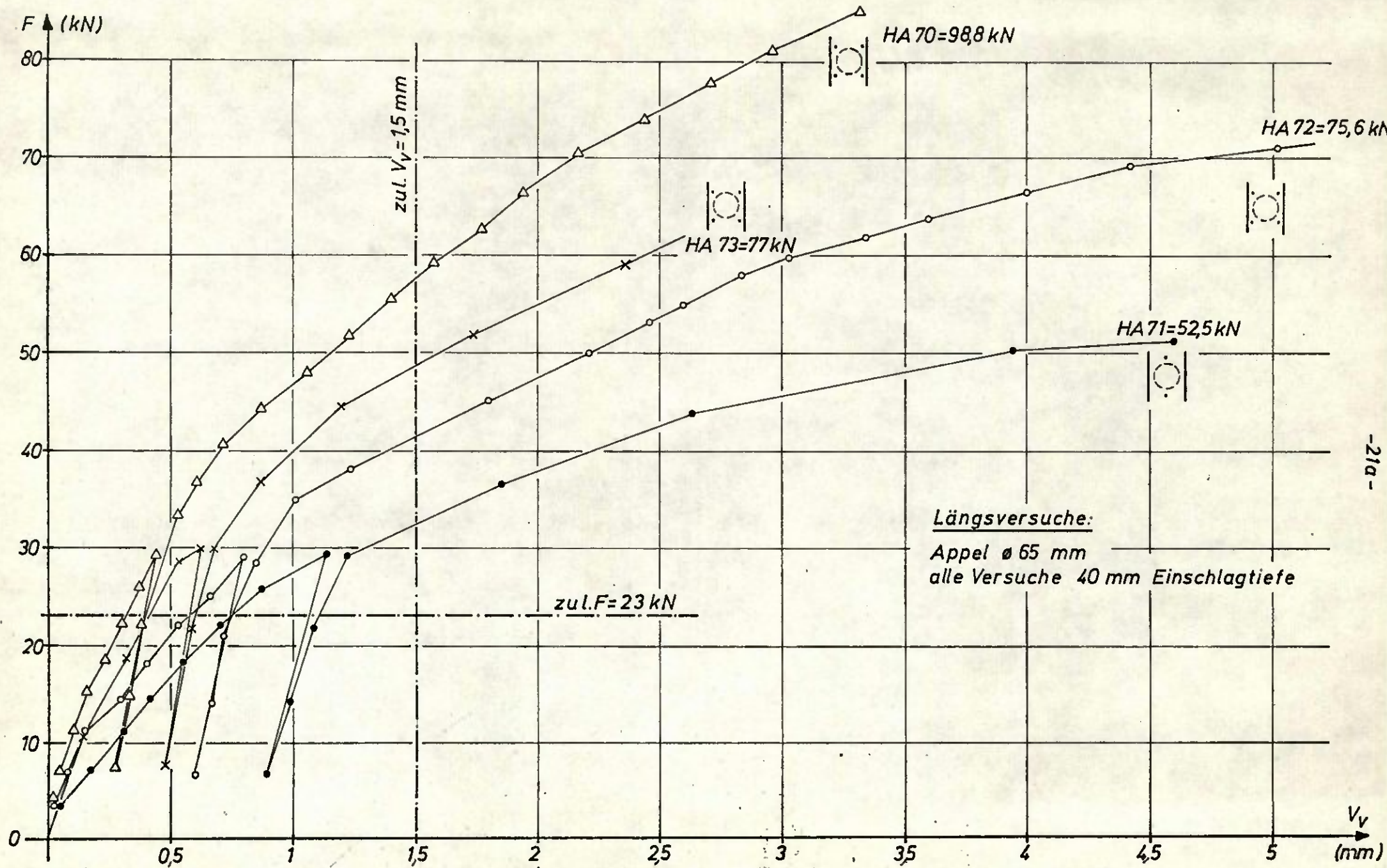
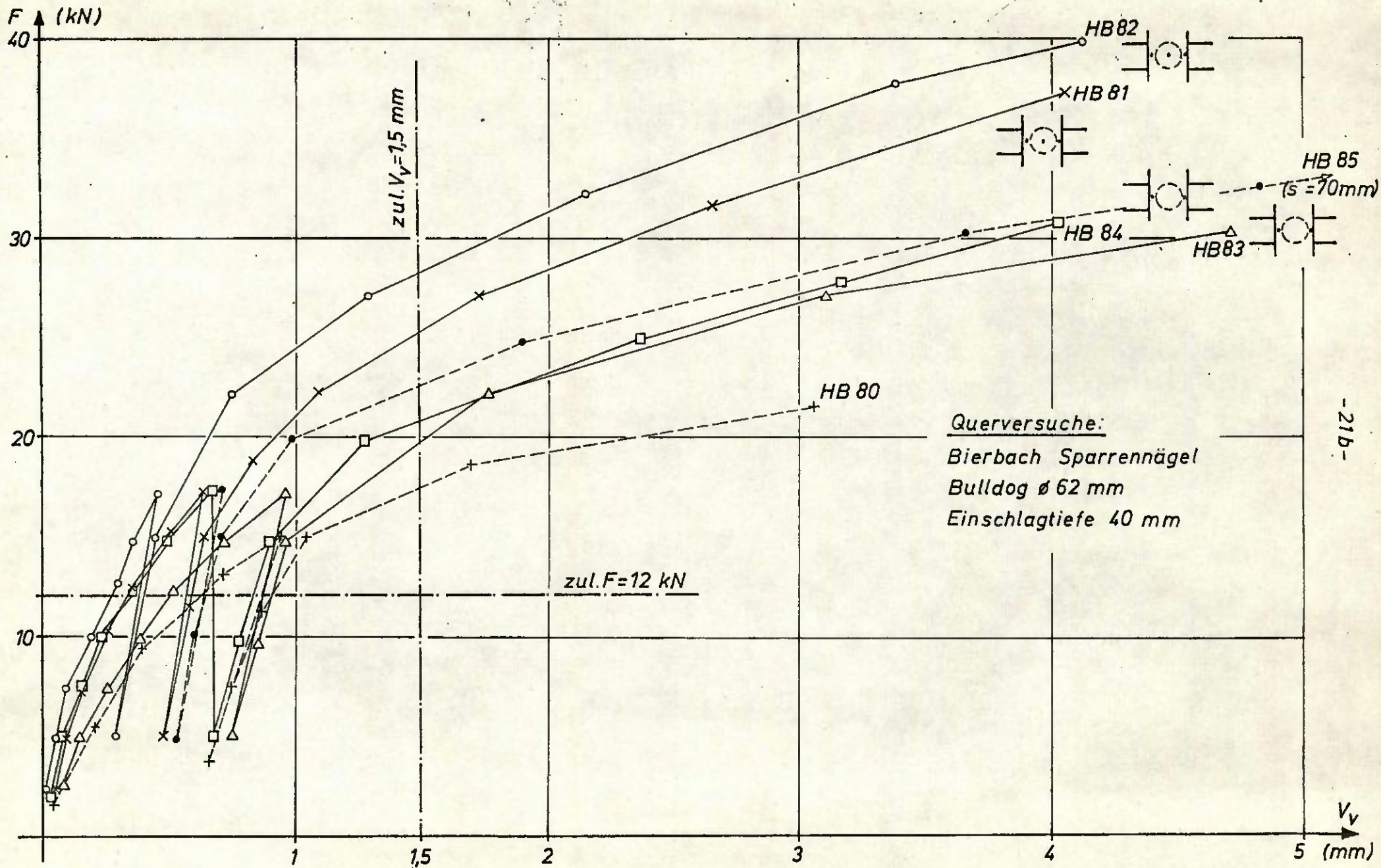


Bild 18: Längsversuche mit Schraubnägeln: Lastverschiebungslinien bei verschiedener Nagelung



-21b-

Bild 19: Querversuche mit Schraubnägeln: Lastverschiebungslinien bei verschiedener Nagelung

5. ZUSAMMENSTELLUNG SÄMTLICHER ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

In Bild 20 und 21 sind für sämtliche Längs- und Querversuche mit Appel- und Bulldog-Dübeln alle Mittelwerte der maßgebenden Lasten $F_{1,5}$ und F_B aus den Versuchsergebnissen der Vergleichsversuche mit gebolzten Dübelverbindungen und der Hauptversuche mit Sechskant-Holzschrauben (DIN 571) und Schraubnägeln als Balkendiagramme dargestellt. Gleichzeitig sind die jeweils maßgebenden Grenzlasten $zul F$ und $2,75 \cdot zul F$ eingetragen. Hieraus geht deutlich hervor, daß die Belastung $F_{1,5}$ der Dübelverbindungen bei 1,5 mm Verschiebungsweg bei allen untersuchten Versuchsanordnungen teilweise weit über der zulässigen Belastung nach DIN 1052, Teil 2 lag und die Höchstlasten F_B den Wert von $2,75 \cdot zul F$ mit Ausnahme der mit geringer Schraubnagelanzahl durchgeführten Versuche überschritten. Außerdem zeigt sich deutlich, daß sowohl die Verschiebungen bei $zul F$ als auch die Höchstlasten der normgemäß gebolzten Dübelverbindungen mit Holzschrauben oder Schraubnägeln ebenfalls erreicht, teilweise sogar wesentlich günstigere Werte erzielt wurden. Die Verschiebungen bei der zulässigen Dübelbelastung lagen bei Bulldog-Verbindungen vorwiegend unter 0,5 mm, bei Appel-Verbindungen zwischen 0,5 und 1 mm.

In Bild 22 sind zusätzlich für die Längs- und Querversuche die bei den Bolzen- und Holzschraubenversuchen ermittelten mittleren Zugkraftänderungen im Bolzen bzw. in der Holzschraube aufgetragen. Bei 1,5 mm Verschiebungsweg traten nur bei Verbindungen mit Appel-Dübeln geringe Zugkraftzunahmen in den Bolzen oder Holzschrauben auf, während bei Verbindungen mit Bulldog-Dübeln nur Entlastungen festgestellt wurden. Kurz vor Erreichen der Höchstlast traten in allen Fällen wesentliche Zunahmen der Zugkraft auf, die bei den Bolzen mit wenigen Ausnahmen deutlich höher waren als bei den Holzschrauben, was auf die Seilwirkung des Bolzens im Bruchbereich der Gesamtverbindung zurückzuführen ist. Für den praktischen Einsatz von Sechskant-Holzschrauben (DIN 571) und Schraubnägeln als Ersatz der bisher vorgeschriebenen Dübelbolzen zur Sicherung von Dübelverbindungen bei Einfräs- und Einpreßdübeln kann anhand der Versuchsergebnisse folgendes festgestellt werden:

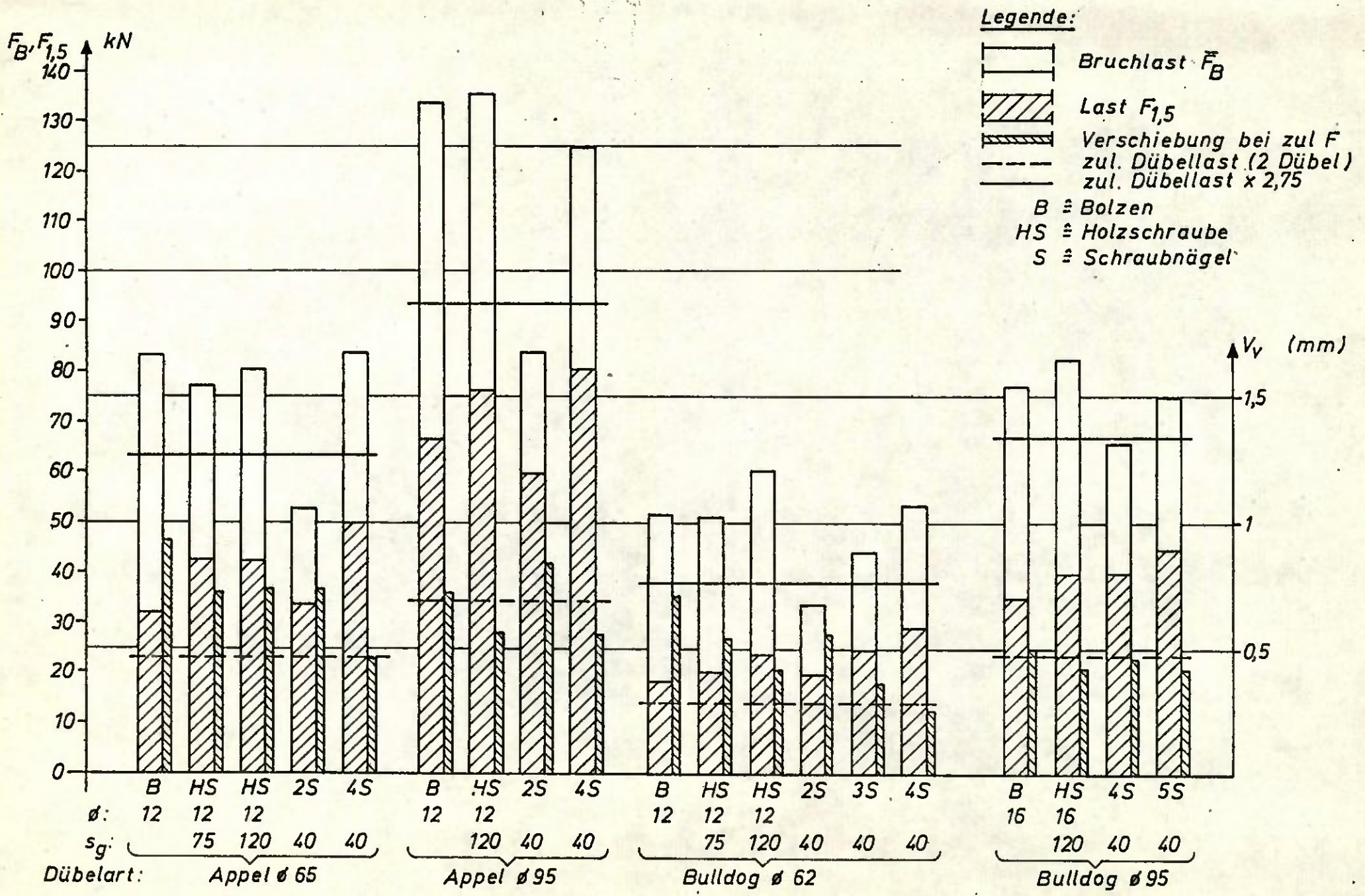
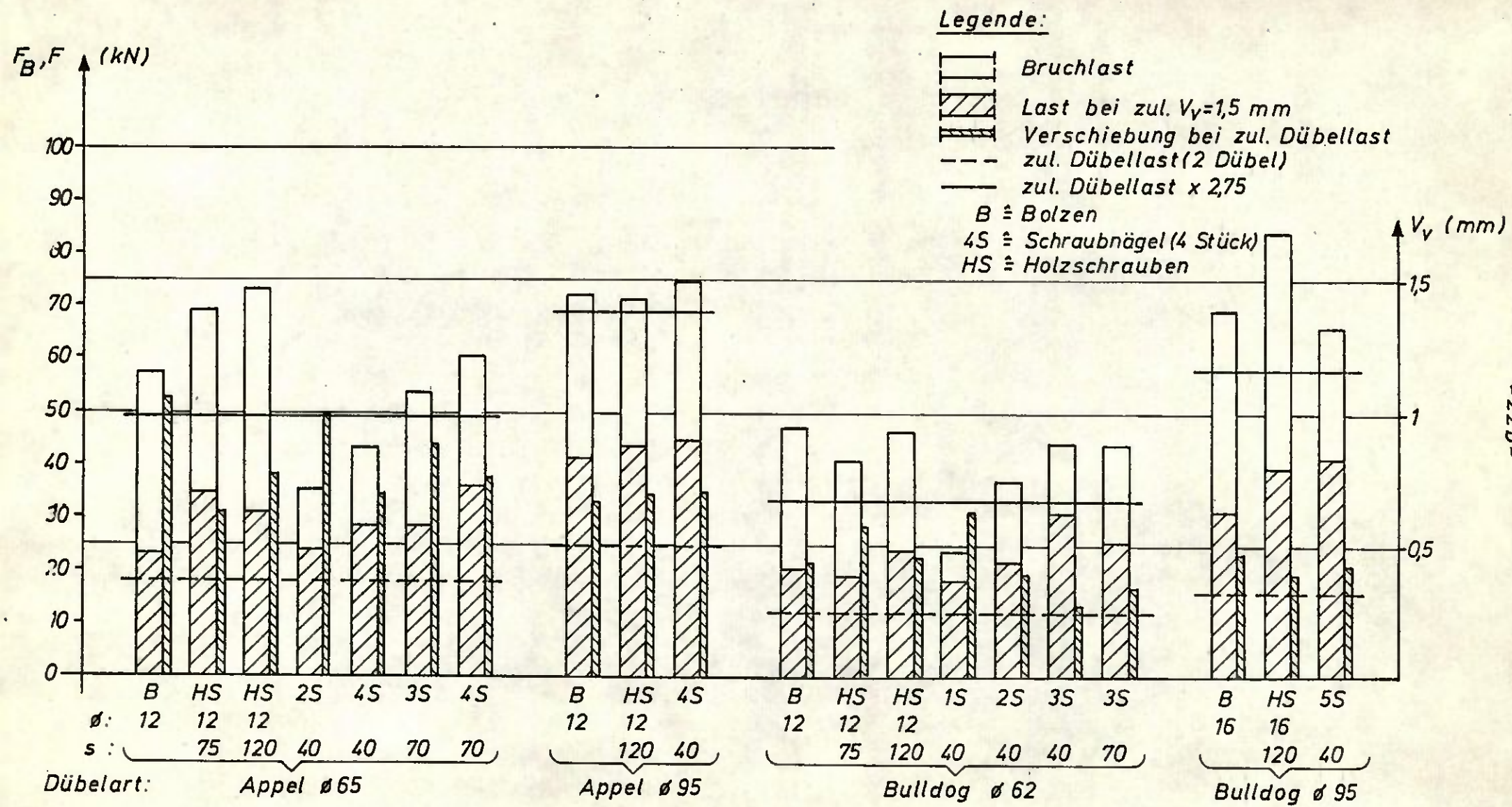
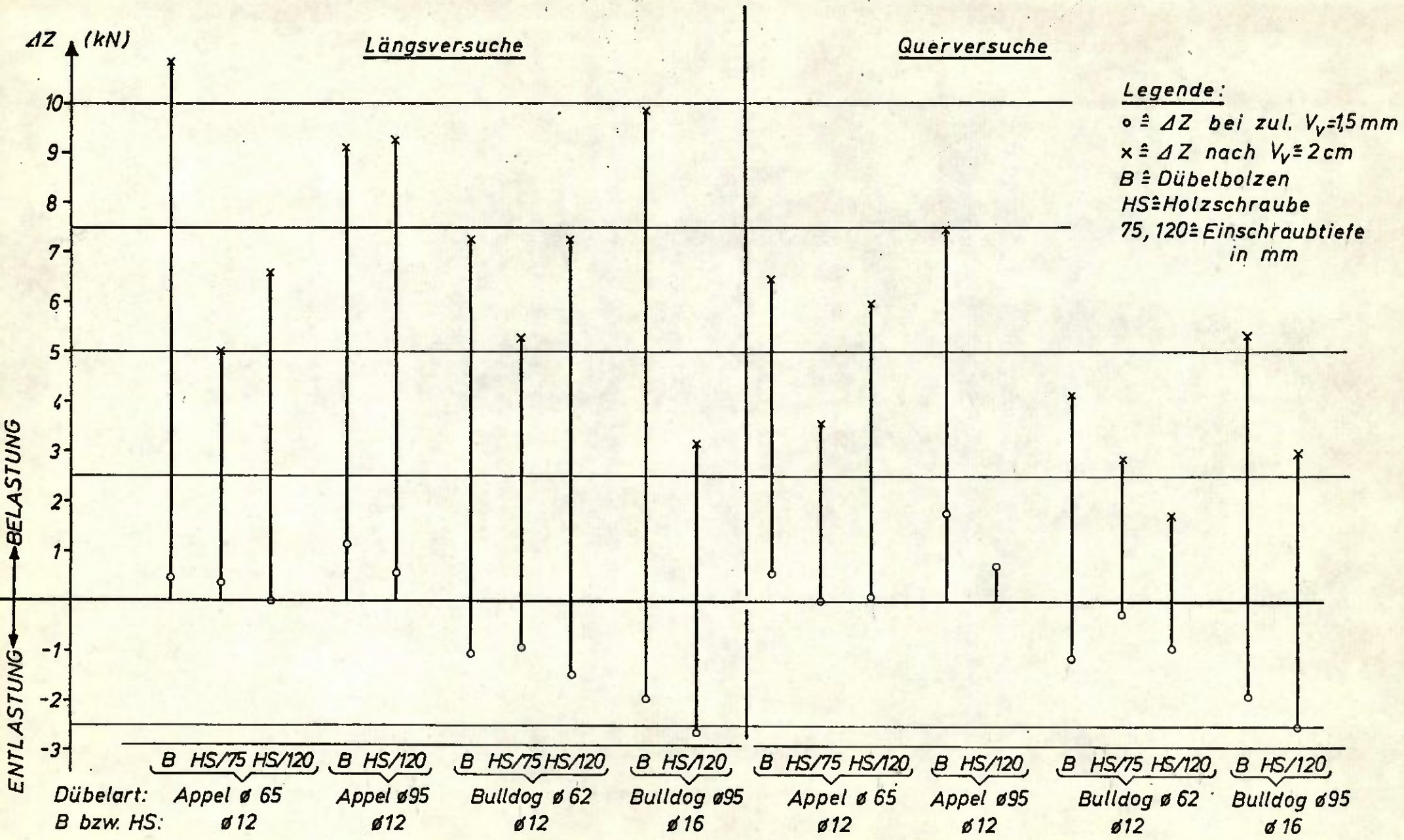


Bild 20: Mittelwerte aus Längsversuchen. Bruchlasten, Lasten bei zul. Verschiebung und Verschiebung bei zul. Last F .



-22b-

Bild 21: Mittelwerte aus Querversuchen. Bruchlasten, Lasten bei zul. Verschiebung und Verschiebung bei zul. Last F.



- 22c -

Bild 22: Änderung der Zugkraft im Bolzen bzw. in der Holzschraube (Mittelwerte)

Die in DIN 1052, Teil 2, Tabelle 1 angegebenen zulässigen Dübelbelastungen für 1 oder 2 in der Kraftrichtung hintereinander liegende Dübel System Appel oder Bulldog mit Außendurchmessern ≤ 95 mm können auch für solche Dübelverbindungen zugrundegelegt werden, bei denen der Bolzen entweder durch eine Holzschraube gleichen Durchmessers und einer Einschraublänge von mindestens 120 mm oder durch mindestens 4 Schraubnägel mit mindestens 50 mm Gewindeeinschlagtiefe ersetzt wird, die insgesamt in der Lage sind, eine zulässige Ausziehlast von $4,5 \cdot 0,15 = 3,00$ kN aufzunehmen. Während die Holzschraube in der Dübelachse sitzen muß, sind die 4 Schraubnägel nach Bild 23 und 24 anzuordnen. Bei Einpreßdübeln ist für einen einwandfreien Sitz der Dübel in den zu verbindenden Hölzern vor dem Eintreiben der Nägel oder Schrauben Sorge zu tragen. Das einwandfreie Einpressen kann nicht allein durch das Eindrehen der Holzschrauben oder das Einschlagen der Schraubnägel erreicht werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Durch Versuche wurde das Trag- und Verformungsverhalten von Dübelverbindungen mit Einpreß- und Einfräsdübeln an Vollholz-Brettschichtholzanschlüssen untersucht, wobei der nach DIN 1052, Teil 2 vorgeschriebene Heftbolzen durch Sechskant-Holzschrauben nach DIN 571 oder durch Schraubnägel ersetzt wurde. Es hat sich gezeigt, daß bei Einhaltung bestimmter Einschraubtiefen für die Holzschrauben gleichen Durchmessers und mit einer bestimmten Mindestanzahl von Schraubnägeln $\varnothing 5,1$ mm (gemäß Zulassung der Fa. Bierbach vom 14.11.1973) bei Einschlagtiefen von 40 und 70 mm derartige Anschlüsse die nach Spalte 13 und 17 der Tabelle 1 in DIN 1052, Teil 2 zulässigen Belastungen mit ausreichender Steifigkeit und Tragsicherheit aufnehmen können.

Für die normalen einschnittigen Verbindungen, auch von Brettschichtholz und Vollholz, können aufgrund der Untersuchungen zweckmäßige Ausführungsrichtlinien angegeben werden, wobei mit Rücksicht auf die praktische Durchführung einheitliche Regeln bevorzugt werden sollten. Inwieweit die Ergebnisse der Versuche auf Dübelgrößen über 95 mm Außendurchmesser und auf andere Dübelbauarten übertragen werden können, sollte zumindest durch einige Anschlußversuche geklärt werden.

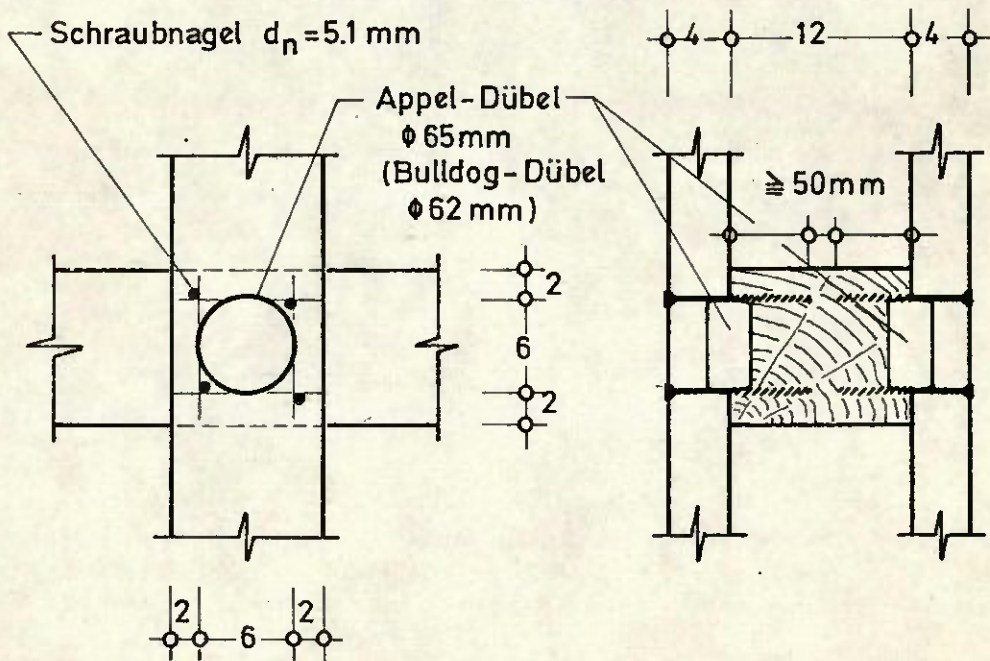
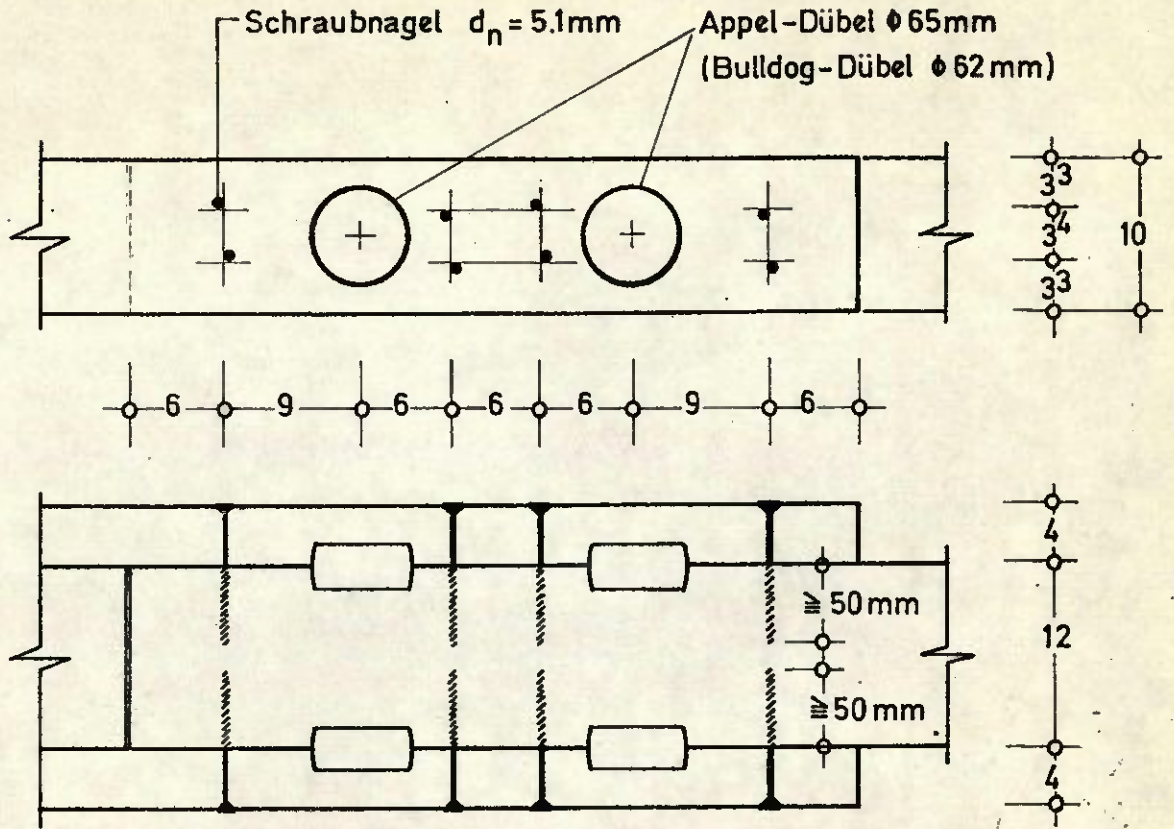


Bild 23: Anordnung der Schraubnägels als Bolzensersatz bei Appel $\varnothing 65$ u. Bulldog $\varnothing 62$ mm.

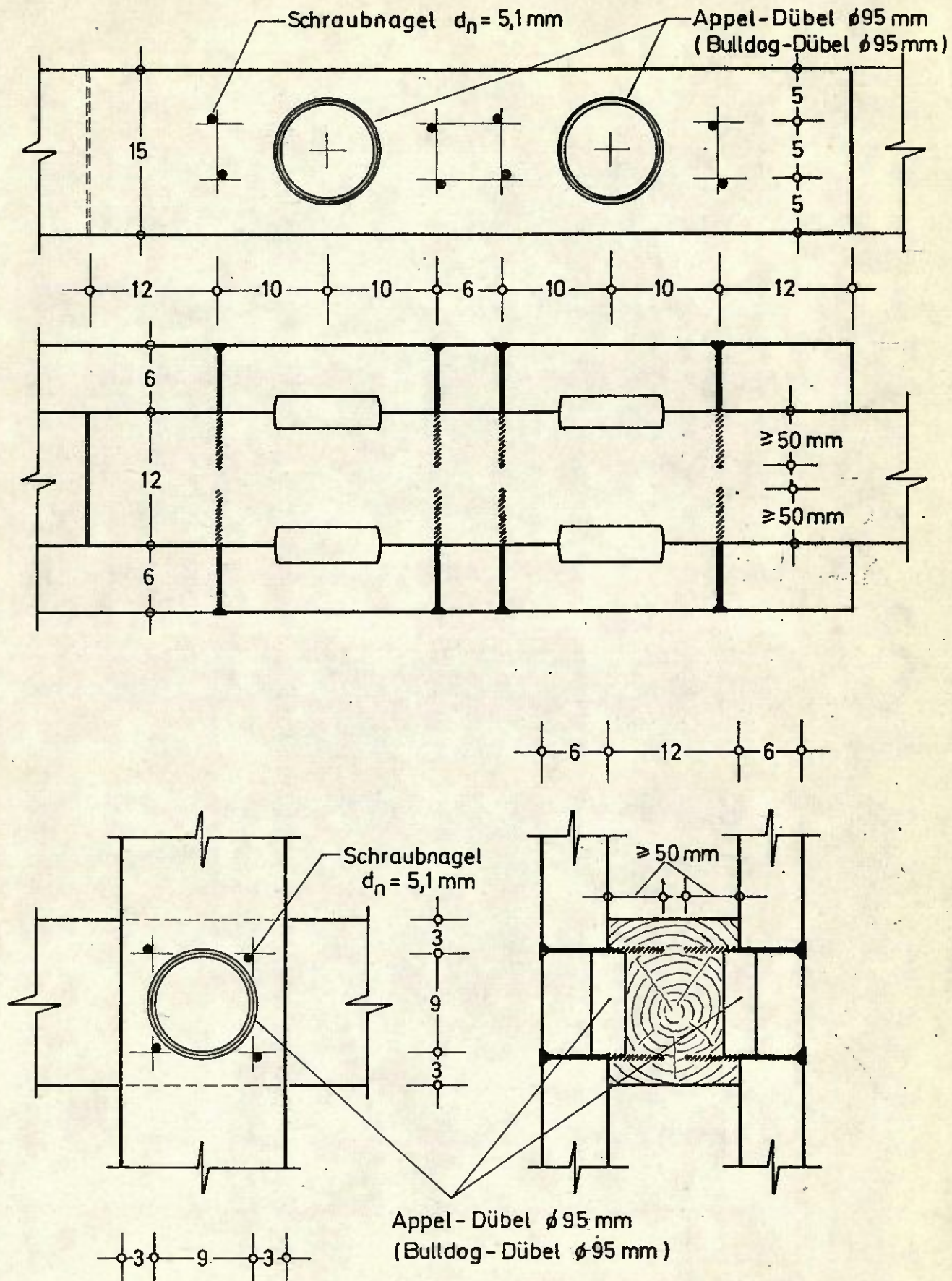


Bild 24: Anordnung der Schraubnägels als Bolzenersatz bei Appel $\phi 95$ u. Bulldog $\phi 95 \text{ mm}$.

SCHRIFTTUM:

- [1.] AITC : Timber Construction Manual. Second edition,
John Wiley and sons Inc. 1974 New York, London,
Sydney, Toronto.
- [2.] Habicht F.R. : Die Spannungen bei Dübelverbindungen
Planen und Bauen Bd. 4 (1950) S. 397 - 400.
- [3.] Stoy W., Mlyneh F. : Einfräs- und Einpreßdübel im
Ingenieurholzbau,
Bautechnik, Heft 9, 29. Jahrgang (1952), S. 241 - 246.
- [4.] Habicht F.R. : Statische, dynamische und röntgenologische
Untersuchungen von Zahnringdübelverbindungen.
Bauingenieur 29 (1954), S. 126 - 132.
- [5.] Graf O. : Vergleichende Untersuchungen mit Dübelverbindungen.
Bautechnik, Jahrgang 22 (1944), S. 23 - 32, S. 47 - 52.