

HIRNHOLZDÜBELVERBINDUNGEN BEI BRETTSCHICHTHOLZ

Untersuchungen

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

und des

Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

von

Karl Möhler und Klaus Hemmer

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen

Universität Karlsruhe (TH)

1 97 9

BERICHT

HIRNHOLZDÜBELVERBINDUNGEN BEI BRETTSCHICHTHOLZ

<u>Inhaltsverzeichnis :</u>	Seite
1. Einleitung	1
2. Literaturdurchsicht	2
3. Prüfkörper	3
4. Durchführung der Versuche	11
5. Versuchsergebnisse	13
5.1 Einfluß der Längsträgerbreite und des Verbindungsmittelabstandes vom querbeanspruchten Trägerrand	15
5.2 Einfluß der verschiedenen Klemmvorrichtungen	17
5.3 Einfluß des Dübelabstandes bei Anordnung von zwei Dübeln hintereinander	20
5.4 Einfluß der Anzahl der in Krafrichtung hintereinander angeordneten Dübel	21
5.5 Einfluß der Anzahl der nebeneinander angeordneten Dübel	22
5.6 Einfluß der Neigung der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenholzflächen	23
5.7 Dübel im Seitenholz im Vergleich zur Anordnung im Hirnholz	24
5.8 Holzeigenschaften	25
6 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	25
7 Literaturangabe	29

1. Einleitung

Dübelverbindungen müssen im Holzbau bisher in der Regel so gestaltet werden, daß die Dübel nur in den Seitenflächen der zu verbindenden Hölzer sitzen. Beispiele hierfür sind gelaschte Stöße und Stabanschlüsse bei Fachwerken, Trägern und Rahmen. Für diese Anwendungsart enthält DIN 1052, Bl. 1 und 2 die erforderlichen Bemessungs- und Ausführungsangaben. Tragende Anschlüsse in Hirnholz wurden bisher kaum ausgeführt, obwohl entsprechende Versuche für spezielle Anwendungen bei Brettschichtholz-Bauteilen gezeigt haben, daß bei einwandfreier konstruktiver Ausbildung ein verhältnismäßig günstiges Verformungs- und Tragverhalten derartiger Anschlüsse vorliegt. In [1] ist auf Erfahrungen hingewiesen, wonach "Verbinder" in Hirnholz auch bei schräg zur Stabachse liegenden Hirnschnitten für tragende Verbindungen verwendet werden können und es sind Hinweise zur Berechnung der zulässigen Belastungen angegeben. In Deutschland haben bereits 1971 von Möhler/Ehlbeck [2] durchgeführte Versuche gezeigt, daß Hirnholzdübelverbindungen zwischen Brettschichtbauteilen unter bestimmten Ausführungsbedingungen ausreichende Tragsicherheit und Steifigkeit aufweisen.

In den letzten Jahren hat sich vor allem bei Brettschichtholzkonstruktionen immer mehr die Notwendigkeit ergeben Hirnholzanschlüsse mit Dübeln als tragende Verbindungen anzuwenden. Damit können bei Trägerrosten, Querträgeranschlüssen von Holzbrücken, Firstpunkten von Dachbindern, Anschlüssen an Binderstützen und ähnlichen Bauteilen besonders wirtschaftliche Lösungen ausgeführt werden. Außerdem wird optisch durch die außen kaum sichtbare Verbindung eine wesentliche Aufwertung der Holzbauweise erreicht und die Feuerwiderstandsdauer der

Anschlüsse durch die Minimierung der Stahlteile erheblich verbessert. Da gerade bei den vorgesehenen Hirnholzdübelanschlüssen der Wirksamkeit einer in der Dübelachse angeordneten Klemmvorrichtung eine besondere Bedeutung zukommt, der Einbau der normgemäß erforderlichen Sechskantschraube aber kompliziert und arbeitsaufwendig ist, sollten auch Alternativen zu der normgemäßen Ausführung untersucht werden. Dabei war nach den Festlegungen im Technischen Beirat der Studiengemeinschaft Holzleimbau davon auszugehen, daß als Dübel in Hirnholz bei Winkeln von 45° und 90° zwischen den zu verbindenden Bauteilen praktisch ausschließlich Ringkeildübel-System Appel infrage kämen. Die Untersuchungen sollten sich daher auf diese Dübelart beschränken, wobei die 3 Dübelgrößen \emptyset 65, 95 und 126 mm erfaßt werden sollten. Die praxisnahe an Anschlüssen aus Brettschichtholz durchgeführten Versuche sollten die Grundlagen liefern, um für derart ausgeführte Hirnholzanschlüsse die zulässigen Lasten unter Berücksichtigung der nach DIN 1052 Blatt 1, Abs. 11.1.9 geforderten Tragsicherheit von 2,75 und der unter der zulässigen Belastung auftretenden Verschiebung von maximal 1,5 mm festlegen zu können. Außerdem sollten die notwendigen Ausführungsbedingungen festgelegt werden.

2. Literaturdurchsicht.

Bei Durchsicht der bisher vorliegenden Literatur konnte festgestellt werden, daß zum ersten Mal in der 1974 erschienenen 2. Ausgabe von "Timber Construction Manual" [1] Dübelanschlüsse in Hirnholz allgemein behandelt wurden und auf der Grundlage der Arbeit von Longworth [3] Hinweise für

die Bemessung derartiger Anschlüsse gegeben werden. Ausführliche Angaben sind dann in den 1977 erschienenen US-Bemessungsvorschriften für Holzkonstruktionen [4] gemacht, die in Abschnitt 8.4.15 die Dübelverbindungen in Hirnholz ausführlich behandeln. Da diese auf den Versuchen nach [3] basierenden Angaben sich auf die bei Brettschichtholz aus europäischer Fichte und Ringkeildübeln System Appel vorliegenden Verhältnisse nicht ohne weiteres übertragen lassen, können sie nicht ohne einschlägige Versuche übernommen werden.

Versuche mit Brettschichtholz aus europäischem Nadelholz und mit 3 hintereinander, in einer unter 90° gegenüber den Seitenflächen geneigten Hirnholzfläche, liegenden Ringkeildübeln System Appel mit einem Durchmesser von 65 mm sind in [2] beschrieben. Hierbei wurde jedoch nur der Winkel von $\varphi = 90^{\circ}$ (siehe Bild 1 Anlage 1) und 2 verschiedene Größen von Unterslagscheiben untersucht. Die Versuche haben zwar gezeigt, daß Hirnholzdübelverbindungen der untersuchten Art für die Übertragung von Anschlußkräften herangezogen werden können. Allgemeingültige Angaben über die Bemessung derartiger Verbindungen konnten aber aufgrund der wenigen Versuche nicht gemacht werden.

3. Prüfkörper

Die Untersuchungen wurden an Prüfkörpern aus Brettschichtholz der Güteklasse II durchgeführt. Das Brettschichtholz lagerte vor Versuchsbeginn mindestens 2 Wochen in einer klimatisierten Prüfhalle. Als Verbinder wurden Ringkeildübel System Appel verwendet. Als Klemmittel wurden neben den normgemäß vorgeschriebenen Sechskantschrauben und

Unterlagscheiben (rund), deren Einbau wie erwähnt einen besonderen Arbeitsaufwand erforderte und größere Schwächungen des anzuschließenden Trägers im Bereich des Hirnendes notwendig machte, eine nach einigen Vorversuchen sich als zweckmäßig und zuverlässig erwiesene Ausführung angewendet, bei der die Sechskantschraube in einem quer zur Schraubenachse liegenden Stahlzylinder \varnothing 30 mm eingeschraubt wurde. Der mit einer Querbohrung mit Innengewinde versehene Stahlzylinder ersetzte damit die Unterlagscheibe und die Mutter der Normausführung, erforderte nur eine Querbohrung im anzuschließenden Träger und ermöglichte das Anziehen der Sechskantschraube vom Schraubenkopf aus ohne Gegenhalten. Neben diesen beiden hauptsächlichen Klemmvorrichtungen wurden noch weitere Möglichkeiten, wie Holzschrauben allein oder in Verbindung mit Kunststoffdübeln und Schraubnägeln in die Untersuchungen einbezogen. Die zur Anwendung gekommenen Klemmmittel, die Prüfkörperbezeichnungen und die verschiedenartige Ausführung der Verbindungen sind nachstehend zusammengestellt. Ergänzend muß noch vermerkt werden, daß bei Anschlüssen, bei denen Sechskantschrauben M 12 zur Erzielung der erforderlichen Klemmwirkung verwendet wurden, die für diesen Bolzen erforderlichen Bohrungen einen Durchmesser von 16 mm bzw. 20 mm aufwiesen. Somit kann davon ausgegangen werden, daß die Sechskantschrauben bei der Uebertragung der Scherkraft keine Querlasten aufnahmen.

Prüfkörper Nr. V 1 bis V 24:

Als Verbinder wurden Appel-Dübel \varnothing 65 mm verwendet. Der Winkel φ betrug dabei jeweils 90° ; die Träger, in deren Hirnholzflächen die Verbinder angeordnet waren, variierten

.//.

in der Breite b und in der Höhe h von 11 bis 28 cm. Als Grenzwerte wurden dabei die in DIN 1052, Blatt 2 angegebenen Werte b für eine Neigung der Kraft zur Faserrichtung von 90° und $2 \cdot e_{d\parallel}$ gewählt. Bei den Prüfkörpern V 1 bis V 4 erfolgte das Zusammenklemmen der Prüfkörperteile durch eine Sechskantschraube M 12, welche mittig durch den Dübel durchgeführt wurde. Die verwendeten Unterlagscheiben hatten die nach DIN 1052, Bl. 2 vorgesehene Abmessung (\emptyset 58/6 mm). Die Verwendung von Unterlagscheiben mit Muttern zur Uebertragung der Bolzenlängszugkraft auf die Holzflächen erforderte das Ausstemmen eines entsprechend großen Querschlitzes in das längsliegende Trägerteil. Bei den Prüfkörpern V 5 bis V 8 und V 12 bis V 24 wurde deshalb U-Scheibe und Mutter durch einen Stahlzylinder \emptyset 30 mm ersetzt, der durch eine querliegende Bohrung in den Längsträger eingeführt werden konnte. Der Stahlzylinder erhielt eine Querbohrung mit Innengewinde, in welche die Maschinenschraube M 12 eingedreht und angezogen werden konnte. Bei den Prüfkörpern V 9 bis V 12 wurde dagegen eine Holzschraube M 12 verwendet, so daß kein Gegenstück zur Halterung erforderlich war. Die Einschraubtiefe für die Schlüsselschraube bzw. der lichte Abstand zwischen der Hirnholzfläche und dem Formstück bzw. der Unterlegscheibe betragen jeweils 12 cm. In Bild 2 (Anlage 2) sind die Prüfkörper V 1 bis V 24 dargestellt und beschrieben.

Prüfkörper Nr. A 1 bis A 8:

Bei dieser Prüfkörperreihe wurde der lichte Abstand zwischen der Hirnholzfläche und dem Formstück zwischen 6 und 12 cm variiert. Zur Verbindung wurde eine Sechskantschraube M 12 ein Formstück \emptyset 30 mm im Längsträger und Unterlegscheiben

.//.

58/6 mm auf der Außenseite des Querträgers verwendet. Die Scherkraftübertragung erfolgte durch jeweils 1 Appel-Dübel \emptyset 65 mm. Die Längsträgerabmessungen betragen $b/h = 11/28$ cm, wobei der Ringkeildübel mittig in der unter $\varphi = 90^\circ$ stehenden Hirnholzfläche angeordnet war. In Bild 3 (Anlage 3) sind die Versuchskörper A 1 bis A 8 dargestellt.

Probekörper Nr. A 9 bis A 20

Bei dieser Gruppe sollte der Einfluß eines variablen Winkels φ der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenflächen ermittelt werden. Der Winkel φ wurde dabei zu 75° , 60° und 45° gewählt. Die Appel-Dübel \emptyset 65 mm waren bei einem Längsträgerquerschnitt von $b/h = 11/19$ cm so in der Hirnholzfläche angeordnet, daß die Entfernung Dübelmitte zum belasteten Trägerrand 5,5 cm betrug. Die erforderliche Klemmwirkung wurde wieder durch eine Sechskantschraube M 12 und ein Formstück \emptyset 30 mm erzielt. Der lichte Abstand zwischen dem Formstück und dem Hirnholzschnitt variierte bei dieser Versuchsreihe zwischen 6,0 cm und 11,9 cm. Die genauen Maße können Bild 4 (Anlage 4) entnommen werden.

Probekörper Nr. A 21 bis A 32:

Bei dieser Versuchsreihe wurde für die Proben A 21 bis A 24 als Klemmittel eine Holzschraube M 16 verwendet, welche 12 cm tief in den Längsträger eingedreht wurde. Die Vorbohrung erfolgte dabei gemäß DIN 1052, Blatt 1, 11.4.1. Weiterhin wurden bei den Prüfkörpern A 25 bis A 32 Fischer-Dübel \emptyset 20 mm und $l = 90$ mm in 20 mm vorgebohrte Löcher eingesetzt, in welche dann die Holzschrauben M 16 eingedreht wurden. Bei den Körpern A 25 bis A 28 wurde der Fischer-Dübel so eingebaut, daß

.//.

er bündig mit der Hirnholzfläche abschloß; bei den restlichen vier Körpern war der Fischer-Dübel so eingebaut, daß seine Spitze 12 cm tief in das Holz eindrang. Zur Scherkraftübertragung diente wieder ein Appel-Dübel \varnothing 65 mm, welcher mittig in die Hirnholzfläche von 11/28 cm eingebaut war. Als Unterlagscheiben wurden unter dem Schraubenkopf solche von 58/6 mm eingebaut. Die einzelnen Anschlußtypen sind in Bild 5 (Anlage 5) dargestellt.

Probekörper Nr. H 1 bis H 8:

Für den Appel-Dübel \varnothing 65 mm wurde hier bei einem minimalen Abstand vom höchst beanspruchten Querschnittsrand von 5,5 cm das Trag- und Verformungsverhalten geprüft. Die Längsträger waren so ausgebildet, daß bei jedem Versuch nur 1 Ringkeildübel eingebaut war. Die Klemmwirkung wurde durch einen Bolzen M 12, welcher mittig durch den Dübel ging und einen zweiten Zusatzbolzen, welcher, wie in Bild 6 (Anlage 6) dargestellt, eingebaut war erreicht. Nach Beendigung des Versuchs wurde der Längsträger so gedreht, daß die vorherige Unterseite nach oben zu liegen kam, so daß nach Einbau eines neuen Ringkeildübels mit der gleichen Hirnholzfläche ein zweiter Versuch durchgeführt werden konnte. Die Neigung φ der Hirnholzfläche betrug 90° , die Längsholzabmessungen waren $b/h = 11/19$ cm.

Probekörper Nr. J 1 bis J 8:

In dieser Versuchsreihe wurden in gleicher Weise wie zuvor beschrieben Appel-Dübel \varnothing 95 mm geprüft. Der Längsholzquerschnitt hatte dabei die Abmessungen $b/h = 15/26$ cm und die Dübel hatten einen Randabstand von 8,5 cm. Die Abmessungen

der Prüfkörper und der Versuchsaufbau sind ebenfalls in Bild 6 dargestellt.

Probekörper Nr. K 1 bis K 8:

Wie bei den Prüfreihen H und J wurden auch Appel-Dübel \varnothing 126 mm auf ihr Verhalten unter Last geprüft. Während die Prüfkörper K 1, K 2, K 3 und K 7 wie zuvor beschrieben mit 2 Klemmbolzen M 12 gesichert waren, war bei den restlichen Anschlüssen nur 1 Sechskantschraube M 12, mittig durch den Dübel gehend, eingebaut. Der Dübelrandabstand betrug dabei 10 cm bei einem Holzquerschnitt von 20/35 cm. Die genauen Prüfkörperabmessungen sind ebenfalls in Bild 6 angegeben.

Probekörper Nr. L 1 bis L 12:

In dieser Versuchsreihe wurde jeweils 1 Appel-Dübel \varnothing 95 mm mit einem mittig durchgehenden Klemmbolzen M 12 mit Stahlzylinder \varnothing 30 mm in eine Hirnholzfläche mit $\varphi = 90^\circ$ eingebaut. Variiert wurde dabei der Abstand des maximal beanspruchten Randes von der Dübelmitte von 12 cm bis 27 cm. Die Abmessungen der Probekörper und der Versuchsaufbau gehen aus Bild 7 (Anlage 7) hervor.

Probekörper Nr. M 1 bis M 8:

Da nach DIN 1052, Blatt 2 bei mehreren hintereinander im Seitenholz angeordneten Ringdübeln die zulässigen Lasten gegenüber 1 oder 2 Dübel abgemindert werden müssen, wurde an Prüfkörpern, bei denen mehrere Dübel in eine mit 90° geneigte Hirnholzfläche eingebaut waren, untersucht, ob diese Abminderung auch bei einer solchen Dübelverbindung erforderlich ist. Bei den Probekörpern M 1 bis M 4 waren

dabei 5 und bei den übrigen Körpern 3 Ringkeildübel \varnothing 95 mm hintereinander angeordnet. Zum Erzielen der erforderlichen Klemmwirkung war durch jeden Dübel mittig ein Klemmbolzen M 12 mit Formstück \varnothing 30 mm eingebaut. Diese Probekörper sind in Bild 8 (Anlage 8) dargestellt.

Probekörper Nr. N 1 bis N 12:

In dieser Versuchsreihe, bei der 2 Appel-Dübel \varnothing 95 mm, gesichert mit 2 mittig eingebauten Klemmbolzen M 12 mit Formstück \varnothing 30 mm, in eine mit $\varphi = 90^\circ$ angebrachte Hirnholzfläche eingebaut waren, wurde der Abstand der Dübel untereinander von 11 cm bis 22 cm variiert. Die Ausbildung der Versuchskörper mit Angabe der e_{d1} - Maße für die einzelnen Probekörpergruppen geht aus Bild 9 (Anlage 9) hervor.

Probekörper Nr. 0 1 bis 0 18:

Analog zu den unter J und M durchgeführten Versuchen wurden in dieser Prüfreihe Probekörper mit 1 Appel-Dübel \varnothing 95 mm bzw. mit 3 oder 5 hintereinander angeordneten Dübeln nach Bild 10 (Anlage 10) geprüft, wobei die Neigung der Hirnholzflächen gegenüber den Seitenholzflächen 75° , 60° und 45° betragen. Bei den Anschlüssen mit nur 1 Dübel wurde zusätzlich der Einfluß der Klemmwirkung mit 1 bzw. 2 Sechskantschrauben M 12 untersucht. Aus herstellungstechnischen Gründen schwankte dabei der lichte Abstand zwischen dem zum Erzielen der Klemmwirkung erforderlichen Formstück \varnothing 30 mm und der Hirnholzfläche zwischen 6,5 cm und 8,5 cm.

Probekörper Nr. P 1 bis P 4

In dieser Versuchsreihe sollte stichprobenhaft überprüft werden, ob horizontal-liegende oder hochkantstehende Lamellen des Brettschichtholzes einen signifikanten Einfluß auf das Tragverhalten solcher Anschlüsse haben. Die dazu benutzten Träger waren analog der Versuchsreihe H hergestellt. Appel-Dübel \varnothing 65 mm dienten zur Kraftübertragung. Zum Erzielen der Klemmwirkung wurden 1 bzw. 2 Bolzen M 12 eingebaut. Das Aussehen der Prüfkörper kann Bild 11 (Anlage 11) entnommen werden.

Probekörper Nr. P 5 und P 6:

Anhand dieser Versuchskörper sollte eine eventuelle Abminderung der Tragfähigkeit bei 2-reihiger Verbindungsmittelanordnung nachgeprüft werden. Als Verbindungsmittel wurden 2 Appel-Dübel \varnothing 65 mm mit einem Abstand untereinander von $d_d + h_d / 2 = 65 + 30/2 = 80$ mm in eine mit $\varphi = 90^\circ$ geneigte 19 cm breite Hirnholzfläche eingebaut. Die Versuchsanordnung und die Körperabmessungen gehen aus Bild 12 (Anlage 12) hervor.

Probekörper Nr. Q 1 bis Q 4:

Bei dieser Prüfung sollte bei Versuchskörpern, welche analog der Reihe J hergestellt waren, der Einfluß der Größe der Unterlagscheiben, welche unter dem Kopf der Sechskantschraube anzuordnen sind, untersucht werden. Der in den übrigen Versuchen benutzten Größe von 58 mm wurden die Durchmesser 40 mm und 24 mm gegenübergestellt. Die Klemmwirkung wurde dabei, wie in Bild 13 (Anlage 13) dargestellt, mittels 1 bzw. 2 Bolzen M 12 aufgebracht.

.//.

Probekörper Nr. R 1 bis R 4:

In dieser Versuchsreihe wurde jeweils 1 Appel-Dübel \emptyset 95 mm in eine um 90° geneigte Hirnholzfläche eingebaut. Zur Erzielung der erforderlichen Klemmwirkung wurden jedoch keine Sechskantschrauben M 12 sondern 4 Bira-Sparrennägel 6,0 x 180, wie in Bild 14 (Anlage 14) dargestellt, verwendet.

Scherkörper Z 1 bis Z 4:

Um das Tragverhalten von Dübeln, welche in Hirnholzflächen eingelassen sind, mit solchen, welche in Seitenholzflächen eingebaut sind, unmittelbar vergleichen zu können, wurden aus dem gleichen Brettschichtholzmaterial, aus welchem auch die Hirnholzprüfkörper hergestellt waren, 4 Scherkörper nach Bild 15 (Anlage 15) hergestellt. Während in die Scherkörper Z 1 und Z 2 jeweils nur 1 Appel-Dübel \emptyset 95 mm pro Seite eingebaut war, waren es bei den restlichen Prüfkörpern 2 hintereinander angeordnete Dübel der gleichen Größe. In allen Fällen betrug der Winkel zwischen Faser- und Kraftrichtung 90° .

Druckproben D 1 bis D 14:

Abschließend wurden 14 Druckproben 4 x 4 x 8 cm aus 14 verschiedenen Längsträgern entnommen, um die Holzeigenschaften des für die Versuche verwendeten Brettschichtholzes bestimmen zu können.

4. Durchführung der Versuche.

Bei der Belastung der Probekörper wurde neben der auf das Verbindungsmittel wirkenden Kraft, welche mit einer 100-kN-Kraftmeßdose gemessen wurde, auch die Verschiebung zwischen den beiden zu verbindenden Trägern gemessen. Dieses erfolgte

mittels 2 induktiven Wegaufnehmern von 10 mm bzw. 50 mm Meßlänge, welche in halber Anschlußhöhe an dem Querträger befestigt waren. Gemessen wurde gegen 2 Beiwinkel, welche auf gleicher Höhe am Längsträger angebracht waren. Die Last-Verschiebungsdiagramme wurden für jeden Versuch mittels X/Y-Schreiber aufgenommen, aus denen die Verschiebungen bis zum Erreichen der Höchstlast entnommen werden konnten. Das Aufbringen der Belastung erfolgte nach Ermittlung der zu erwartenden Bruchlast in einem Vorversuch, nach drei Belastungsverfahren.

Bei dem ersten Verfahren wurden die Probekörper in Stufen von $\frac{1}{4}P$ bis P belastet, wobei bei jeder Laststufe eine Pause von 2 Minuten eingehalten wurde. Anschließend wurde auf $\frac{1}{4}P$ entlastet. Darauf wurden die Prüfkörper wieder über P hinaus bis $2 \times P$ mit den gleichen Laststufen und Wartezeiten beansprucht. Dann erfolgte eine weitere Entlastung auf $\frac{1}{4}P$. Die abschließende Belastung wurde nach Erreichen von $2 \times P$ bis zum Bruch in Stufen von $\frac{1}{4}P$ aufgebracht.

Bei dem zweiten Verfahren wurde die Last von Beginn an bis P kontinuierlich gesteigert. Nach 2 Minuten Wartezeit wurde dann auf $\frac{1}{4}P$ entlastet. Nach weiteren 2 Minuten wurde die Last auf $2 \times P$ gesteigert. 2 Minuten später erfolgte dann eine erneute Steigerung auf $2,5 \times P$ mit wiederum 2 Minuten Wartezeit. Anschließend wurde dann die Last kontinuierlich bis zum Bruch erhöht. Wie aus Bild 16 (Anlage 16) zu ersehen ist, hatten diese unterschiedlichen Versuchsdurchführungen praktisch keinen Einfluß weder auf die Verformungen noch auf die Bruchlast. Bei den später durchgeführten Versuchen wurden dann noch die Wartezeiten nach dem Entlasten auf $\frac{1}{4}P$ und bei $2,5 \times P$ weglassen, was jedoch ebenfalls keinen Einfluß zeigte.

5. Versuchsergebnisse

Bei den durchgeführten Belastungsversuchen, bei denen Ringdübel in Hirnholzflächen angeordnet waren, traten vornehmlich 2 Arten von Brüchen oder Kombinationen davon auf. Bei der ersten Bruchart wurde das Versagen durch Ueberschreiten der Querszugfestigkeit im Längsträger hervorgerufen. Dabei begann der Riß etwas unterhalb der Dübelmittelebene in der Hirnholzfläche, und setzte sich zum eingebauten Formstück, welches zur Klemmwirkung benötigt wird, fort. Anschließend versprang der Riß dann zur Oberseite des Formstücks hin und ging im Längsträger weiter. Aus Bild 17 (Anlage 17) ist ein solcher Querszugrißverlauf ersichtlich. Außerdem ist deutlich die Verschiebungswegmeßvorrichtung zu erkennen. Diese Art des Bruches trat bei Längsträgern geringer Breite - etwa dem für die jeweilige Dübelgröße in DIN 1052, Blatt 2 angegebenen Wert "b" nach Spalte 11 - und bei geringem Abstand des letzten Verbinders vom querbeanspruchten Längsträgerrand auf. Waren sowohl der Längs- als auch der Querträger relativ hoch, d.h. der Abstand zwischen dem Verankerungsbolzen und dem Drehpunkt Längsträger-Querträger war groß, so trat der Bruch ohne große Eindrückung des Längsträgers in den Querträger auf. War der Längsträger jedoch nieder, so traten im Bruchzustand große Eindrückungen - ca. 4 mm - in das Querträgerholz ein. Ein solcher Träger ist nach dem Erreichen des Bruches im auseinandergebauten Zustand in Bild 18 (Anlage 18) gezeigt. Man erkennt deutlich den typischen Querszugriß und die tiefen Eindrückungen in den Querträger. Die Träger mit großen Quereindrückungen erreichten erheblich geringere Bruchlasten als solche, bei denen diese Verformun-

gen nicht auftraten. Waren mehrere Dübel hintereinander in einer Hirnholzfläche angeordnet, so trat der Riß nach dem zuvor beschriebenen Schema stets im Bereich des obersten Dübels auf.

Die zweite Bruchart trat bei Trägern mit großer Querschnittsbreite - etwa dem Wert $2 \times e_d$ nach DIN 1052 Blatt 2 - und großem Abstand des letzten Verbinders vom querbeanspruchten Längsträgerrand auf. Hierbei wurde der Bruch durch Ueberschreiten der Lochleibungsfestigkeit in der Kraftkontaktfläche von Holz und Ringkeildübel ausgelöst. Äußerlich war dabei sowohl an den Längs- als auch an den Querträgern keine Beschädigung festzustellen. Träger mit dieser Bruchart erreichten deutlich höhere Bruchlasten als Träger, welche nach der ersten Bruchart versagten. Bei den durchgeführten Versuchen zeigte es sich, daß sowohl die Anschlußverformungen als auch die maximal erreichten Bruchlasten sehr stark von einigen Parametern wie Trägerbreite, Abstand des Verbindungsmittels vom querbeanspruchten Trägerrand, Abstand des Formstücks bzw. der U-Scheibe von der Hirnholzfläche, Anordnung und Art des verwendeten Klemmittels, Neigung der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenholzflächen, Anzahl der in einem Anschluß sich befindenden Verbinder, Größe der Unterlagscheiben, usw. abhängen. Diese Einflüsse sind nachstehend genauer untersucht. Da sowohl die Verschiebungsgrenze von 1,5 mm als auch die Bruchsicherheit von 2,75 bei nachgiebigen Verbindungen maßgebend werden können, wurde die Auswertung der Versuchswerte wie folgt vorgenommen: Die Bruchlast wurde durch die Sicherheitszahl von 2,75 dividiert und dieser Wert der eine Verschiebung von 1,5 mm verursachenden Last gegenübergestellt. Der kleinere Wert wurde dann als zulässige Belastung des Anschlusses angesehen.

In Tabelle 1 (Anlage 19) sind die Bruchlasten max P, die Lasten P ($\delta = 1,5$ mm) und die maßgebenden Werte zur P zusammengestellt. Hierbei wurden die Kräfte bei Anschlüssen mit mehreren Verbindern bereits auf einen Ringkeildübel umgerechnet, so daß ein unmittelbarer Vergleich der Einzelergebnisse möglich ist.

5.1 Einfluß der Längsträgerbreite und des Verbindungsmittelabstandes vom querbeanspruchten Trägerrand

Da angenommen wurde, daß sowohl die Trägerbreite "b" als auch der Abstand des querbeanspruchten Trägerrandes vom Mittelpunkt des Verbindungsmittels, bzw. bei mehreren Verbindern hintereinander, vom Mittelpunkt des nächstliegenden Verbinders, nachstehend mit " v_D " bezeichnet, einen Einfluß auf die zulässige Belastung des Einzeldübel haben, wurde in einer ersten Versuchsreihe dieser Einfluß ermittelt. Für diese Versuche wurden Ringkeildübel System Appel \emptyset 65 mm verwendet. Die erforderliche Klemmwirkung im Anschluß wurde durch einen in Dübelmitte eingebauten Bolzen M 12 und ein Formteil \emptyset 30 mm bzw. Unterlagscheiben \emptyset 58 mm erreicht. Die Breite "b" variierte zwischen der in DIN 1052, Blatt 2 in Spalte 11 angegebenen Mindestholzbreite $b = 11$ cm und dem 2-fachen Wert $e_{d||} = 14$ cm nach Spalte 12. Der Abstand " v_D " wurde vom halben Wert nach Spalte 11 und dem Maß nach Spalte 12 verändert. In Tabelle 2 (Anlage 20) sind die ermittelten zulässigen Dübellasten in Abhängigkeit von "b" und " v_D " angegeben. Für die untersuchte Dübelgröße kann die zulässige Dübellast für die angegebenen Bereiche von "b" und " v_D " nach der Formel

$$\text{zul P } (\emptyset 65 \text{ mm}) = 3,75 + 0,0576 \cdot b + 0,294 \cdot v_D$$

als brauchbare Näherung angesehen werden. Die Mittelwerte

././.

der einzelnen zulässigen Belastungsgruppen weichen maximal um 5 % von den Werten nach obiger Formel ab. Sie liegen auf einer Ebene welche in Bild 19 (Anlage 21) dargestellt ist. Schreibt man die oben angegebene Gleichung in der allgemeinen Form

$$\text{zul } P (\emptyset) = A + 0,0576 b + 0,294 v_d$$

an und berücksichtigt man die ermittelten zulässigen Lasten der anderen Dübeldurchmesser, so erhält man, wie in Tabelle 3 (Anlage 22) berechnet, für A den Wert

$$A = 3,75 \times d_d / 65.$$

Hierin bedeutet d_d den verwendeten Dübeldurchmesser in mm. Da bei der Auswertung teilweise Dübelanschlüsse herangezogen wurden, bei denen ein zweiter Klemmbolzen außerhalb der Dübelfläche angeordnet war, wurden diese Werte durch 1,4 dividiert, um einen Vergleich mit solchen Anschlüssen zu ermöglichen, bei denen nur 1 Klemmbolzen in Dübelmitte angeordnet war. Die Ableitung des Faktors 1,4 wird später erläutert. Wie beim Vergleich der Rechenwerte mit den erhaltenen Versuchswerten zu sehen ist, liegt die angegebene Formel für die Dübeldurchmesser 95 und 126 mm stets ^{auf} der "sichereren Seite", während sie für kleine Dübeldurchmesser zutreffend ist. Eine Variation der Bereichsgrenzen für die Formel "zul P" kann in Abhängigkeit von der verwendeten Dübelgröße näherungsweise angegeben werden zu

$$1,6 d_d \leq b \leq 4,4 d_d$$

$$0,8 d_d \leq v_d \leq 2,2 d_d$$

Wie aus Tabelle 4 (Anlage 23) hervorgeht, sind diese etwa

.//.

die Mittelwerte der für die verschiedenen Ringkeildübel System Appel ermittelten Verhältnisse der Randabstände zu den jeweiligen Dübeldurchmessern.

5.2 Einfluß der verschiedenen Klemmvorrichtungen

Da, wie sich bei den Versuchen zeigte, die Klemmvorrichtung einen nicht unerheblichen Einfluß auf das Tragvermögen einer Hirnholzverbindung hat - so versagten einige Verbindungen lange bevor sie die Lasten von Anschlüssen mit dem gleichen Verbinder, aber mit anderen Klemnteilen, erreichten - wurde dieser Einfluß genauer untersucht. Dabei wurden die folgenden Klemmvorrichtungen bei einem Verbinder in der Hirnholzfläche geprüft:

- a) 1 mittig angeordnete Sechskantschraube M 12, beidseitig mit runden Unterlagscheiben 58/6 mm versehen.
- b) 1 mittig angeordnete Sechskantschraube M 12, im Längsträger in ein Formstück \varnothing 30 mm eingedreht und an der Kopfseite auf dem Querträger mit einer Unterlagscheibe 58/6 mm versehen
- c) 1 Sechskantschraube M 12 wie unter b), wobei der lichte Abstand zwischen Hirnholzfläche und dem Formstück zwischen 6 cm und 12 cm variiert wurde.
- d) 1 Sechskantschraube M 12 wie unter b) und zusätzlich 1 Sechskantschraube ohne Dübel (z.B. nach Bild 6)
- e) 1 Holzschraube \varnothing 12 mm, mit 12 cm Einschraubtiefe in die Hirnholzfläche.
- f) 1 Holzschraube \varnothing 16 mm, angeordnet wie unter e).

- g) 1 Holzschraube \varnothing 16 mm kombiniert mit einem Fischer-Kunststoffdübel \varnothing 20 mm; der Fischer-Dübel war dabei 9 cm bzw. 12 cm tief in den Längsträger eingelassen.
- h) 1 Sechskantschraube M 12 wie unter b) oder 2 Sechskantschrauben M 12 wie unter d), wobei der Durchmesser der Unterlagscheiben 24 mm, 40 mm und 58 mm betrug.
- i) Klemmvorrichtung bestehend aus 4 Bira-Schraubnägeln 6 x 180 mm. Die Einschlagtiefe in dem Holz des Längsträgers betrug 8 cm.

Der Vergleich zwischen den unter a) und b) beschriebenen Varianten ergab für den Ringkeildübel \varnothing 65 mm keinen Unterschied der Bruchlasten. Die Verschiebungen waren bei der Variante b) teilweise etwas größer, jedoch können die beiden Klemmvorrichtungen, welche bei 3 von 4 Versuchen - und hierbei handelte es sich um die minimal erreichten zulässigen Belastungen - die gleichen zulässigen Werte erreichten, als gleichwertig angesehen werden. Bei diesen 8 Versuchen betrug der lichte Abstand " l_f " zwischen dem Formstück bzw. der Unterlagscheibe und der Hirnholzfläche 12 cm. In der Reihe c) dagegen wurde dieser Abstand stufenweise bis auf 6 cm verkürzt. Die dabei festgestellten Werte zur P und die erhaltene Abminderung sind aus Bild 20 (Anlage 24) ersichtlich. Der Abminderungsfaktor kann nach der Gleichung

$$k(l_f) = 1 + 0,04(l_f - 12)$$

berechnet werden. In dieser Formel ist l_f in cm einzusetzen. Der Bereich, für den diese Gleichung als zutreffend angesehen werden kann, ist durch

$$2 d_f \leq l_f \leq 4 d_f$$

begrenzt, wobei d_f der Durchmesser des Formstücks ist.

.//.

Dieser wurde bei den Versuchen zu $2,5 \times d_b$ gewählt, mit d_b als dem Durchmesser der verwendeten Sechskantschraube. In der Reihe d) wurde der Einfluß eines zusätzlichen Klemmbolzens untersucht. Die Auswertung der Versuchsergebnisse ist in Tabelle 5 (Anlage 25) gegeben. Wie daraus hervorgeht, erhöht ein zusätzlich außerhalb des Dübels angeordneter Klemmbolzen bei praktisch allen Dübelgrößen die Tragfähigkeit eines Einzeldübels im Mittel um ca. 40 %. Für solche Anschlüsse könnte gegenüber dem "normalen" Anschluß mit einem mittig angeordneten Bolzen die Tragfähigkeit um den Faktor

$$k_{ZB} = 1,4 \quad (ZB = \text{Zusatzbolzen})$$

erhöht werden.

Um die unter e), f) und g) aufgeführten Versuche mit den unter a) und b) durchgeführten vergleichen zu können, wurden alle Versuche der zuvor genannten Reihen auf einen einheitlichen Querschnitt, welcher durch $b = 11 \text{ cm}$ und $v_d = 14 \text{ cm}$ gekennzeichnet ist, umgerechnet. Anschließend wurden in Tabelle 6 (Anlage 26) die erreichten zulässigen Belastungen der verschiedenen Versuche, bei denen als Verbinder ein Appel-Ringkeildübel $\emptyset 65 \text{ mm}$ eingebaut war, einander gegenübergestellt. Wie aus dieser Aufstellung ersichtlich, war zwischen den jeweils 12 cm tief eingedrehten Holzschrauben $\emptyset 12 \text{ mm}$ und $\emptyset 16 \text{ mm}$ kein Unterschied feststellbar. Allerdings erreichten diese Versuche nur ca. 83 % der zulässigen Belastung der Anschlüsse mit Bolzen M 12 und Formstücken. Bei den Versuchsreihen mit zusätzlich eingebrachten Fischer-Dübeln $\emptyset 20 \text{ mm}$ gingen diese Werte auf 58 % bei 9 cm Einstecktiefe und auf 68 % bei 12 cm Einstecktiefe zurück. Wie zu erwarten war, brachten die Kunststoffdübel nicht so hohe Verzahnungs-

kräfte auf, wie sie bei der Verzahnung des Metallgewindes der Holzschrauben mit dem Holz aufgenommen werden konnten. Bei allen Versuchskörpern, bei denen kein Gegenstück zur Aufnahme der Klemmkraft benutzt wurde, trat bei Erreichen der Höchstlast ein plötzliches Versagen ein, welches dadurch ausgelöst wurde, daß die Haftung des Klemmittels schlagartig versagte, worauf sich der Anschluß lockerte, so daß zwischen den beiden zu verbindenden Holzteilen ein großer Spalt auftrat, so daß der Verbinder nicht mehr voll wirksam bleiben konnte. Die unter h) und i) aufgeführten Versuche wurden mit jeweils einem Appel-Dübel \varnothing 95 mm durchgeführt. In Tabelle 7 (Anlage 27) sind die erhaltenen zul P-Werte zusammengestellt. Der Vergleich mit Anschlüssen, bei denen als Klemmittel ein mittig angeordneter Bolzen M 12 mit Formstück bzw. ein Bolzen plus einem Zusatzklemmbolzen und Unterlagscheiben \varnothing 58 mm zur Anwendung kamen, zeigt, daß bei kleineren Unterlagscheiben eine geringfügige Abnahme der aufnehmbaren zulässigen Belastung, welche jedoch innerhalb des Streubereiches der Vergleichsanschlüsse lag, auftritt. Die Hirnholzanschlüsse, die mit Bira-Schraubnägeln gesichert waren, erreichten die gleichen zulässigen Lasten, wie die Anschlüsse, bei denen 1 Sechskantschraube M 12 als Klemmvorrichtung eingebaut war.

5.3 Einfluß des Verbindungsmittelabstandes bei Anordnung von zwei Dübeln hintereinander

Bei dieser Versuchsreihe, bei der ein konstanter Randabstand v_d des dem querbeanspruchten Trägerrand nächstliegenden Dübels von 7,5 cm eingehalten wurde, waren 2 Ringkeildübel System Appel \varnothing 95 mm mit zwischen 11 cm und 22 cm variierendem Verbindungsmittelabstand angeordnet. Wie aus Bild 21

(Anlage 28) hervorgeht, bewirkt eine Vergrößerung des Verbindungsmittelabstandes keine nennenswerte Steigerung der zulässigen Last. Für die praktische Bemessung kann eine Unabhängigkeit der zulässigen Belastung vom Verbindungsmittelabstand angenommen werden, wenn $e_d \perp$ mindestens $d_d + h_d/2$ beträgt.

5.4 Einfluß der Anzahl der in Kraftrichtung hintereinander angeordneten Verbinder

Bei den hierfür vorgesehenen Probekörpern wurden Appel-Dübel \emptyset 95 mm eingebaut. Der Randabstand v_d betrug 7,5 cm, der Abstand der Verbinder untereinander 11 cm. Geprüft wurden Anschlüsse mit 5,3 und 2 Dübeln hintereinander. Die Klemmbolzen M 12 waren dabei mittig im Dübel angeordnet. Die Ergebnisse gehen aus Bild 22 (Anlage 29) hervor. Wie man aus dem Diagramm entnehmen kann, erreichten die Ringkeildübel bei 3 bzw. 5 hintereinander angeordneten Verbindern praktisch den gleichen zulässigen Wert für die zulässige Dübeleinzellast. Bei diesen Anschlüssen war die Klemmwirkung, bedingt durch den großen Hebelarm zwischen dem untersten und dem obersten Klemmbolzen im Längsträger, so gut, daß selbst im Bruchzustand die Fuge zwischen den beiden Trägern nicht klaffte. Bei nur 2 hintereinander angeordneten Ringkeildübeln öffnete sich diese Fuge unter sehr großer Belastung bereits, was sich in einer etwas niedrigeren zulässigen Last bemerkbar machte. Betrachtet man im Vergleich dazu einen Anschluß mit nur einem Ringkeildübel und einem mittig eingebauten Klemmbolzen, so stellt man eine weitere Abminderung in dem Tragvermögen fest. Ist jedoch auch bei nur einem Dübel durch einen weiteren Klemmbolzen eine genügend gute Klemmung der Einzelteile gesichert, so erhält

man eine höhere zulässige Belastung als bei mehreren hintereinander angeordneten Verbindern. Geht man von einer zulässigen Einzeldübelbelastung bei einem Dübel mit zusätzlichem Klemmbolzen von 12,5 kN aus, so wäre bei 3 bzw. 5 hintereinander angeordneten Verbindern eine Abminderung von ca. 12 % gegenüber diesem Ausgangswert anzunehmen. Setzt man als Grundwert bei einem Appel-Dübel \varnothing 95 mm jedoch 8,9 kN an, so könnten für 3 bzw 5 Dübel um 23 % höhere Belastungen als zulässig angesehen werden. Für die statische Berechnung könnte der Faktor k_{Ah} , welcher die Anzahl der hintereinanderliegenden Dübel berücksichtigen soll, zu

$$k_{Ah} = 1,0 \quad \text{für} \quad 1 \text{ oder } 2 \text{ Dübel und}$$

$$k_{Ah} = 1,2 \quad \text{für } 3, 4 \text{ oder } 5 \text{ Dübel}$$

angenommen werden.

5.5 Einfluß der Anzahl der nebeneinander angeordneten Dübel

Bei diesem Einflußfaktor sollte festgestellt werden, ob bei einer zweireihigen Dübelanordnung die gleichen zulässigen Werte wie bei nur einer Dübelreihe zugelassen werden können. Die Versuchskörper waren so ausgeführt, daß v_d und der Abstand Dübelmitte zum Seitenrand gleich dem in DIN 1052, Blatt 2 nach Spalte 11 erlaubten Mindestwert waren, was auch in den zuvor beschriebenen Versuchen die unterste Schranke darstellte. Der Dübelabstand untereinander setzte sich zusammen aus dem Dübeldurchmesser plus der halben Dübelhöhe, da die Dübel nicht gegeneinander versetzt angeordnet waren. Wie man aus Tabelle 8 (Anlage 30) ersieht, war bei zweireihiger Dübelung bei den zuvor genannten Mindestholzabmessungen, eine Abminderung von ca. 14 % in der Trag-

fähigkeit zu beobachten. Der Faktor k_{An} , welcher die Dübelanordnung nebeneinander berücksichtigt, müßte somit zu

$k_{An} = 1$ bei einreihiger Dübelung und

$k_{An} = 0,86$ bei zweireihiger Dübelung

angenommen werden.

5.6 Einfluß der Neigung der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenholzflächen

In diesen Versuchsreihen wurden Anschlüsse mit nur 1 Appel-Dübel \varnothing 65 mm bzw. \varnothing 95 mm als Verbinder und solche mit 3 und 5 Appel-Dübeln \varnothing 95 mm bei Anordnung hintereinander mit dem Neigungswinkel φ der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenholzflächen von 90° , 75° , 60° und 45° (die Restwinkel betragen dabei 0° , 15° , 30° und 45°) miteinander bezüglich ihres Tragvermögens verglichen. Wie aus Tabelle 9 (Anlage 31) hervorgeht, konnte im allgemeinen eine leichte Zunahme der zulässigen Belastung mit kleiner werdendem Winkel φ beobachtet werden. In Bild 23 (Anlage 32) sind die aus den einzelnen Versuchsreihen erhaltenen Werte dividiert durch den Wert bei $\varphi = 90^\circ$ aufgetragen. In diesem Diagramm ist für $\varphi = 0^\circ$ der nach DIN 1052, Blatt 2 für Anordnung von 1 oder 2 Dübeln im Seitenholz für Dübel \varnothing 95 mm zulässige Wert von 12,5 kN eingesetzt. Geht man von der zulässigen Last pro Dübel bei $\varphi = 90^\circ$ aus, so kann man mit der Beziehung

$$k_w = \frac{1}{\sin^2 \varphi + \frac{\text{zul P} (\varphi = 90^\circ)}{\text{zul P} (\varphi = 0^\circ)} \cdot \cos^2 \varphi}$$

den Einfluß des Neigungswinkels φ erfassen.

.//.

Das Bruchbild war bei allen geneigten Hirnholzflächen das gleiche wie beim rechtwinkligen Schnitt. In Bild 24 bis 26 (Anlagen 33 bis 35) ist ein Probekörper mit $\varphi = 60^\circ$ (Restwinkel = 30°) und 5 Appel-Dübeln \varnothing 95 mm hintereinander, unter der Prüfanlage dargestellt. Wie man sieht, war auch hier die maximale Beanspruchung im Bereich des obersten Dübels bruchauslösend.

5.7 Dübel im Seitenholz im Vergleich zur Anordnung im Hirnholz

Um die Ergebnisse der Hirnholzversuche mit den in DIN 1052, Blatt 2 für Dübel im Seitenholz angegebenen zulässigen Dübelbelastungen vergleichen zu können, wobei abweichend von der üblichen Anordnung die Dübellast sowohl im Mittel- als auch im Seitenholz senkrecht zur Faserrichtung eingeleitet wird, wurde an 4 Scherkörpern für diese Beanspruchungsart die zulässige Last nach der zuvor beschriebenen Methode ermittelt. Da die Werte in DIN 1052 für 1 und 2 Dübel gelten, wurden Scherkörper mit einem und zwei Dübeln \varnothing 95 mm pro Seite hergestellt und geprüft. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 10 (Anlage 36) zusammengestellt. Wie hieraus hervorgeht ergab das Mittel aus allen 4 Versuchen genau den in der DIN angegebenen zulässigen Wert, wobei die Scherkörper mit einem Dübel pro Seite etwas günstiger, diejenigen mit 2 Dübeln pro Seite etwas ungünstiger lagen. Die Verschiebung von 1,5 mm trat bei allen 4 Versuchen erst bei der 1,5 bis 2,0-fachen zulässigen Last auf. Eine Uebernahme des zulässigen DIN-Wertes in die Auswertung im Abschnitt 5.6 erscheint somit gerechtfertigt.

.//.

5.8 Holzeigenschaften

In Tabelle 11 (Anlage 37) sind die Druckfestigkeiten, Rohdichten und der beim Versuch im Brettschichtholz vorhandene Feuchtigkeitsgehalt, ermittelt an 14 Proben, zusammengestellt. Während die Holzfeuchtigkeit mit im Mittel 11,3 % eine nach der vorausgegangenen Lagerung verhältnismäßig geringe Streuung aufwies, traten bei der Druckfestigkeit und der Rohdichte erhebliche Abweichungen vom Mittelwert auf. Dies deutet darauf hin, daß das verwendete Brettschichtholz wie üblich aus Lamellen bestand, die je nach ihrer Lage im Stamm sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können. Nach den festgestellten Werten kann das Brettschichtholz als mittlere Güte bezeichnet werden.

6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurden innerhalb von gewissen Bereichsgrenzen für die Breite b des Längsträgers und den Randabstand v_d zulässige Belastungen für Ringkeildübel Bauart Appel bei Anordnung der Verbinder in den Hirnholzflächen durch Versuche ermittelt. Hierbei bestanden die Klemmvorrichtungen in der Regel aus einem Bolzen M 12 und runden Unterlagsscheiben 58/6 mm oder aus einem Formstück \emptyset 30 mm, das anstelle der Unterlagscheibe und der Mutter im anzuschließenden Träger parallel zur Hirnfläche angeordnet war. Neben der lichten Länge l_f zwischen der Hirnholzfläche und dem Formstück bzw. der Unterlagscheibe wobei bei den Ausgangsversuchen $l_f = 12$ cm betrug, und dem Einbau eines zusätzlichen Klemmbolzens bei nur einem Verbinder pro Scherfläche, hatten die Anzahl der hintereinander angeordneten Dübel und der nebeneinander angeordneten Dübelreihen sowie

der Neigungswinkel der Hirnholzfläche im Bezug auf die Seitenholzfläche einen spürbaren Einfluß auf die erreichten Dübellasten. Allgemein kann die zulässige Belastung eines Dübels aufgrund der Versuchsergebnisse nach der Formel:

$$\text{zul } P = \text{zul } P_o \cdot k(l_f) \cdot k_{ZB} \cdot k_{Ah} \cdot k_{An} \cdot k_w \quad \text{in kN}$$

berechnet werden.

Hierin bedeuten:

$$\text{zul } P_o = 3,75 \frac{d_d}{65} + 0,0576 b + 0,294 v_d \quad \text{in kN}$$

mit d_d = Dübeldurchmesser in mm

b = Breite des Trägers in dem die Hirnholzdübel eingebaut sind, in cm

v_d = Abstand des querbeanspruchten Trägerrandes von der Mitte des letzten Dübels in cm

$$k(l_f) = 1 + 0,04 (l_f - 12)$$

mit l_f als lichtem Abstand der Hirnholzfläche vom Klemmformteil in cm

$$k_{ZB} = 1,4$$

bei Anordnung eines Dübels und eines Zusatzbolzens außerhalb der Dübelfläche. Bei Anschlüssen mit mehr als einem Verbinder ist $k_{ZB} = 1$ zu setzen!

$$k_{Ah} = 1,0$$

bei 1 oder 2 Dübeln hintereinander und
= 1,2 bei 3, 4 oder 5 Dübeln hintereinander

$$k_{An} = 1$$

bei einreihiger Dübelung und
= 0,86 bei 2 Dübelreihen nebeneinander

$$k_w = \frac{1}{\sin^2 \varphi + \frac{\text{zul } P(\varphi = 90^\circ)}{\text{zul } P(\varphi = 0^\circ)} \cdot \cos^2 \varphi}$$

mit $\text{zul } P(\varphi = 0)$ gleich dem in DIN 1052, Bl.2 Tabelle 1 Spalte 17 angegebenen Wert

$\text{zul } P(\varphi = 90^\circ) = \text{zul } P_o$ (siehe oben)

Für die normale Ausführung mit Sechskantschrauben M 12 und Unterlagscheiben 58/6 mm oder 50/6 mm bzw. mit Formstück \varnothing 30 mm, einen Abstand zwischen der Hirnholzfläche und der Unterlagscheibe bzw. dem Formstück von 12 cm und bei einreihiger Dübelanordnung ergeben sich für die Mindestträgerbreite b nach DIN 1052, Bl. 2 Spalte 11 und einen Randabstand $v_d = b/2$ für die untersuchten Dübelgrößen 65 mm, 95 mm und 126 mm die in Tabelle 12 zusammengestellten zulässigen Belastungen.

Dübel System Appel	Mindest- breite	Mindest- randab- stand	zul P_0 bei 1 od.2 Dübeln hinterein- ander	zul P_0 bei 3,4 od.5 Dübeln hinterein- ander
\varnothing [mm]	b [cm]	v_d [cm]	[kN]	[kN]
65	11	5,5	6,0	7,2
95	15	7,5	8,5	10,2
126	20	10	11,4	13,7

Tabelle 12: Zulässige Belastung für Appel-Dübel \varnothing 65, 95 und 126 mm bei Anordnung in rechtwinklig zur Trägerachse stehenden Hirnholzflächen, unter Berücksichtigung der Mindestholzabmessungen.

Ist die Hirnholzfläche gegenüber den Seitenholzflächen zwischen 45° und 90° geneigt, so ergibt sich gegenüber dem Wert $zul P_0$, welcher für 90° Neigung gültig ist, eine Steigerung der zulässigen Belastbarkeit. Zur Vereinfachung der erforderlichen Tragfähigkeitsberechnung kann jedoch auch in diesem Falle mit dem Wert $zul P_0$ gerechnet werden.

Neben den untersuchten Faktoren müßten nun noch Werte für den Einfluß von Klimawechseln bzw. der Langzeitbelastung untersucht werden. Laufende Versuche, welche diese Parameter bei Quersugbeanspruchungen erforschen sollen, sind jedoch noch nicht abgeschlossen, so daß hierüber auf später erscheinende Berichte hingewiesen werden muß.

7. Literaturangabe

- [1] AITC: Timber Construction Manual, second edition, 1974.
John Wiley and Sons, Inc., New York-London-Sydney-Toronto
- [2] Möhler K. und Ehlbeck J. : Versuche über das Trag- und Formänderungsverhalten von Ringkeildübelverbindungen in Brettschicht-Hirnholz-Anschlüssen. Bauen mit Holz, Heft 9/1971
- [3] Longworth J.: Behavior of Shear Plate Connections in Sloping Grain Surfaces. Forest Products Journal, Vol. 17, No.7, Juli 1967, S. 49/53
- [4] NFPA National Design Specification for Wood Construction. 1977 Edition. Recommended Practice for Structural Design by National Forest Products Association.

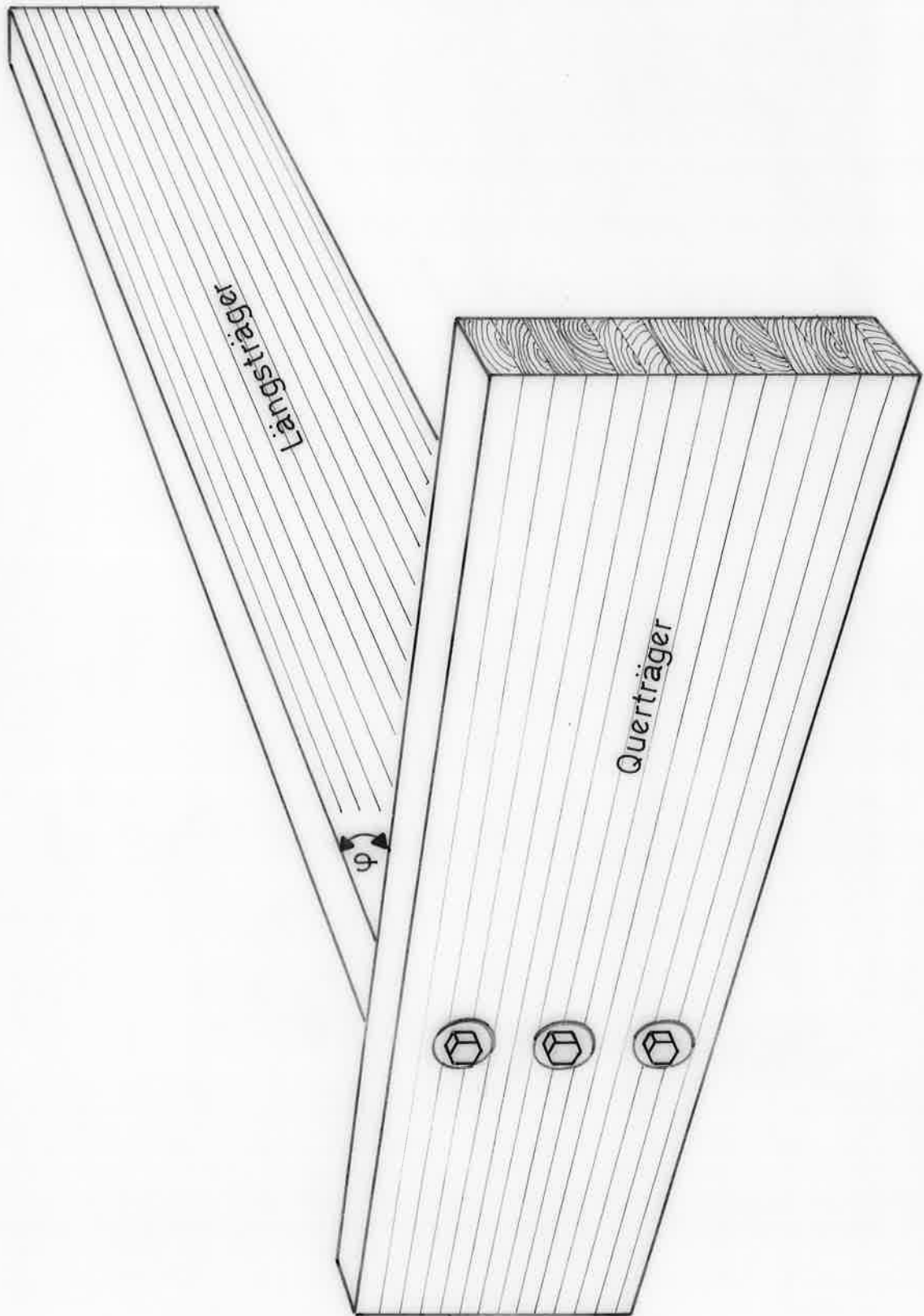
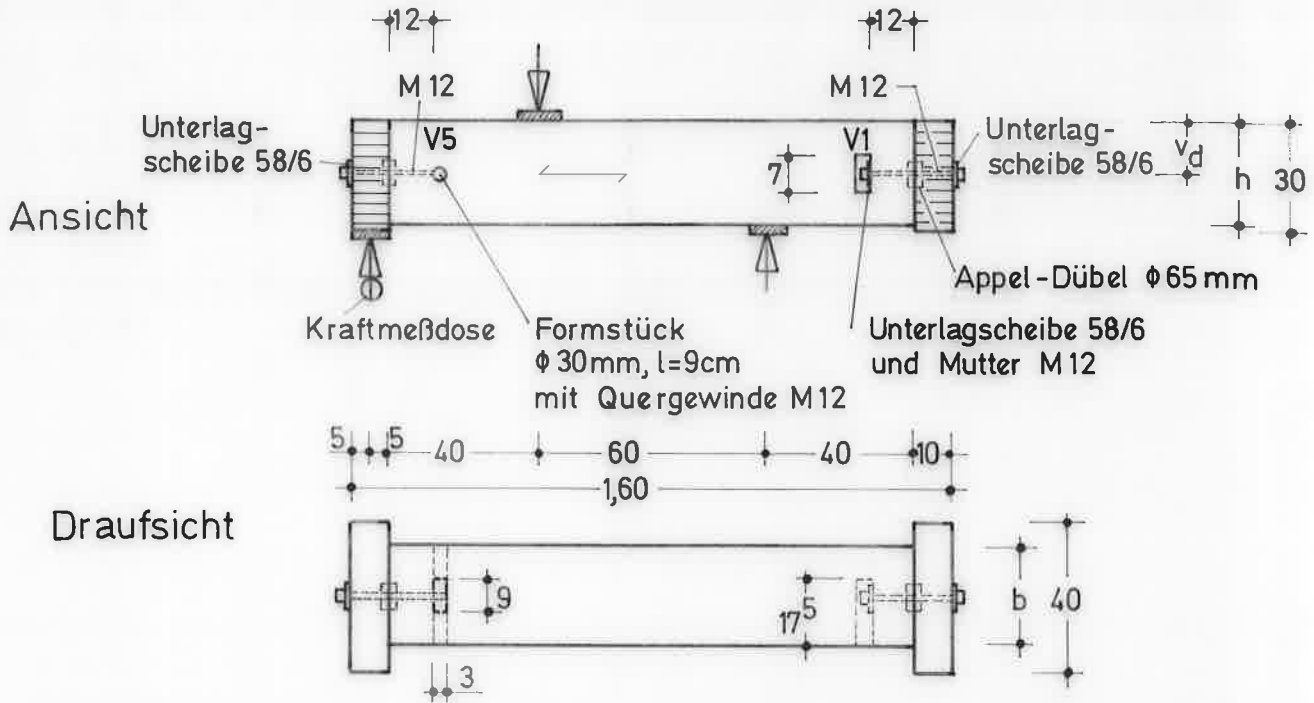
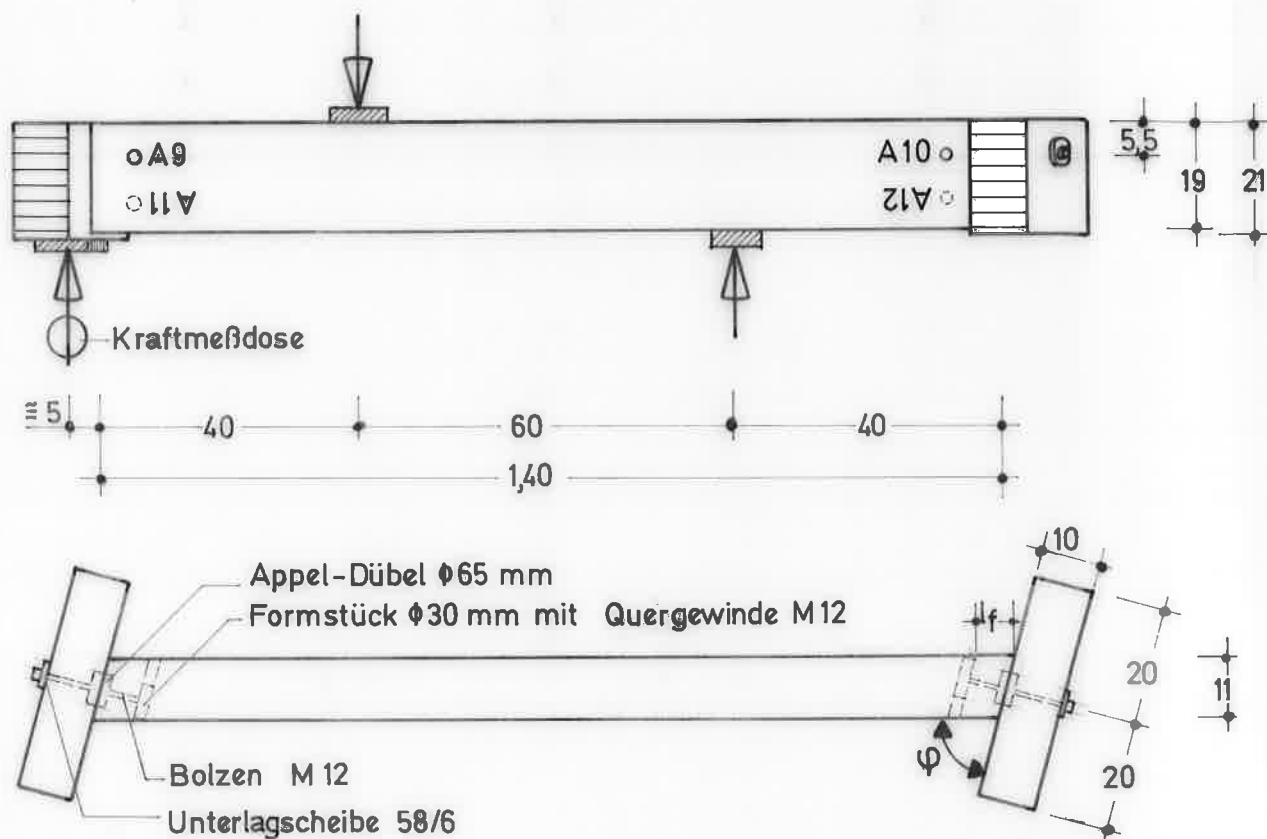


Bild 1: Anschluß von zwei Brettstichträgern mittels Hirnholzdübeln und Definition des Winkels φ



Prüf- körper Nr.	Klemm- vorrichtung	b	h	v _d	Prüf- körper Nr.	Klemm- vorrichtung	b	h	v _d
V1	Bolzen M12 mit je einer Unterlag- scheibe 58/6 mm vorn und hinten	28	28	14	V13	wie bei V5 ÷ 8	20	28	14
V2					V14				
V3					V15				
V4					V16				
V5	wie zuvor, aber Ersatz der Unter- lagscheibe im Längs- träger durch ein Formstück	28	28	14	V17		11	20	10
V6					V18				
V7					V19				
V8					V20				
V9	Holzschraube Ø12 mm, 12cm tief in den Längsträger eingedreht	28	28	14	V21	20	11	5,5	
V10					V22				
V11					V23				
V12					V24				

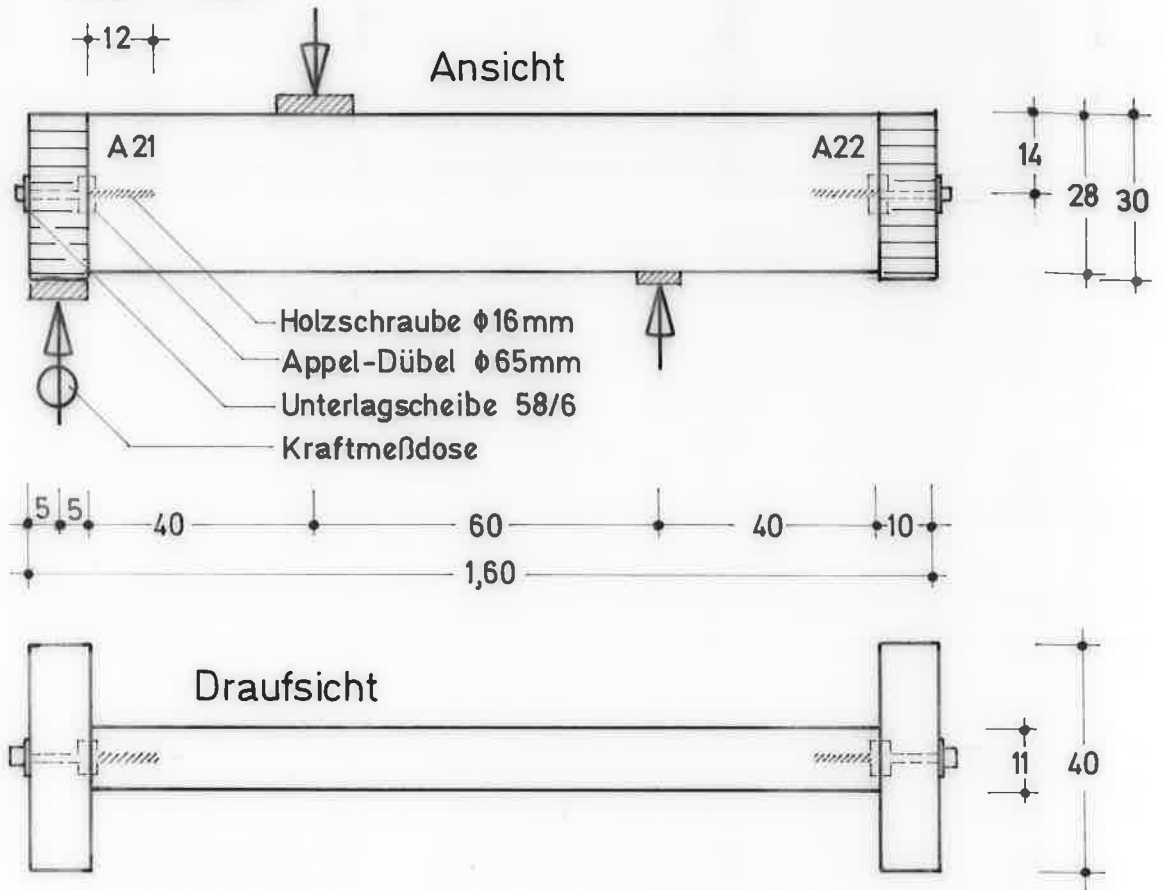
Bild 2: Beschreibung der Prüfkörper V1 bis V24



Prüfkörper-Nr.	φ [°]	l_f [cm]	Prüfkörper-Nr.	φ [°]	l_f [cm]
A9	75	11,8	A15	60	6,0
A10		11,9	A16		6,0
A11		6,1	A17	45	7,2
A12		6,2	A18		6,8
A13	60	6,4	A19		6,8
A14		6,2	A20	6,5	

Bild 4: Prüfkörper A9 bis A20

A21- A24



A25 - A28

A29 - A32

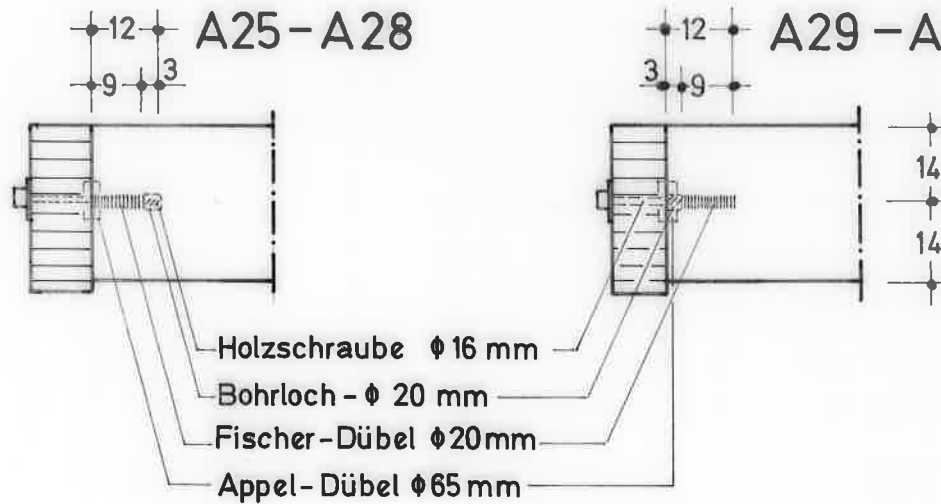
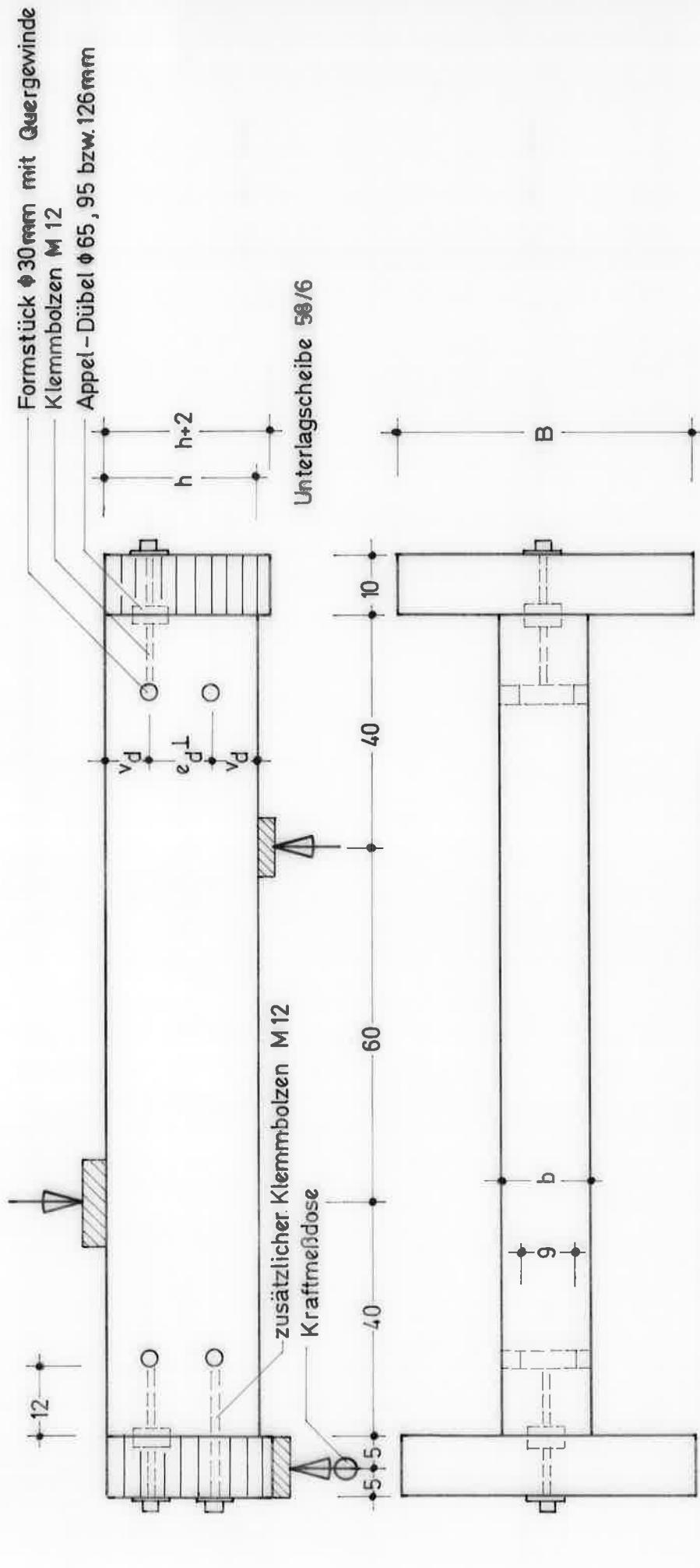
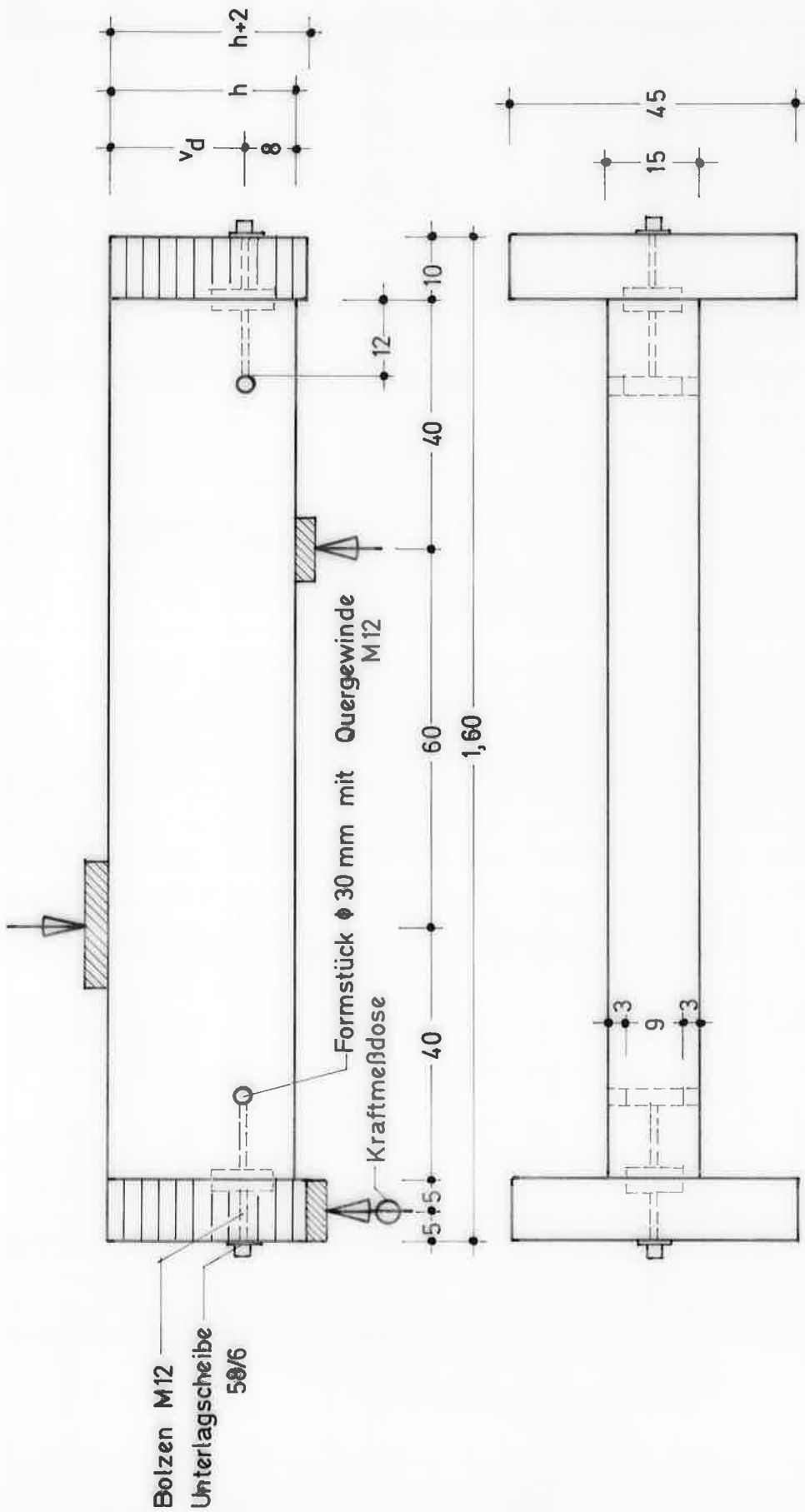


Bild 5: Prüfkörper A21 bis A32



Prüfkörper-Nr.	b	h	v_d [cm]	e_d	B	Dübel- ϕ [mm]	Anzahl der Klemmbolzen
H 1-8	11	19	5,5	8	40	65	2
J 1-8	15	26	7,5	11	45	95	2
K 1-3 + K 7	20	35	10	15	50	126	2
K 4-6 + K 8							1

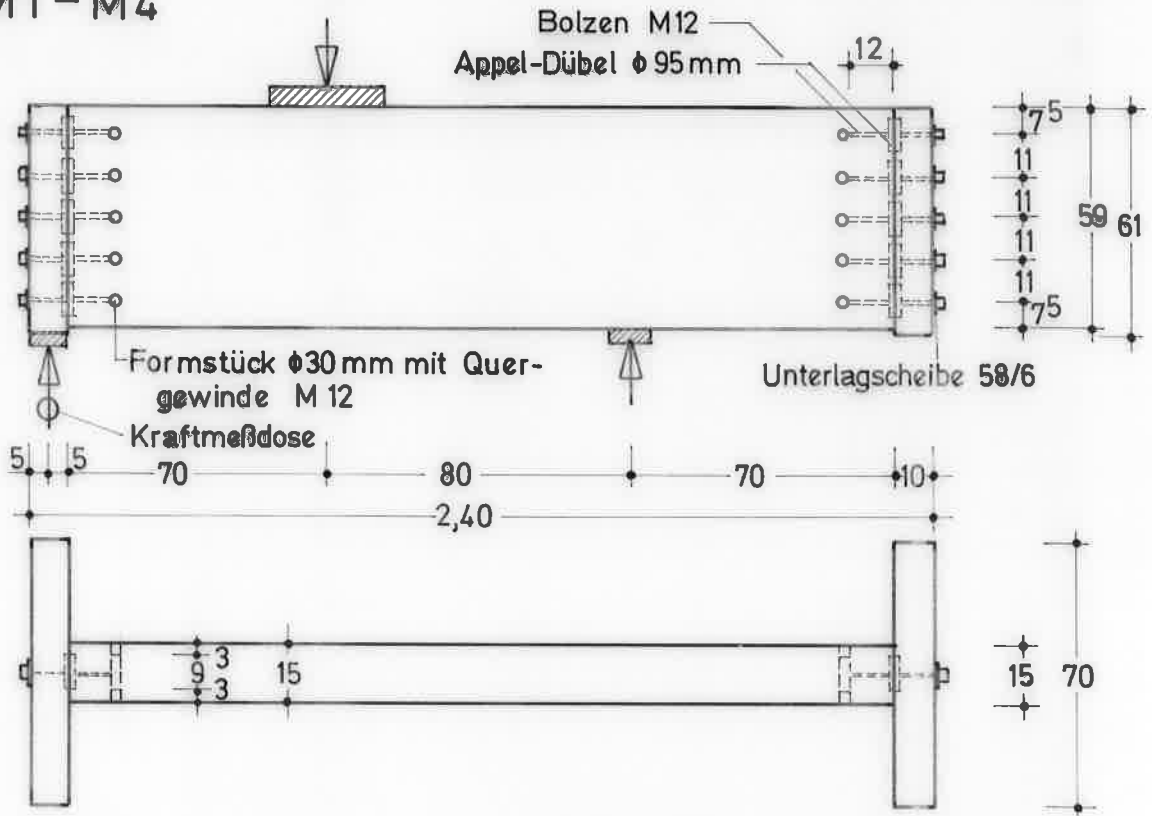
Bild 6: Prüfkörper der Reihen H, J und K



Prüfkörper-Nr.	v_d	h
L1-4	12	20
L5-6	17	25
L7-10	22	30
L11-12	27	35

Bild 7: Prüfkörper L1 bis L12

M1 - M4



M5 - M8

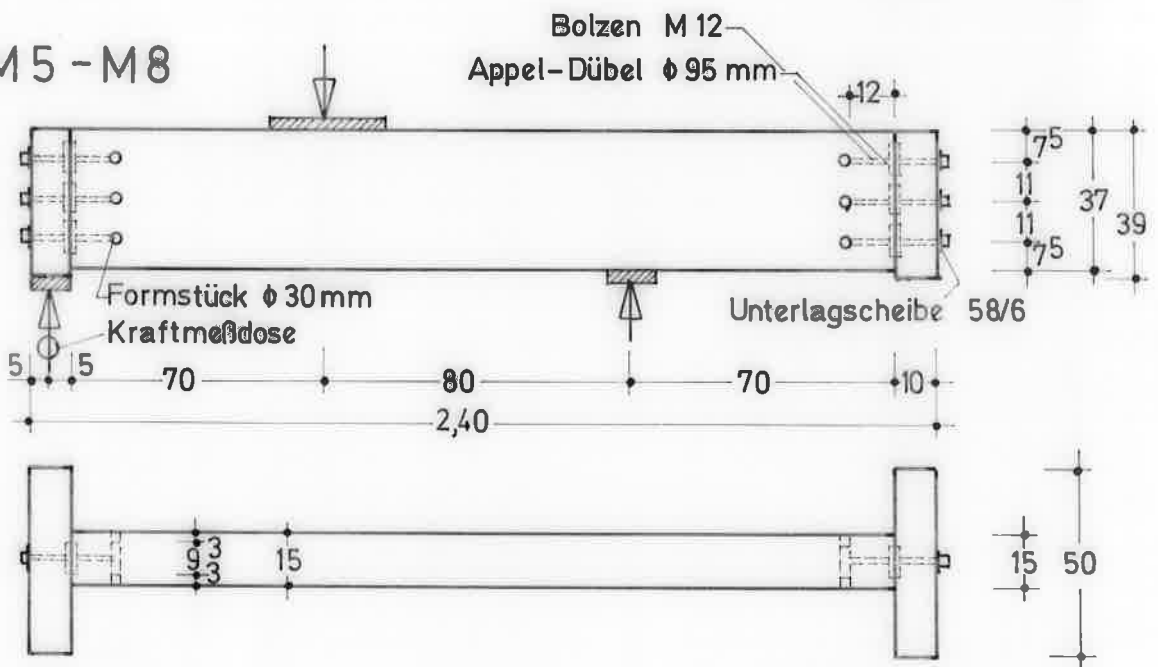
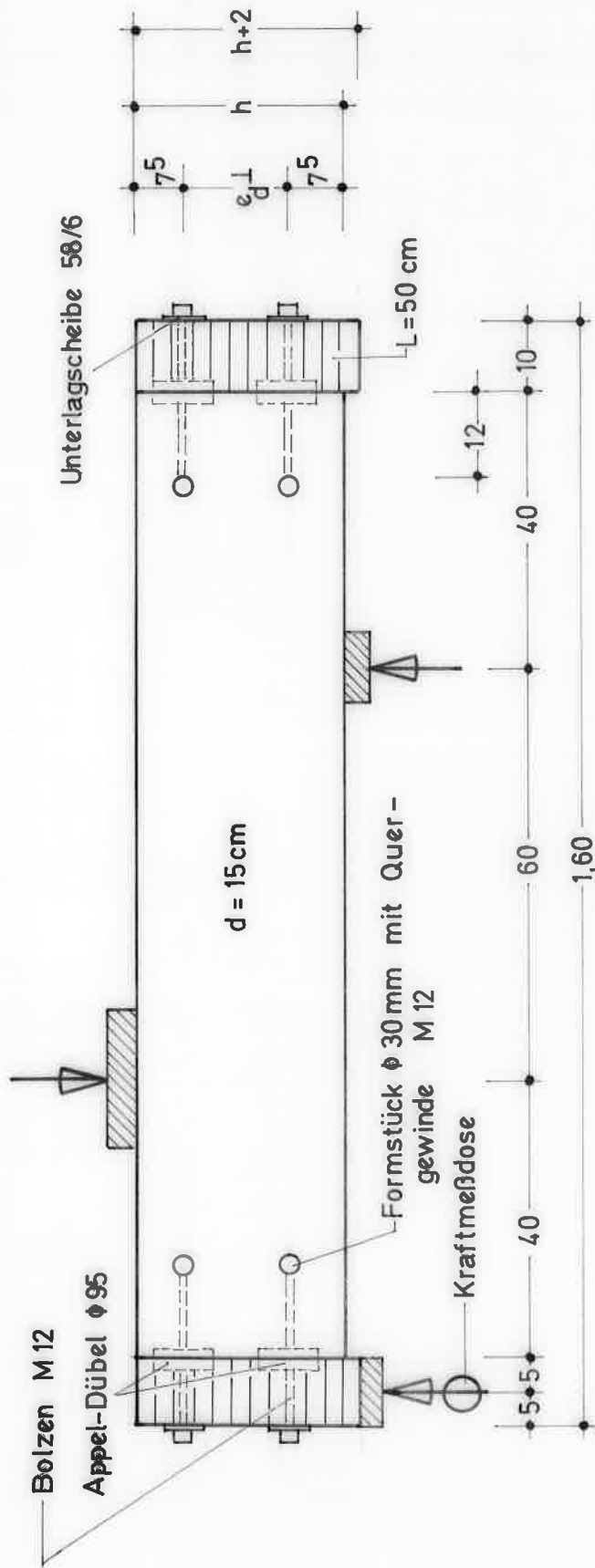
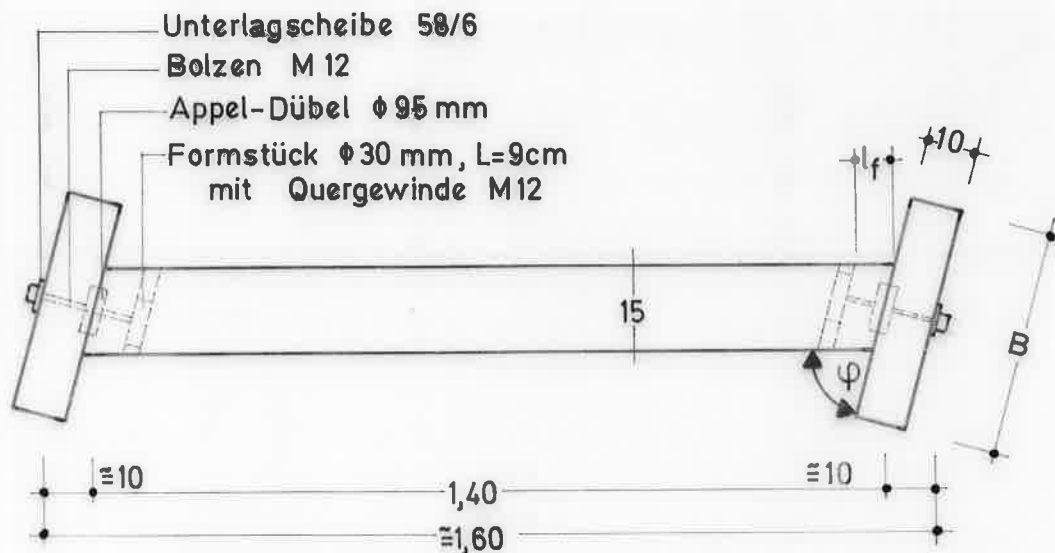


Bild 8: Prüfkörper M1 bis M8



Prüfkörper - Nr.	N 1 - 4	N 5 - 6	N 7 - 8	N 9 - 12
$e_{d\perp}$ [cm]	11	15	18	22
h [cm]	26	30	33	37

Bild 9: Prüfkörper N 1 bis N 12



Prüfkörper Nr.	Anzahl der hintereinander angeordneten Dübel	$e_d^{+)}$	$v_d^{++)}$	l_f	B	φ
				[cm]		[°]
0 1				8,5		75
0 2	5	11	7,5	8,5	70	60
0 3				6,5		45
0 4				8,5		75
0 5	3	11	7,5	8,5	50	60
0 6				6,5		
0 7						
0 8 ⁺⁺⁺⁾	1	—	7,5	8,5	45	75
0 9						
0 10 ⁺⁺⁺⁾						
0 11						
0 12 ⁺⁺⁺⁾	1	—	7,5	8,5	45	60
0 13						
0 14 ⁺⁺⁺⁾						
0 15						
0 16 ⁺⁺⁺⁾	1	—	7,5	6,5	45	45
0 17						
0 18 ⁺⁺⁺⁾						

+) = Abstand der Dübel untereinander

++) = s. Bild 6

+++) = Anordnung eines zusätzlichen Klemmbolzens nach Bild 6

Bild 10: Prüfkörper 01 bis 018

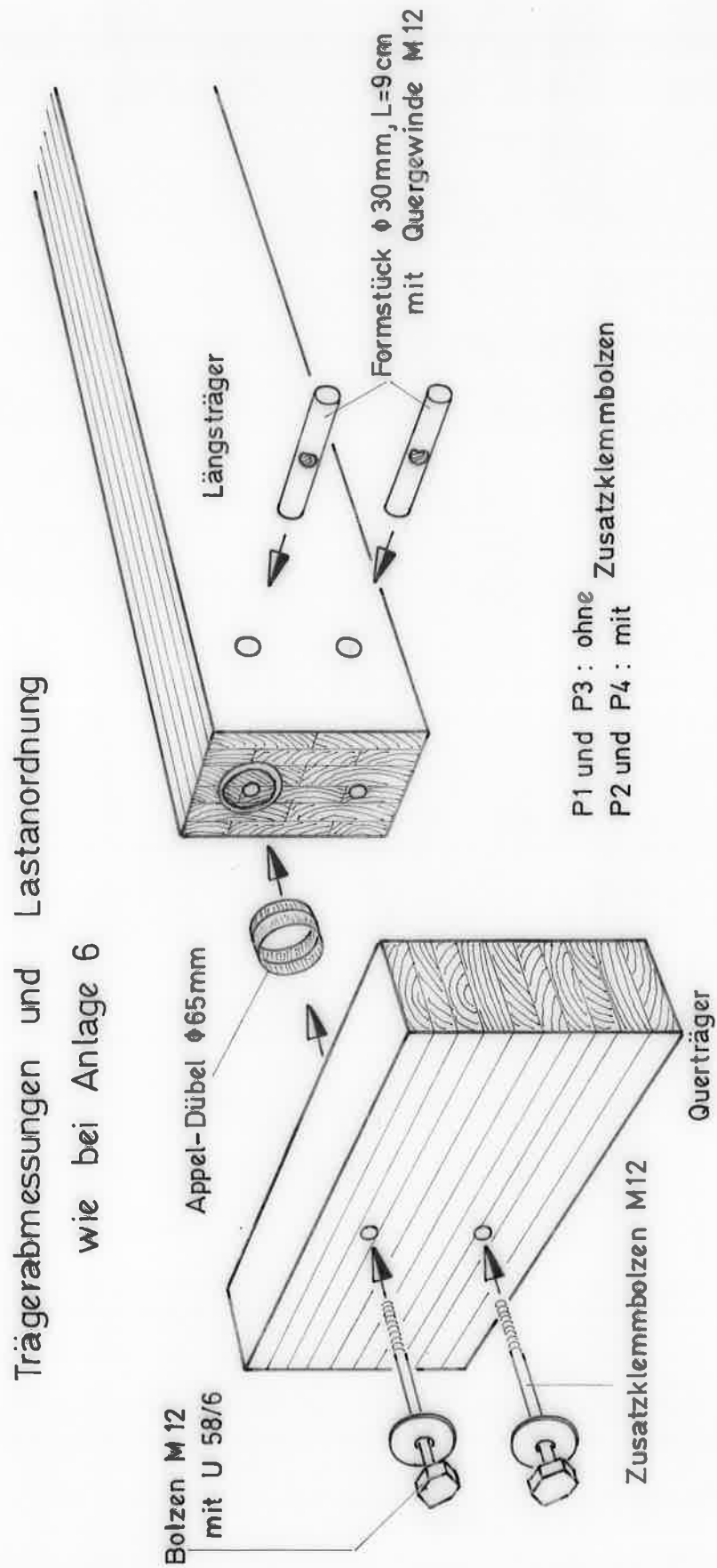


Bild 11: Prüfkörper P1 bis P4

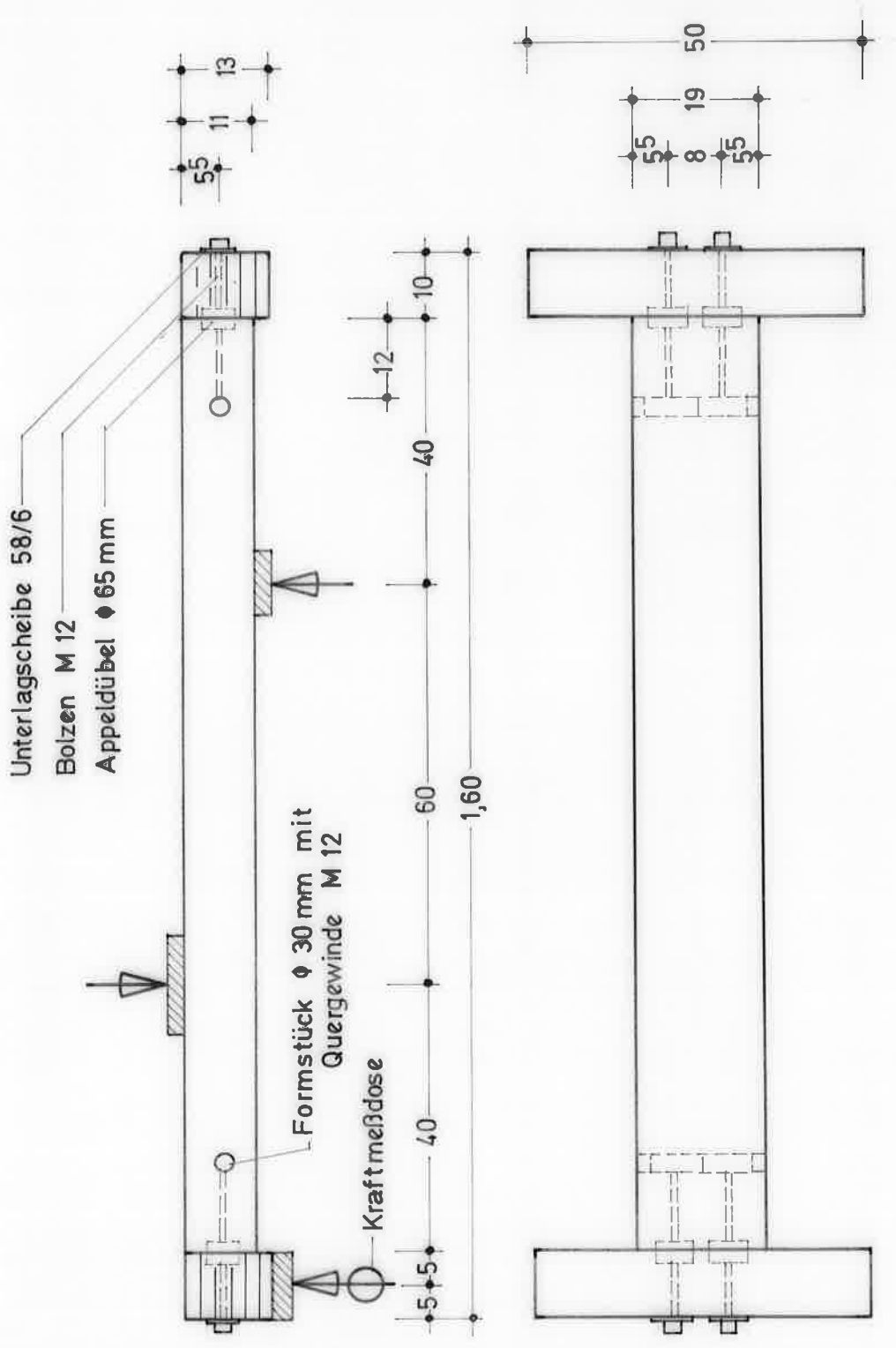
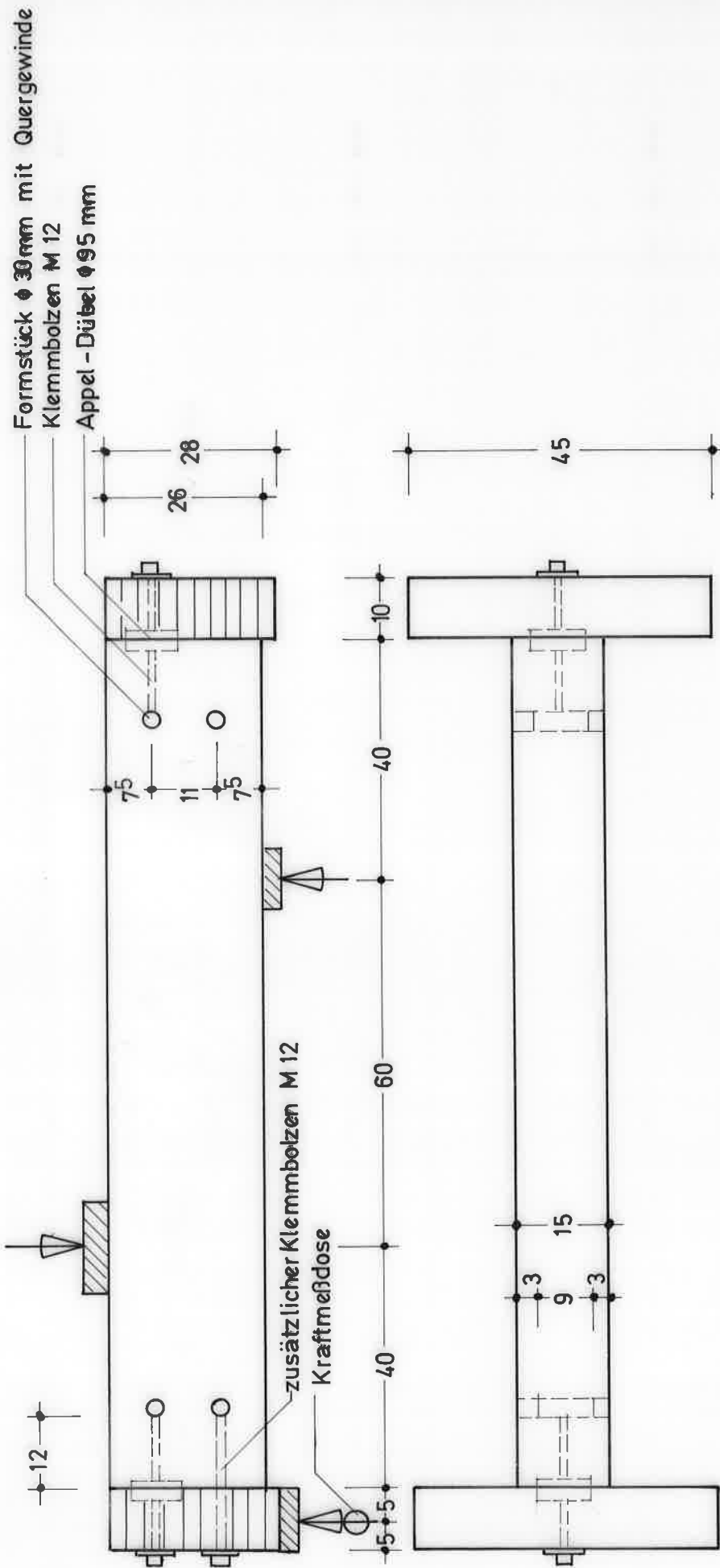
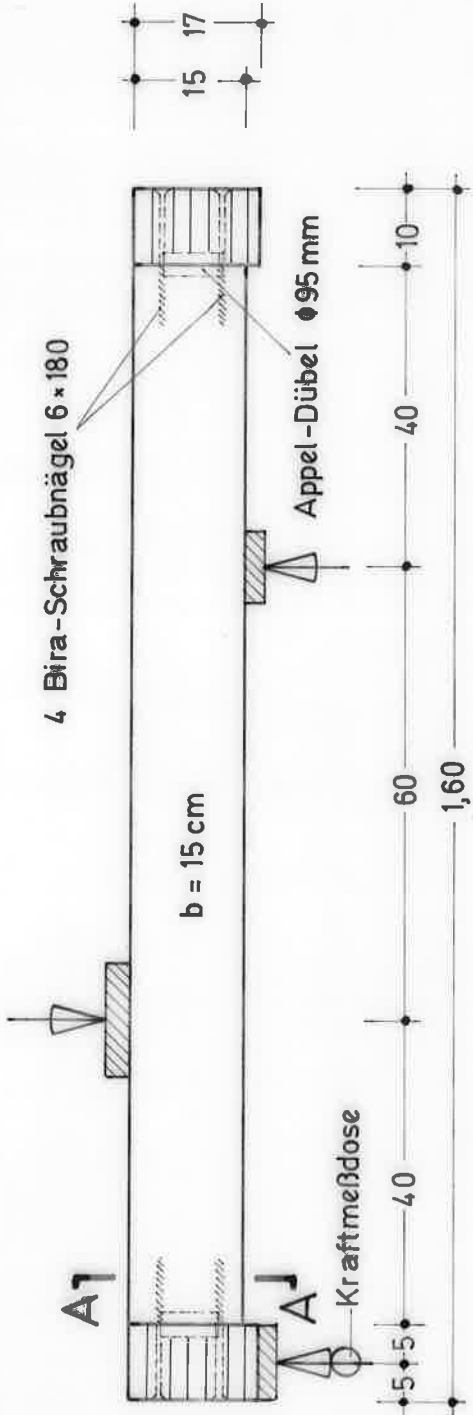


Bild 12: Prüfkörper P5 und P6



- | | | | |
|----|------|--------------------------|-----------------------|
| Q1 | ohne | Unterlagscheiben Ø 24 mm | ohne |
| Q2 | mit | Unterlagscheiben Ø 24 mm | mit Zusatzklemmbolzen |
| Q3 | ohne | Unterlagscheiben Ø 40 mm | ohne |
| Q4 | mit | Unterlagscheiben Ø 40 mm | mit |

Bild 13: Prüfkörper Q1 bis Q4



Schnitt A-A

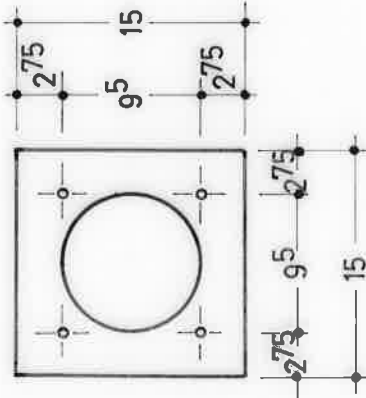
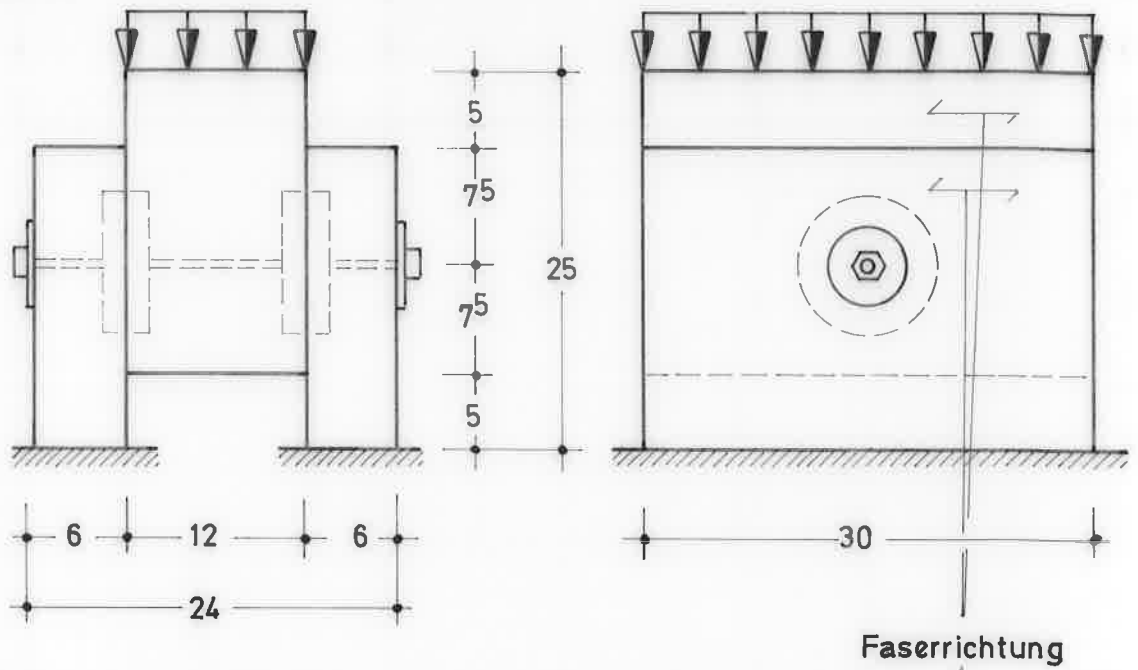
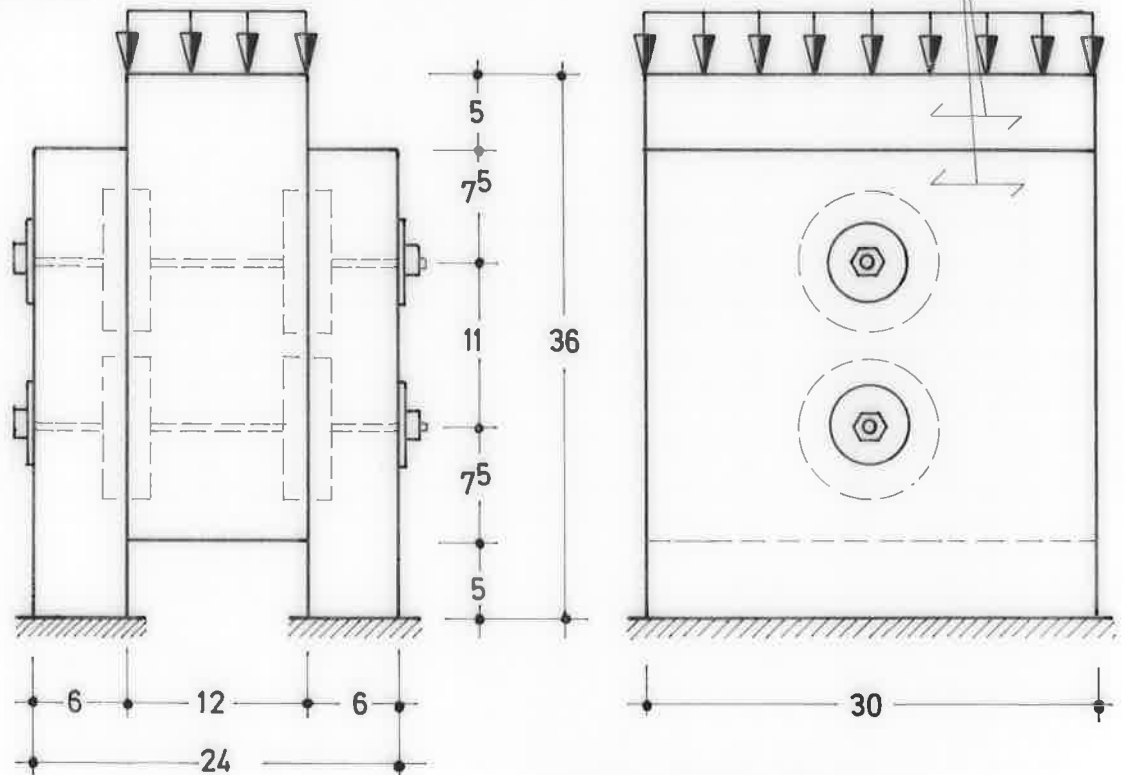


Bild 14: Prüfkörper R1 bis R4

Z1-2



Z 3-4



Appel-Dübel $\phi 95$ mm
 Bolzen M 12
 Unterlagscheiben 58/6

Bild 15: Scherkörper Z 1 bis Z 4

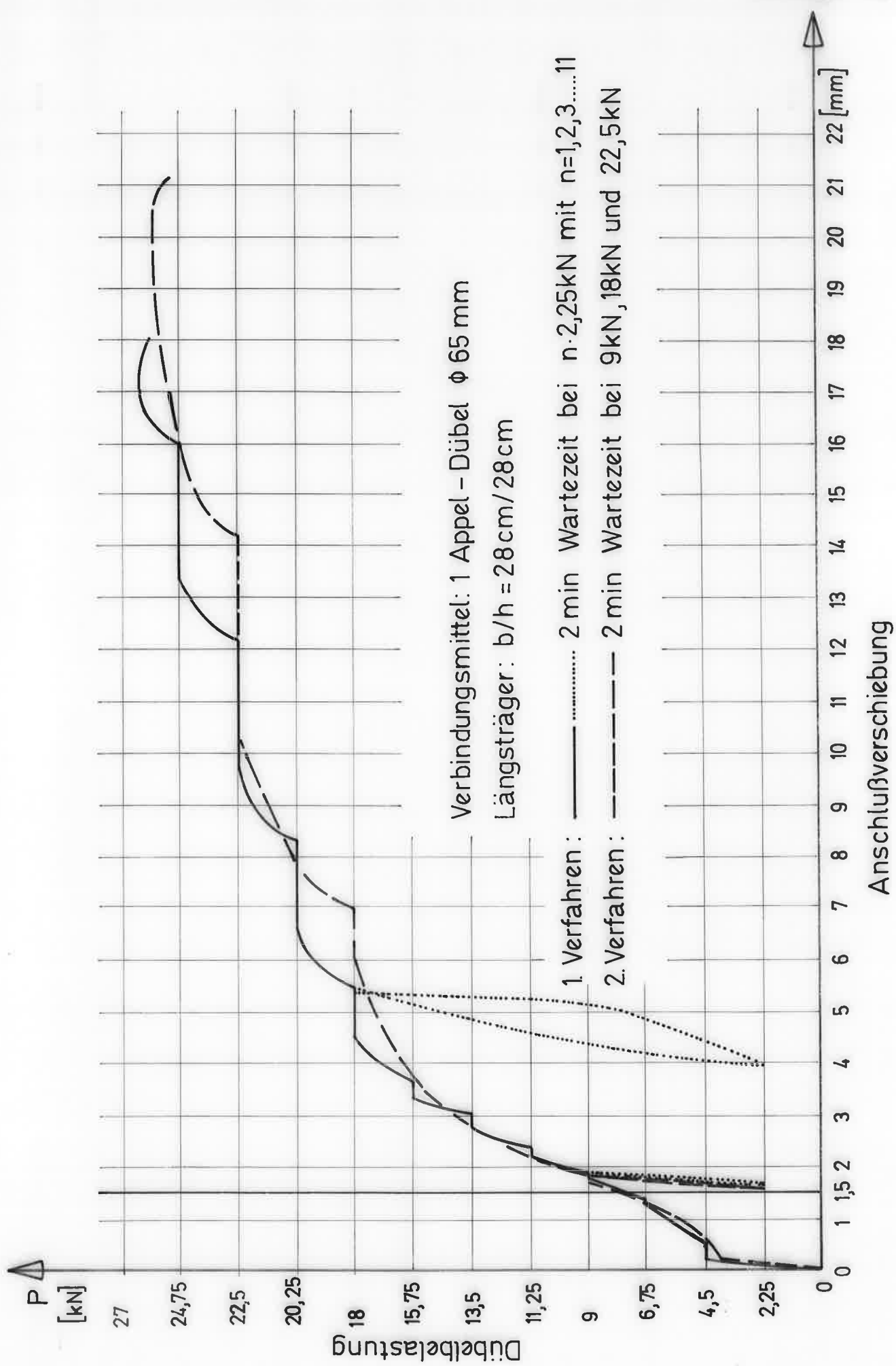


Bild 16: Einfluß von Wartezeiten auf die Last-Verformungs-Linien

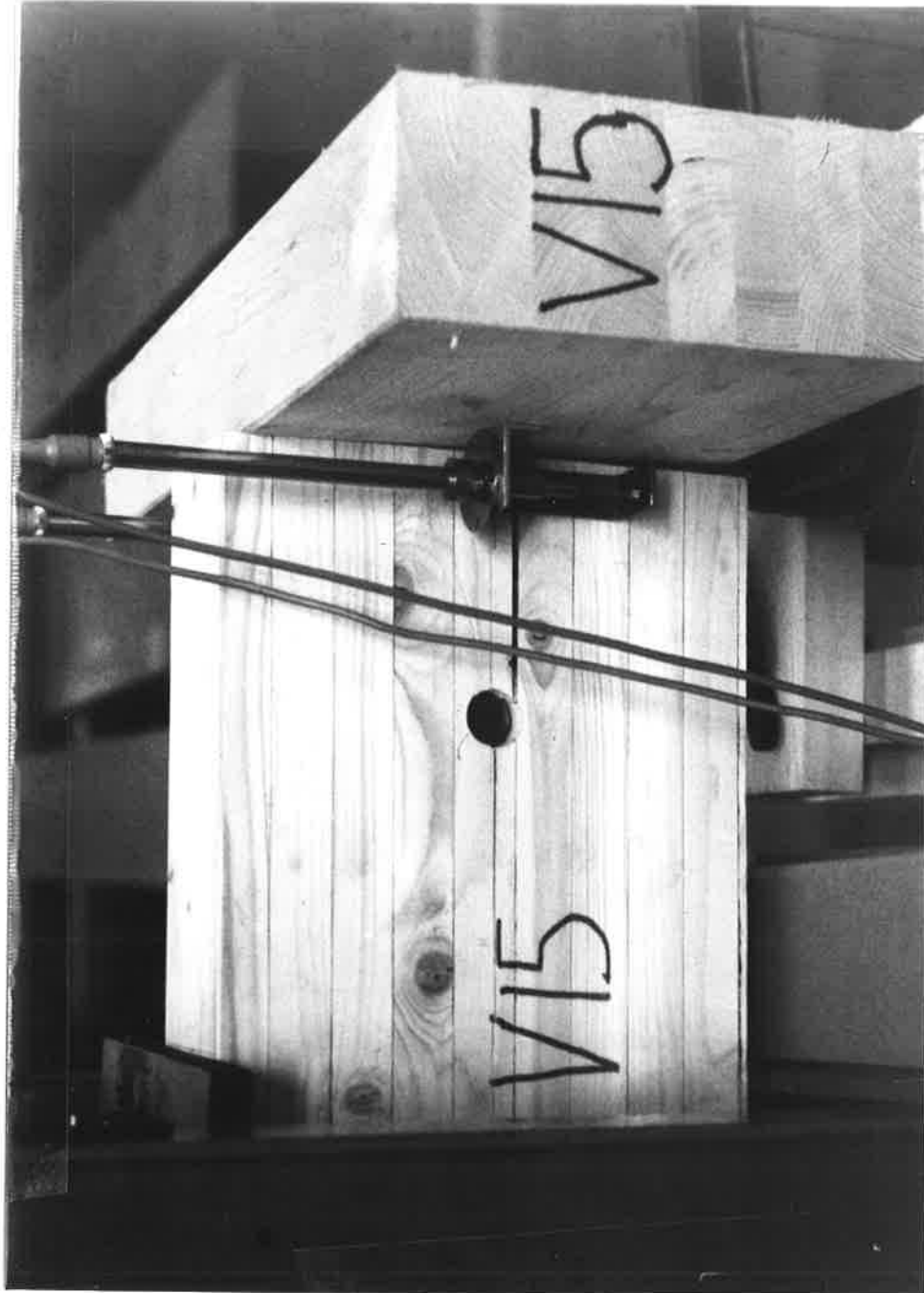


Bild 17: Typischer Querschnitt nach Erreichen der Bruchlast im Längsträger

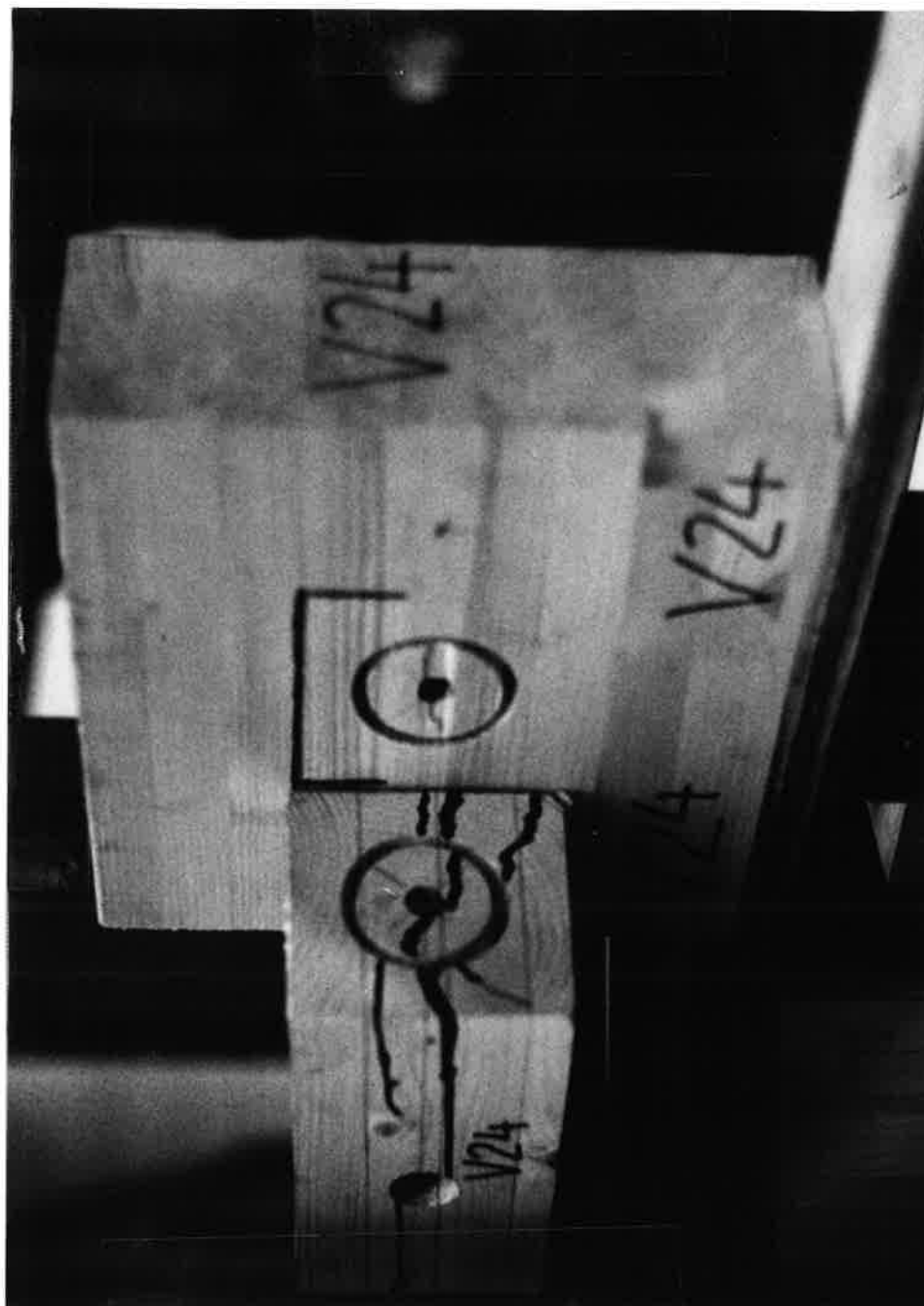


Bild 18: Typisches Bruchbild mit starken Eindrückungen im Querträger bei geringer Längsträgerhöhe

Versuch Nr.	Kraft pro Einzeldübel			Versuch Nr.	Kraft pro Einzeldübel		
	max P [kN]	P($\delta=1,5\text{mm}$) [kN]	zul P [kN]		max P [kN]	P($\delta=1,5\text{mm}$) [kN]	zul P [kN]
V1	24,8	9,0	9,0	A21	15,6	13,0	5,7
V2	36,0	15,75	13,1	A22	20,8	10,8	7,6
V3	29,5	10,0	10,0	A23	18,3	7,9	6,7
V4	25,75	7,5	7,5	A24	22,8	12,4	8,3
V5	26,25	7,5	7,5	A25	14,5	10,2	5,3
V6	35,0	9,0	9,0	A26	14,4	8,5	5,2
V7	27,25	9,0	9,0	A27	12,6	9,8	4,6
V8	27,25	12,0	9,9	A28	12,2	9,0	4,4
V9	22,2	10,8	8,1	A29	16,3	12,2	5,9
V10	27,2	17,5	9,9	A30	17,9	14,1	6,5
V11	17,1	11,4	6,2	A31	14,2	11,5	5,2
V12	19,5	10,0	7,1	A32	15,1	9,0	5,5
V13	29,8	6,75	6,8	H1	17,9	9,8	6,5
V14	23,75	12,5	11,9	H2	22,2	11,8	8,1
V15	24,5	8,5	8,5	H3	16,6	11,3	6,0
V16	29,0	10,0	10,0	H4	21,2	12,7	7,7
V17	16,0	6,0	5,8	H5	21,6	15,0	7,9
V18	26,5	11,25	9,6	H6	27,9	15,5	10,1
V19	20,0	13,5	7,3	H7	24,5	14,5	8,9
V20	18,0	11,5	6,5	H8	24,0	13,4	8,7
V21	17,0	9,0	6,2	J1	31,4	18,1	11,4
V22	18,0	7,5	6,5	J2	33,5	19,9	12,2
V23	18,25	11,25	6,6	J3	27,4	14,2	10,0
V24	17,0	7,5	6,2	J4	32,1	20,5	11,7
A1	18,0	8,0	6,5	J5	31,6	16,3	11,5
A2	23,75	11,2	8,6	J6	38,0	25,1	13,8
A3	13,4	13,1	4,9	J7	42,8	19,5	15,6
A4	21,9	12,7	8,0	J8	38,0	27,3	13,8
A5	18,0	12,8	6,5	K1	48,9	16,9	16,9
A6	18,0	10,7	6,5	K2	55,0	20,6	20,6
A7	19,6	9,2	7,1	K3	42,0	19,6	15,3
A8	20,6	13,0	7,5	K4	36,4	16,1	13,2
A9	15,75	10,5	5,7	K5	33,1	14,6	12,0
A10	16,6	12,7	6,0	K6	30,0	18,8	10,9
A11	17,8	12,6	6,5	K7	44,1	14,0	14,0
A12	14,2	11,2	5,2	K8	37,3	21,3	13,6
A13	14,1	11,9	5,1	L1	37,2	8,2	8,2
A14	15,1	11,9	5,5	L2	38,2	9,2	9,2
A15	17,9	13,9	6,5	L3	37,9	13,8	13,8
A16	14,1	12,0	5,1	L4	32,0	12,4	11,6
A17	13,6	9,0	4,9	L5	39,5	15,0	14,4
A18	12,7	8,5	4,6	L6	39,0	13,4	13,4
A19	14,0	12,6	5,1	L7	33,3	15,1	12,1
A20	14,9	11,4	5,4	L8	32,2	13,1	11,7

Tabelle 1 : Bruchlasten, Lasten bei 1,5 mm Anschlußverschiebung und zulässige Lasten für den Einzeldübel bei den durchgeführten Versuchen

Versuch Nr.	Kraft pro Einzeldübel			Versuch Nr.	Kraft pro Einzeldübel		
	max P [kN]	P($\delta=1,5\text{mm}$) [kN]	zul P [kN]		max P [kN]	P($\delta=1,5\text{mm}$) [kN]	zul P [kN]
L9	43,3	11,8	11,8	07	24,5	9,8	8,9
L10	30,7	13,4	11,2	08	31,1	22,3	11,3
L11	40,1	18,8	14,6	09	22,4	14,8	8,1
L12	32,5	16,9	11,8	010	38,0	22,8	13,8
M1	29,0	18,8	10,0	011	25,7	17,8	9,3
M2	28,5	16,7	10,4	012	29,3	20,4	10,7
M3	30,7	18,2	11,2	013	15,0	12,9	5,5
M4	32,8	18,8	11,9	014	34,3	22,8	12,5
M5	30,2	20,9	11,0	015	25,5	15,0	9,3
M6	31,1	17,6	11,3	016	28,7	18,7	10,4
M7	30,5	20,8	11,1	017	21,4	10,8	7,8
M8	29,8	20,1	10,8	018	30,3	25,8	11,0
N1	25,6	11,5	9,3	P1	13,9	-	5,1
N2	22,0	11,3	8,0	P2	28,0	21,5	10,2
N3	27,1	17,8	9,9	P3	15,8	12,0	5,7
N4	28,7	13,7	10,4	P4	25,3	19,7	9,2
N5	26,7	8,9	9,7	P5	14,8	14,5	5,4
N6	24,8	10,7	9,0	P6	13,6	13,5	4,9
N7	25,4	13,8	9,2	Q1	24,0	13,3	8,7
N8	25,3	11,8	9,2	Q2	32,2	11,8	11,3
N9	29,7	14,1	10,8	Q3	25,8	13,6	9,4
N10	26,2	13,7	9,5	Q4	30,5	16,9	11,1
N11	26,9	15,0	9,8	R1	23,7	19,1	8,6
N12	29,5	9,2	9,2	R2	25,0	16,2	9,1
01	31,4	18,3	11,4	R3	26,1	17,3	9,5
02	29,8	18,6	10,8	R4	21,7	15,3	7,9
03	29,3	17,5	10,7	Z1	36,4	23,6	13,2
04	32,8	21,6	11,9	Z2	38,1	25,0	13,9
05	28,4	19,2	10,3	Z3	30,8	21,4	11,2
06	30,8	18,2	11,2	Z4	34,4	23,8	12,5

Tabelle 1 (Fortsetzung):

Bruchlasten, Lasten bei 1,5 mm
Anschlußverschiebung und zulässige
Lasten für den Einzeldübel bei den
durchgeführten Versuchen

Anlage 20

Prüfkörper Nr.	b	v _d [cm]	zul P [kN]	Mittelwert von zul P [kN]
V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8	28	14	9,0 13,1 10,0 7,5 7,5 9,0 9,0 9,9	9,38
V13 V14	20	14	6,8 11,9	9,35
V15 V16 A1 A2	11	14	8,5 10,0 6,5 8,6	8,40
V17 V18	11	10	5,8 9,6	7,70
V19 V20	28	5,5	7,3 6,5	6,90
V21 V22	20	5,5	6,2 6,5	6,35
V23 V24 P1 P3	11	5,5	6,6 6,2 5,1 5,7	5,90

Tabelle 2: Einfluß der Trägerbreite und des Abstandes des querbeanspruchten Trägerrandes vom Verbindungsmittelpunkt

⊙ Versuchswert

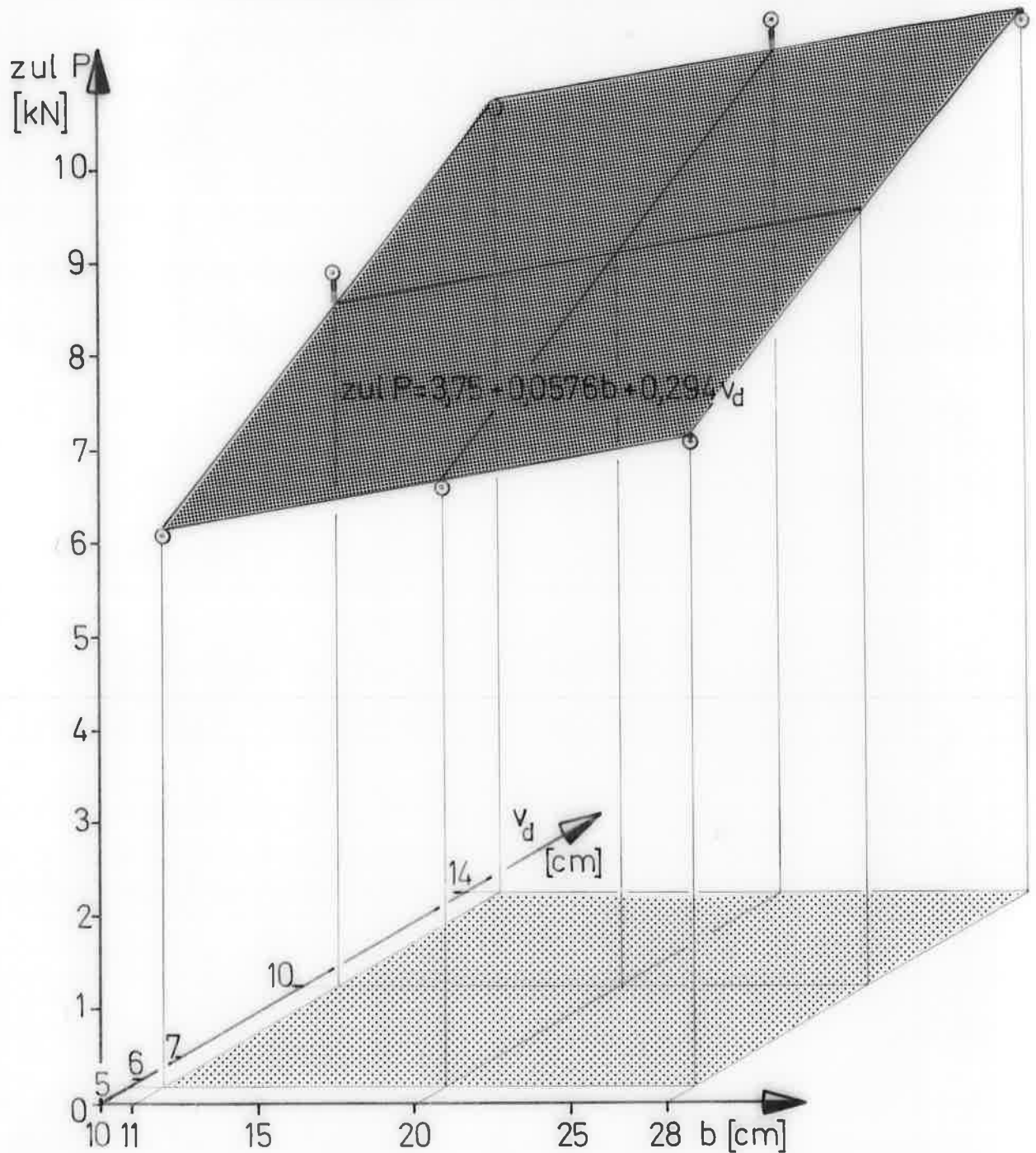


Bild 19 : Abhängigkeit der zulässigen Belastung eines Appel-Dübels $\phi 65$ mm von b und v_d bei Anordnung in Hirnholzflächen ($\varphi = 90^\circ$)

Appel-Dübel ϕ 95 mm:

Prüfkörper-Nr.	b [cm]	v_d	zulP [kN]	Mittelwert von zul P	A+)
L1	15	12	8,2	10,63	6,24
L2			9,2		
L3			13,8		
L4			11,6		
L5		17	14,4	13,90	8,04
L6			13,4		
L7			12,1		
L8		22	11,7	11,70	4,37
L9			11,8		
L10			11,2		
L11		27	14,6	13,20	4,40
L12			11,8		
					A = 5,76

+) $A = \text{zulP} - 0,0576 \times 15 - 0,294 v_d$

Appel-Dübel ϕ 126 mm:

Prüfkörper-Nr.	b [cm]	v_d	zul P*	zulP [kN]	Mittelwert von zul P
K1++)	20	20	16,9	12,1	12,18
K2++)			20,6	14,7	
K3++)			15,3	10,9	
K4			13,2	13,2	
K5			12,0	12,0	
K6			10,9	10,9	
K7++)			14,0	10,0	
K8			13,6	13,6	

++) Prüfkörper mit zusätzlichem Klemmbolzen (Werte wurden durch 1,4 dividiert!)

+++) $A = \text{zulP} - 0,0576 \times 20 - 0,294 \times 10$
 $= 12,18 - 1,152 - 2,94 = 8,09$

d_d [mm]	A_{Versuch}	$A_{\text{Rechnung}}^{+++)$
65	3,75	3,75
95	5,76	5,48
126	8,09	7,27

++++) $A = 3,75 \times d_d / 65$

Tabelle 3: Bestimmung des Grundwertes A

d_d	$e_{d }^{+})$ [cm]	$b_{l/2}^{+})$	$e_{d }/d_d$	$(b_{l/2})/d_d$
6,5	14	5,5	2,1538	0,8462
8,0	18	6,5	2,2500	0,8125
9,5	22	7,5	2,3158	0,7895
12,6	25	10	1,9841	0,7937
12,8	30	10	2,3438	0,7813
16,0	34	12	2,1250	0,7368
19,0	43	14	2,2632	0,7368
Mittelwert			2,2051 $\approx 2,2$	0,7879 $\approx 0,8$

⁺) Werte nach DIN 1052, Blatt 2

Tabelle 4: Bestimmung der Mittelwerte der Verhältnisse der Randabstände $e_{d||}$ und $b_{l/2}$ zu den Dübeldurchmessern

Prüfkörper-Nr.	l_f [cm]	zulP	Mittelwert von zul P [kN]
A 3 A 4	6	4,9 8,0	6,45
A 5 A 6	8	6,5 6,5	6,50
A 7 A 8	10	7,1 7,5	7,30
A 1 A 2 V 15 V 16	12	6,5 8,6 8,5 10,0	8,40

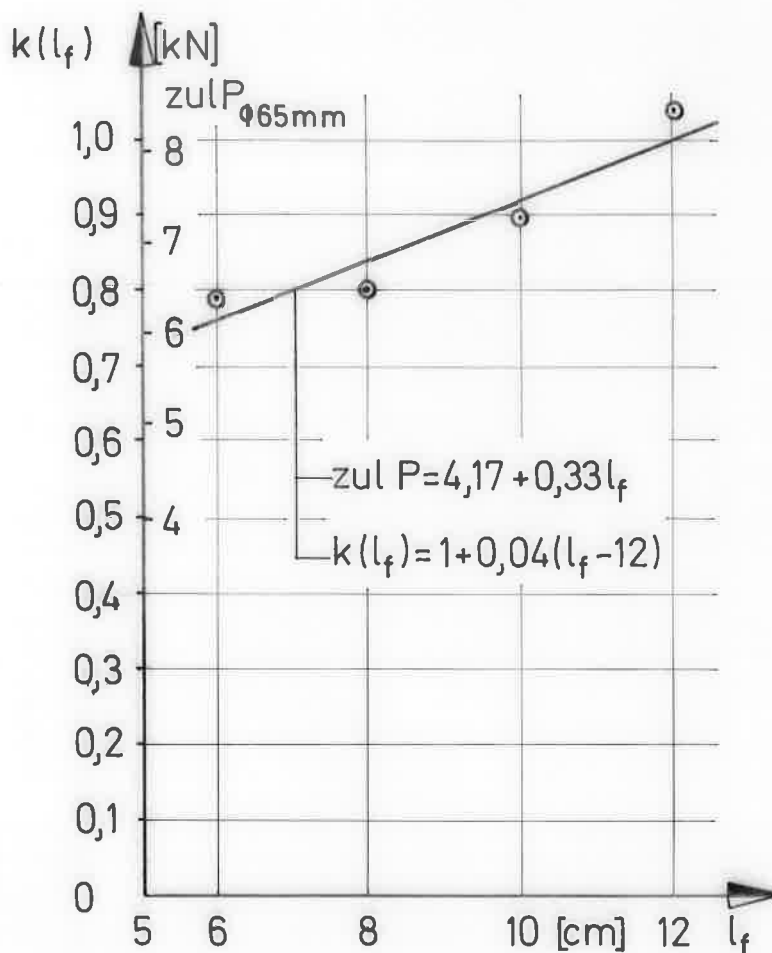


Bild 20: Einfluß des lichten Abstandes zwischen der Klemmvorrichtung und der Hirnholzfläche

Prüfkörper - Nr	d _d [mm]	v _d [em]	b	Zusatzklemmbolzen M12	Mittelwert aus zul P [kN]	Verhältnis von zul P mit und ohne Zusatzklemm- bolzen
H1 bis H8 und P2 und P4 V23, V24, P1 und P3	65 65	5,5 5,5	11 11	ja nein	8,33 5,90	1,41
K1 bis K3 und K7 K4 bis K6 und K8	126	10	20	ja nein	16,70 12,43	1,34
O8 und O10 O7 und O9	95	7,5	15	ja nein	12,55 8,5	1,48
O12 und O14 O11 und O13	95	7,5	15	ja nein	11,6 7,4	1,57
O16 und O18 O15 und O17	95	7,5	15	ja nein	10,7 8,55	1,25
Mittelwert.....1,41					k _{ZB} ≙ 1,4	

Tabelle 5: Einfluß eines zusätzlichen Klemmbolzens M12 nach Bild 6 bei einem Verbinder
pro Hirnholzfläche

A) Prüfkörper mit Bolzen M12, Unterlagscheiben 58/6 und Formstücken ϕ 30 mm

Prüfkörper Nr	b	v_d	zul P		Prüfkörper Nr	b	v_d	zul P			
			$b=11$ cm $v_d=14$ cm	$b=11$ cm $v_d=14$ cm				$b=11$ cm $v_d=14$ cm	$b=11$ cm $v_d=14$ cm		
	[cm]		[kN]	[kN]		[cm]		[kN]	[kN]		
V1	28	14	9,0	8,1	V17	11	10	5,8	6,7		
V2			13,1	11,7	V18			9,6	11,1		
V3			10,0	9,0	V19			7,3	8,9		
V4			7,5	6,7	V20			28	5,5	6,5	7,9
V5			7,5	6,7	V21			20	5,5	6,2	8,1
V6			9,0	8,1	V22			11	5,5	6,5	8,5
V7			9,0	8,1	V23			11	5,5	6,6	9,4
V8			9,9	8,9	V24			11	5,5	6,2	8,8
V13	20	14	6,8	6,4	A1	11	14	6,5	6,5		
V14			11,9	11,2	A2			8,6	8,6		
V15	11	14	8,5	8,5	P1	11	5,5	5,1	7,2		
V16			10,0	10,0	P3			5,7	8,1		

Mittelwert von zul P($b=11$ cm, $v_d=14$ cm) = 8,47 kN = 100 %

B) Prüfkörper mit Holzschrauben ϕ 12 mm

Prüfkörper Nr	b	v_d	zul P		Prozentsatz von A)	
			$b=11$ cm $v_d=14$ cm	$b=11$ cm $v_d=14$ cm		
	[cm]		[kN]	[kN]		
V9	28	14	8,1	7,3	7,05	83,2
V10			9,9	8,9		
V11			6,2	5,6		
V12			7,1	6,4		

C) Prüfkörper mit Holzschrauben ϕ 16 mm und Fischer-Dübeln ϕ 20 mm ($b=11$ cm, $v_d=14$ cm)

Prüfkörper Nr	mit Fi.-Dübel	Einlaßtiefe des Fi.-Düb. [cm]	zul P [kN]	Prozentsatz von A)	
A21	nein	--	5,7	7,08	83,6
A22			7,6		
A23			6,7		
A24			8,3		
A25	ja	9	5,3	4,88	57,6
A26			5,2		
A27			4,6		
A28			4,4		
A29	ja	12	5,9	5,78	68,2
A30			6,5		
A31			5,2		
A32			5,5		

Tabelle 6: Tragfähigkeit von Hirnholzanschlüssen mit $b=11$ cm und $v_d=14$ cm bei 1 Dübel ϕ 65 mm mit Holzschrauben ϕ 12 bzw. 16 mm und mit zusätzlichen Fischer-Dübeln ϕ 20 mm im Vergleich zu Anschlüssen mit 1 Bolzen M12 als Klemmvorrichtung

Prüfkörper Nr	Klemmvorrichtung	b	v _d	zul P
		[cm]		[kN]
Q1	1 Bolzen M12, Formstück Ø 30 mm und 1 Unter- lagscheibe Ø 24 mm	15	7,5	8,7
Q3	wie zuvor, jedoch Unterlagscheibe Ø 40 mm			9,4
J1+ 8	Ausführung nach Bild 6 mit 1 Klemmbolzen M12 - Werte der Reihe J:1,4 (s. Tabelle 5)			8,9
Q2	1 Bolzen M12 + 1 zusätz- licher Klemmbolzen nach Bild 6, Unterlagscheiben Ø 24 mm	15	7,5	11,3
Q4	wie zuvor, jedoch Unterlagscheiben Ø 40 mm			11,1
J1+8	Ausführung nach Bild 6			12,5
R1 R2 R3 R4	4 Bira-Schraubnägeln 6x180 nach Bild 14	15	7,5	$\left. \begin{array}{l} 8,6 \\ 9,1 \\ 9,5 \\ 7,9 \end{array} \right\} 8,8$

Tabelle 7: Hirnholzanschlüsse mit einem Appel-Dübel Ø 95 mm,
unter Verwendung von Bolzen M12 mit Unterlagscheiben
Ø 24 mm bzw. 40 mm oder Bira-Schraubnägeln 6x180
als Klemmvorrichtung

Prüfkörper nach Bild 9

Prüfkörper-Nr.	e_{\perp} [cm]	zul P	Mittelwert aus zul P [kN]
N 1	11	9,3	9,40
N 2		8,0	
N 3		9,9	
N 4		10,4	
N 5	15	9,7	9,35
N 6		9,0	
N 7	18	9,2	9,20
N 8		9,2	
N 9	22	10,8	9,83
N 10		9,5	
N 11		9,8	
N 12		9,2	

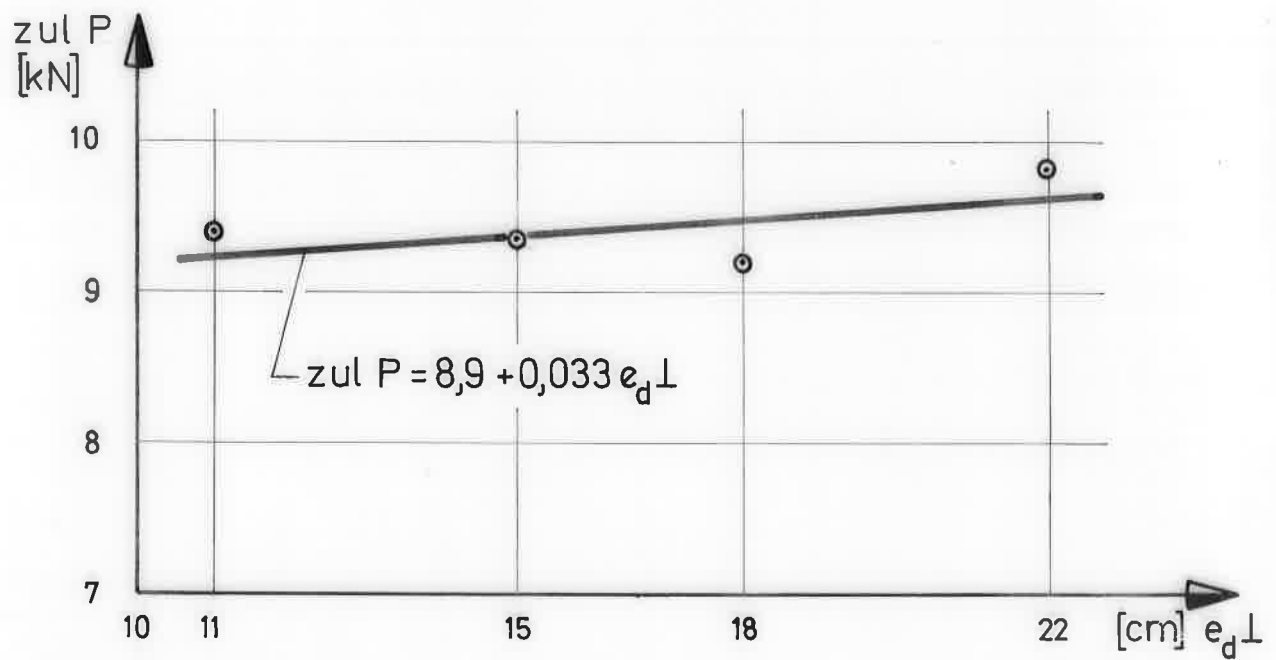


Bild 21: Einfluß des Verbindungsmittelabstandes $e_{d\perp}$ auf zul P

Prüfkörper-Nr.	Anzahl der hintereinander angeordneten Dübel	zul P [kN]
M1	5	10,5
M2		10,4
M3		11,2
M4		11,9
M5	3	11,0
M6		11,3
M7		11,1
M8		10,8
N1	2	9,3
N2		8,0
N3		9,0
N4		10,4

bei 1 Appel-Dübel $\phi 95\text{mm}$: mit Zusatzklemmbolzen : zul P = 12,5 kN
 ohne Zusatzklemmbolzen : zul P = 8,9 kN (s. Tab.7)

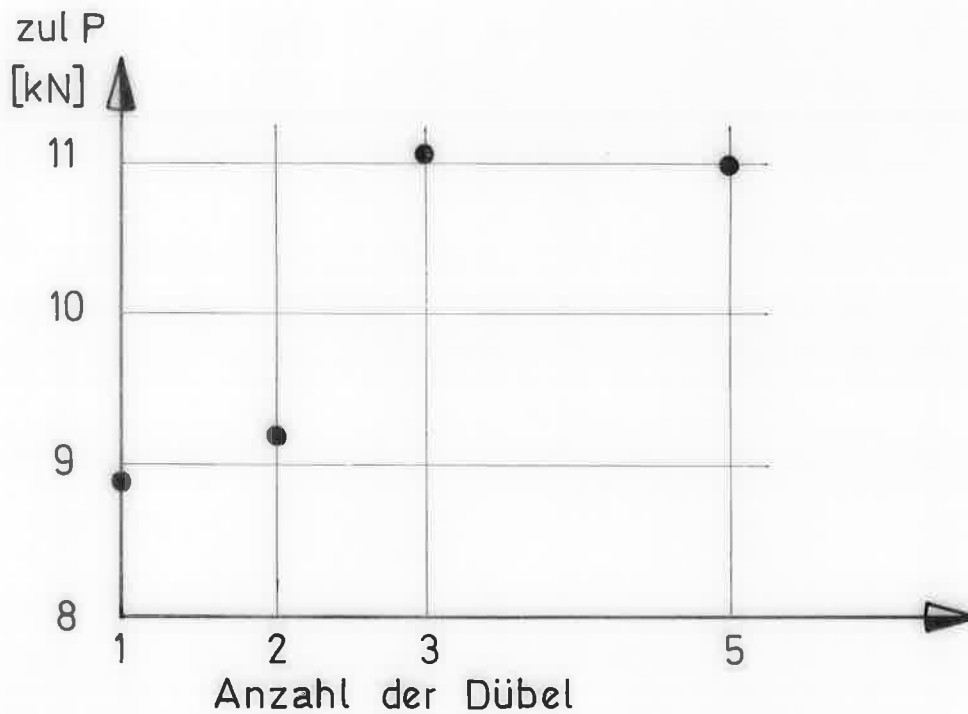


Bild 22: Einfluß der Anzahl der hintereinander angeordneten Dübel auf zul P

A) 2 Appel-Dübel ϕ 65 mm nebeneinander angeordnet:

$$l_f = 12 \text{ cm} \quad v_d = 5,5 \text{ cm}$$

Randabstand senkrecht zur Krafrichtung = $b/2 = 5,5 \text{ cm}$

Prüfkörper-Nr	zul P [kN]
P5	5,4
P6	4,9

Mittelwert...5,15

B) zum Vergleich werden die Prüfkörper mit 1 Appel-Dübel ϕ 65 mm auf $v_d=5,5\text{cm}$ und $b=11\text{cm}$ umgerechnet ($f_{\perp}=12\text{cm}$)

Prüfkörper Nr	b [cm]	v_d [cm]	zul P [kN]	zul P(b=11cm, $v_d=5,5\text{cm}$) [kN]
V1	28	14	9,0	5,7
V2			13,1	8,3
V3			10,0	6,3
V4			7,5	4,7
V5			7,5	4,7
V6			9,0	5,7
V7			9,0	5,7
V8			9,9	6,3
V13	20	14	6,8	4,5
V14			11,9	7,9
V15	11	14	8,5	6,0
V16			10,0	7,1
V17	11	10	5,8	4,8
V18			9,6	7,9
V19	28	5,5	7,3	6,3
V20			6,5	5,6
V21	20	5,5	6,2	5,7
V22			6,5	6,0
V23	11	5,5	6,6	6,6
V24			6,2	6,2
A1	11	14	6,5	4,6
A2			8,6	6,1
P1	11	5,5	5,1	5,1
P3			5,7	5,7
Mittelwert =				5,98

$$\Delta = 100 - \frac{5,15}{5,98} \times 100 = 13,88\%$$

Tabelle 8: Abminderung bei 2 nebeneinander angeordneten Dübeln gegenüber einem Dübel

Anlage 31

Alle zulässigen Belastungen werden auf $l_f = 12$ cm umgerechnet, um sie miteinander vergleichen zu können. Alle übrigen Parameter waren innerhalb der einzelnen Prüfreihen konstant.

Prüfkörper Nr	Anzahl der Dübel	φ [°]	zulP [kN]	zulP _{l_f=12cm}	$\frac{\text{zulP}(\varphi)}{\text{zulP}(\varphi=90^\circ)} = k_w$
M1÷4 01 02 03	5	90 75 60 45	11,0 11,4 10,8 10,7	11,0 13,3 12,6 13,8	1,00 1,21 1,15 1,25
M5÷8 04 05 06	3	90 75 60 45	11,05 11,9 10,3 11,2	11,05 13,9 12,0 14,4	1,00 1,26 1,00 1,30
J1÷8 08+010 012+014 016+018	1+)	90 75 60 45	12,5 12,55 11,6 10,7	12,5 14,6 13,5 13,8	1,00 1,17 1,08 1,10
J1÷8 ⁺⁺) 07+09 011+013 015+017	1	90 75 60 45	8,9 8,5 7,4 8,55	8,9 9,9 8,6 11,0	1,00 1,11 0,97 1,24

+) zusätzlicher Klemmboizen nach Bild 6

++) die Ergebnisse dieser Trägerreihe wurden nach Tabelle 5 durch 1,4 dividiert

für Seitenholzanschlüsse ($\varphi = 0^\circ$) gilt: $\text{zul } P_{\phi 95\text{mm}} = 12,5$ kN

$$\frac{\text{zulP}(\varphi=0^\circ)}{\text{zulP}(\varphi=90^\circ)} = \frac{12,5}{8,9} = 1,40$$

Tabelle 9: zulP in Abhängigkeit vom Neigungswinkel der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenholzflächen

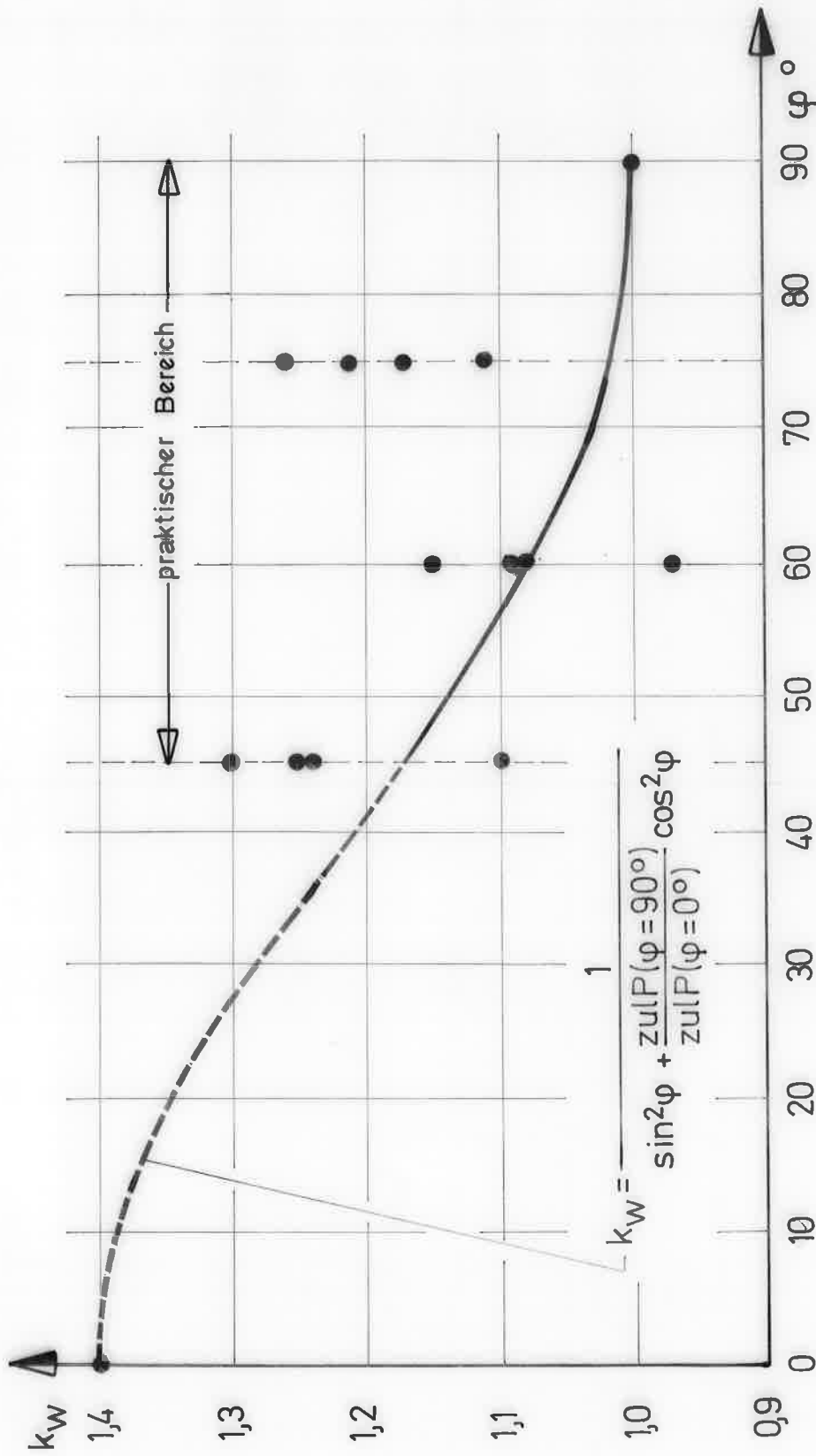


Bild 23: Einfluß der Neigung der Hirnholzfläche gegenüber den Seitenflächen auf die Tragfähigkeit von Dübel $\phi 95$ mm

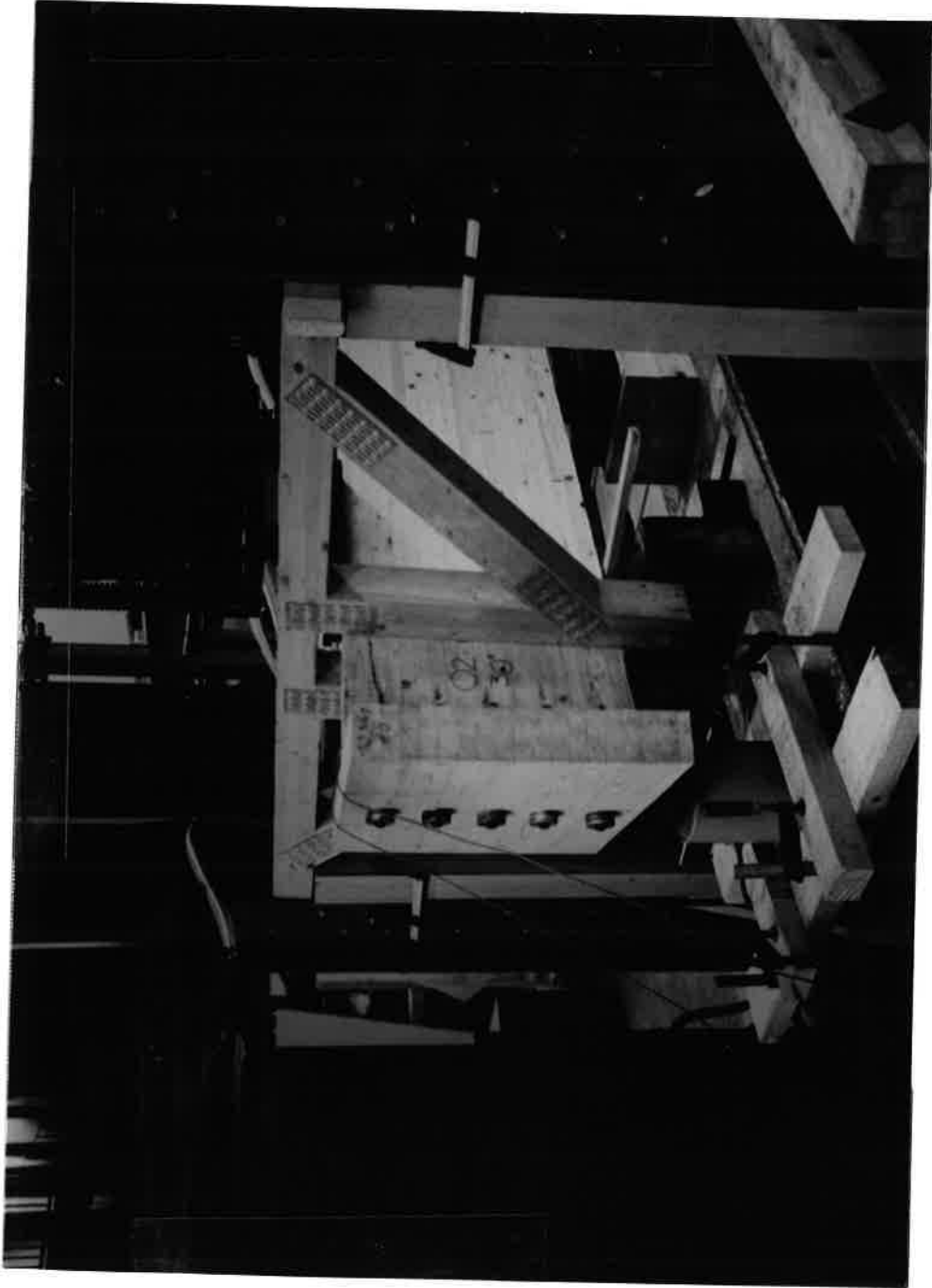


Bild 24: Träger 02 unter der Prüfvorrichtung

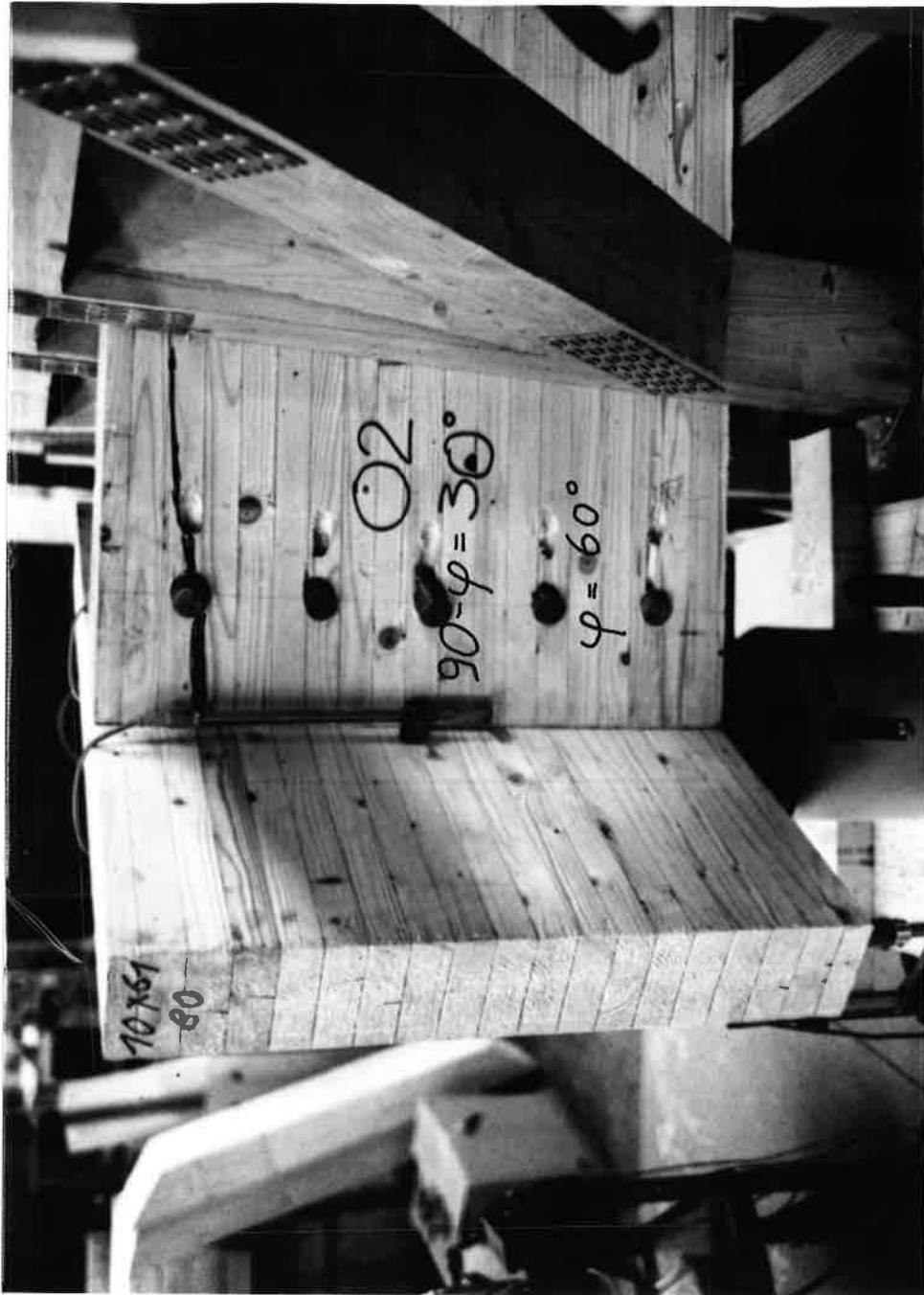


Bild. 25: Träger 02 nach dem Bruch

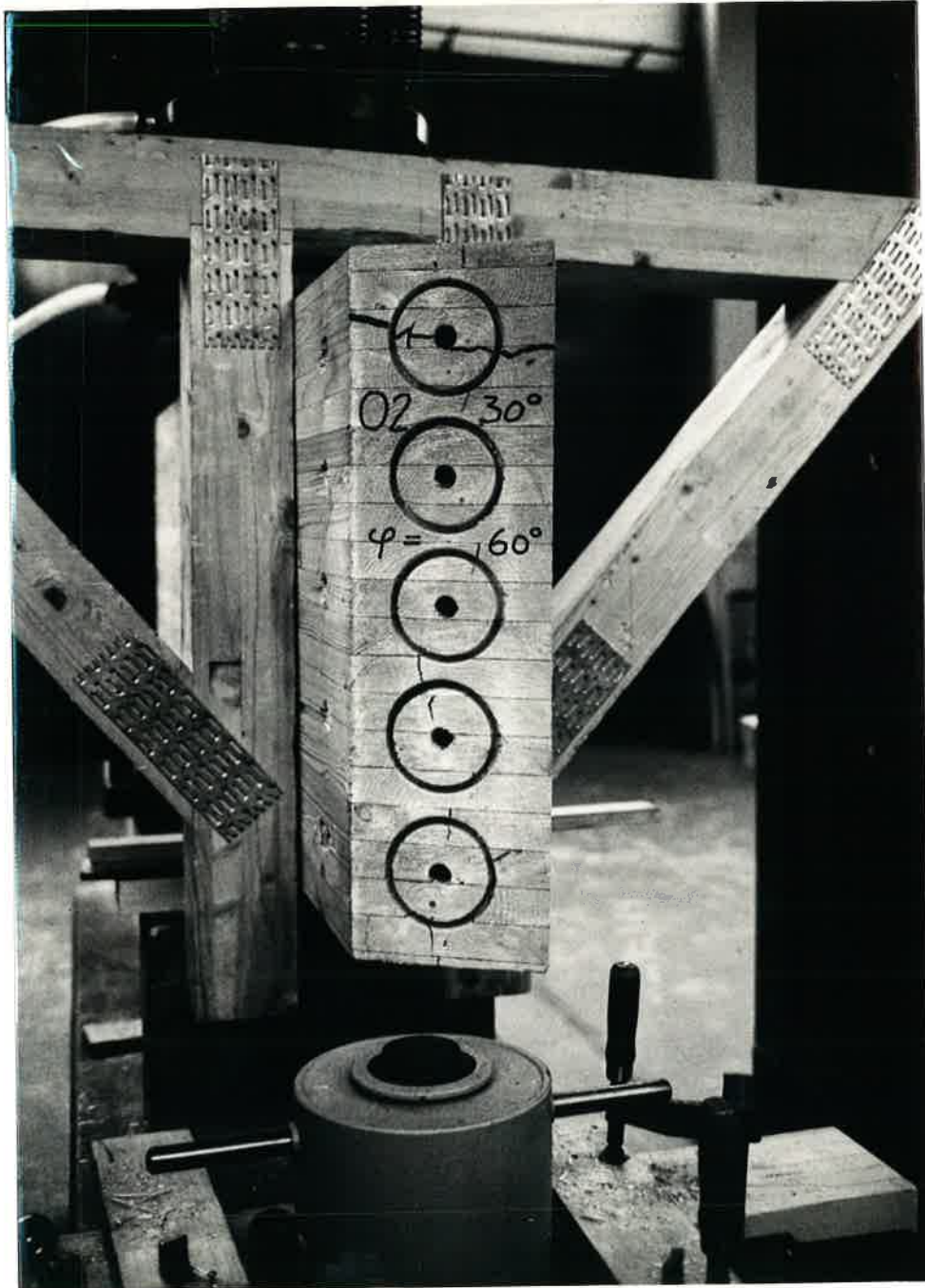


Bild 26: Träger 02 nach dem Bruch. Der Querträger ist demontiert, so daß das Bruchbild in der Hirnholzfläche zu erkennen ist.

Anlage 36

Prüfkörper Nr.	Anzahl der Dübel ϕ 95 pro Seite	zulP [kN]	Mittel aus zulP [kN]	Gesamtmittel [kN]
Z1 Z2	1	13,2 13,9	13,55	12,45 ≈ zul P _{DIN}
Z3 Z4	2	11,2 11,5	11,35	

Tabelle 10: Ergebnisse der Scherkörperversuche.
Die Dübelbeanspruchung in den Seitenflächen wirkt senkrecht zur Faserrichtung

Druckprobe	$\beta_{D \parallel(u)}$ [N/mm ²]	ρ [g/cm ³]	u [%]
D1	54,05	0,51	12,0
D2	27,77	0,34	11,8
D3	42,40	0,43	11,4
D4	28,92	0,37	11,7
D5	58,27	0,54	11,8
D6	40,70	0,40	11,2
D7	43,53	0,44	13,0
D8	39,88	0,41	11,2
D9	29,82	0,37	11,8
D10	37,07	0,42	13,1
D11	34,46	0,38	12,8
D12	50,22	0,45	-
D13	45,19	0,45	11,1
D14	51,47	0,48	11,5
Mittelwert	41,70	0,43	11,3

Tabelle 11: Eigenschaften des verwendeten Brettschichtholzes