



DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Tragverhalten und normative Erfassung von Dübeln besonderer Bauart – Vergleich zwischen Eurocode 5 und früheren Normenansätzen

ausgeführt

zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

o. Univ. Prof. DDI Wolfgang Winter

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Univ. Ass. DI Thomas Weinlinger

am

Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Alireza Esmailkhanloo

0225390

Brigittenauer Lände 164-168/2/50

A – 1200 Wien

Wien, im April 2010

.....
(Alireza Esmailkhanloo)

Danksagung

Für die Anregung zu dieser Diplomarbeit und die fachliche Unterstützung bei der Ausarbeitung möchte ich mich bei Herrn Univ. Ass. DI *Thomas Weinlinger* bedanken.

Weiters gilt mein Dank Herrn o. Univ. Prof. DDI *Wolfgang Winter* für seine hilfreichen Anregungen und Vorschläge zu der vorliegenden Arbeit.

Ein ganz besonderes Dankeschön möchte ich meiner geschätzten Mutter und meinen Geschwistern für ihre Geduld und Unterstützung während meiner Studienzeit zukommen lassen. Sie waren mir stets eine Stütze.

Und alles Lob, Preis und Dank gebührt Allah, dem allerbarmenden Schöpfer, dem Erhalter und Versorger dessen, was in den Himmeln und auf Erden ist.

*"Siehe, in der Schöpfung von Himmeln und Erde und in dem Wechsel von
Nacht und Tag sind wahrlich Zeichen für die Verständigen"*

[Quran; 3:190]

Zusammenfassung

Während die Ermittlung der Tragfähigkeit von Dübeln besonderer Bauart in den alten Normen ÖNORM B4100-2 und DIN 1052,alt noch auf den deterministisch vorgegebenen Tabellenwerten beruhte, welche aus Versuchen (Seitz 1936, Graf 1944). ermittelt wurden, liefert die neue Norm Bemessungsformeln, welche es ermöglichen die charakteristische Tragfähigkeit mithilfe der frei wählbaren Eingangsparameter wie Holzrohddichte, Seiten- und Mittelholzdicke, Kraft-Faser-Winkel usw. zu bestimmen.

Die neuen Bemessungsansätze für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart nach EC 5 basieren auf eine Vielzahl von Versuchen mit Einlass- und Einpressdübelverbindungen, die im Stevin - Laboratorium der Technischen Universität Delft, im dänischen Bauforschungsinstitut (Blaß et al.,1994) sowie am Brighton College of Technology (Hilson, 1969) zwischen 1957 und 1991 durchgeführt wurden. Die Erkenntnisse aus diesen Versuchen liefern die Grundlage für die neuen Bemessungsformeln für Dübelverbindungen nach der neuen europäischen Norm (EC 5) welche eine rechnerisch hinreichend genaue Erfassung der Tragfähigkeit und Belastbarkeit der Dübelverbindung darstellen.

Weiters enthält der neue Eurocode 5 keine Regeln mehr für traditionelle Einlassdübel aus Holz (Zimmermannsdübel) oder Dübel aus Flachstahl. Für die konstruktive Durchbildung sollten deshalb nach wie vor die allgemeinen Regeln nach DIN 1052, alt bzw. ÖNORM B4100-2 zugrunde gelegt werden.

Die Erfassung und Kategorisierung sämtlicher Dübeltypen aus älteren Normengenerationen in der neuen EN 912 auf welche der Eurocode verweist stellt einen weiterer Aspekt der Vereinheitlichung dar.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die kompliziert anmutenden Formelstrukturen des EC 5 in einfacher zu handhabende Bemessungstabellen "umzumünzen", um einerseits eine Vergleichbarkeit mit der alten Norm hinsichtlich der Leistungsfähigkeit ausgewählter Dübeltypen gewährleisten zu können, und um andererseits den Zimmerern auf der Baustelle nützliche Bemessungsbehelfe zur Verfügung zu stellen.

Abstract

While the determination of the load-bearing capacity of dowels in the old standards ÖNORM B4100-2 and DIN 1052,alt was based on predetermined deterministic table values, which were identified from experiments (Seitz 1936, Graf 1944), the new standard provides design formulas, which enable the applicant to determine the characteristic resistance by using the freely selectable input parameters such as timber-raw-density, side- and center woodthickness or force-fiber angle.

The new designformulas for connections with dowels according to EC 5 are based on a variety of experiments with ring- and shear-plate connections as well as tooth-plate connector joints, which were carried out in the Stevin - Laboratory of the Technical University of Delft, the Danish Building Research Institute (Blass et al., 1994) and at the Brighton College of Technology (Hilson, 1969) from 1957 to 1991.

The findings from these experiments provide the basis for the new design formulas for dowel connections according to the new European standard (EC 5) and represent a mathematically sufficiently exact calculation of the sustainability and load-bearing capacity of the dowel connection.

Furthermore, the new Eurocode 5 contains no more rules for traditional wooden-made dowels (carpenter's dowel) or flat steel anchor-dowels. For the structural design one should therefore continue to follow the general rules according to DIN 1052,alt or ÖNORM B4100-2. The collection and categorization of all types of dowels from older generations in the new standard EN 912 which refers to the eurocode represents a further aspect of unification.

The aim of this study was to transform the complicated-looking formulas of the EC 5 in simple-to-use design tables to ensure both a comparison with the old standard on the performance level of selected anchor types, and to offer carpenters a useful design-aid at the construction site.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
1. EINLEITUNG	4
1.1 ALLGEMEINES.....	4
1.2 EINTEILUNG DER VERBINDUNGSMITTEL	6
1.2.1 Überblick.....	6
1.2.2 Stiftförmige Verbindungsmittel	7
1.2.3 Flächenartige Verbindungsmittel	7
1.2.4 Kraft–Verschiebungs-Diagramm	8
1.3 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG.....	10
1.3.1 Entwicklung der Holzverbindung	10
1.3.1.1 Zimmermannsmäßige Verbindungen	10
1.3.1.2 Ingenieurmäßige Verbindungen	11
1.3.2 Entwicklung des Dübels im Holzbau	11
1.3.2.1 Dübel einfacher Bauart.....	11
1.3.2.1 Zeittafel - Entwicklung des Dübels besonderer Bauart	13
1.4 DÜBELVERBINDUNGEN	15
1.4.1 Allgemeines	15
1.4.2 Der Rechteck- bzw. Zimmermannsdübel.....	15
1.4.3 Dübel besonderer Bauart.....	16
1.4.3.1 Einlassdübel	17
1.4.3.2 Einpressdübel	18
2. MODERNE DÜBELTYPEN UND DEREN ANWENDUNG	19
2.1 NORMATIVE ERFASSUNG.....	19
2.1.1 Dübeltypen nach ÖNORM B4100-2.....	19
2.1.1.1 Einlassdübel	19
2.1.1.2 Einpressdübel	19
2.1.2 Dübeltypen nach DIN 1052 alt	20
2.1.2.1 Einlassdübel	20
2.1.2.2 Einpressdübel	21
2.1.2.3 Einlass / Einpressdübel	23
2.1.3 Dübeltypen nach EC 5 (basierend auf EN 912).....	25
2.1.3.1 Begriffsdefinitionen laut EN 912.....	25
2.1.3.2 Gruppe A	26
2.1.3.3 Gruppe B	27
2.1.3.4 Gruppe C	28
2.1.3.5 Gruppe D	30
2.1.4 Dübeltypen nach EC 5 im Vergleich zu älteren Normen.....	31
2.2 HERSTELLUNG EINER VERBINDUNG MIT DÜBELN BESONDERER BAUART	32
2.2.1 Einlassdübel/ Ring- und Scheibendübel	32
2.2.1.1 Herstellungsphasen einer Einlassdübelverbindung	33
2.2.2 Einpressdübel/ Scheibendübel mit Zähnen oder Dornen	34
2.3 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN	37
2.3.1 Stahl–Holz–Verbindungen	37
2.3.2 Holz–Holz –Verbindungen	37

3. BEMESSUNGSANSATZ NACH EC 5	38
3.1 ALLGEMEINES ZUR NEUEN NORM.....	38
3.2 BERECHNEN DER TRAGFÄHIGKEIT	38
3.3 RING- UND SCHEIBENDÜBEL	39
3.3.1 Tragverhalten und Rechenmodell	39
3.3.2 Tragfähigkeit und Steifigkeit aus Versuchen	44
3.3.2.1 Lochleibungsfestigkeit	44
3.3.2.2 Tragfähigkeit	45
3.3.2.3 Steifigkeit	46
3.3.3 Bemessungsgleichungen	47
3.3.4 Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit	50
3.3.5 Bemessungswert der Tragfähigkeit	52
3.4 SCHEIBENDÜBEL MIT DORNEN UND ZÄHNEN	53
3.4.1 Tragverhalten und Rechenmodell	53
3.4.2 Tragfähigkeit und Steifigkeit aus Versuchen	55
3.4.2.1 Tragfähigkeit	55
3.4.2.2 Steifigkeit	56
3.4.3 Bemessungsgleichungen	57
3.4.4 Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit	60
3.4.5 Bemessungswert der Tragfähigkeit	63
3.5 DÜBELABSTÄNDE	64
4. BEMESSUNGSANSATZ NACH ÄLTEREN NORMEN	66
4.1 TRAGFÄHIGKEIT NACH DIN 1052 ALT TEIL 2	66
4.1.1 Dübelsicherung	67
4.1.2 Bemessungstabellen	68
4.1.2.1 Dübeltyp A und B.....	68
4.1.2.2 Dübeltyp C.....	69
4.1.2.3 Dübeltyp D und E.....	70
4.1.3 Dübelabstände	71
4.1.3.1 Anschlüsse parallel zur Faser.....	71
4.1.3.2 Queranschlüsse	72
4.1.4 Querschnittsschwächungen.....	72
4.2 TRAGFÄHIGKEIT NACH ÖNORM B 4100-2.....	73
4.2.1 Allgemeine Regeln	73
4.2.2 Dübelsicherung und Dübelabstände	73
4.2.3 Querschnittsschwächungen.....	73
4.2.4 Bemessungstabellen	74
4.2.2.1 Dübeltyp A und B.....	74
4.2.2.2 Dübeltyp C.....	75
4.2.2.3 Dübeltyp D.....	76

5. PARAMETERSTUDIEN UND BEMESSUNGSHILFSMITTEL	77
5.1 VERBINDUNGEN MIT RING- UND SCHEIBENDÜBELN	77
5.1.1 Einfluss der zur Faserrichtung gerichteten Krafrichtung α	77
5.1.2 Rohdichte des Holzes	78
5.1.2.1 Modifikationsbeiwert k_3	78
5.1.3 Seiten- und Mittelholzdicke	79
5.1.3.1 Modifikationsbeiwert k_1	79
5.1.4 Dübeldurchmesser und Randabstand	81
5.1.4.1 Modifikationsbeiwert k_2	81
5.1.4.2 Direkter Einfluss von d_c auf die Dübeltragfähigkeit $F_{v,0,k}$	81
5.1.5 Wirksame Anzahl von hintereinander angeordneten Dübeln	83
5.2 VERBINDUNGEN MIT SCHEIBENDÜBELN MIT ZÄHNEN	84
5.2.1 Bolzendurchmesser und Randabstand	84
5.2.1.1 Modifikationsbeiwert k_2	84
5.3 BEMESSUNGSHILFSMITTEL	87
5.3.1 Annahmen für die Tabellenwerte	87
5.3.2 Dübeltyp A1	88
5.3.3 Dübeltyp A5	90
5.3.4 Dübeltyp C1	91
5.3.5 Dübeltyp C5	93
5.3.6 Dübeltyp C10	94
6. VERGLEICH EC 5 ZU ÖNORM B 4100-2	96
6.1 DÜBELTYP A1	96
6.2 DÜBELTYP A5	99
6.3 DÜBELTYP C1	100
6.4 DÜBELTYP C5	102
6.5 DÜBELTYP C10	103
7. LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON DÜBELN NACH EC 5	104
7.1 ANNAHMEN FÜR DIE LEISTUNGSBERECHNUNG	104
7.2 LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON EINLASSDÜBELN	105
7.2.1 Dübeltyp A1	105
7.2.2 Dübeltyp A5	106
7.3 LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON EINPRESSDÜBELN	106
7.3.1 Dübeltyp C1	106
7.3.2 Dübeltyp C5	107
7.3.3 Dübeltyp C10	107
7.4 VERGLEICHSTABELLEN	108
7.4.1 Leistungsfähigkeit nach Dübeltypen	108
7.4.2 Leistungsfähigkeit nach maximaler Übertragungskraft	109
7.4.3 Leistungsfähigkeit nach erforderlicher Holzfläche	110
7.4.4 Leistungsfähigkeit nach spezifischer Übertragungskraft	111
8. SCHLUSSBEMERKUNG	112
9. ANHANG	115
9.1 LITERATURVERZEICHNIS	115
9.2 INTERNETQUELLEN	117
9.3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	118
9.4 TABELLENVERZEICHNIS	118

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Seitdem man Holz für konstruktive Zwecke verwendet, bestehen Aufgabe und Schwierigkeit darin, die durch das natürliche Wachstum begrenzten Holzlängen und Holzquerschnitte zu einer tragfähigen Konstruktion zu verbinden. Diese Eigenart des Baustoffs Holz erfordert, dass man der Verbindung und den Verbindungsmitteln größte Aufmerksamkeit schenkt.

Von maßgebendem Einfluss auf die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Verbindungsmitteln sind unter anderem:

- Größe und Anzahl der Verbindungsmittel
- Holzart
- Holzfeuchte
- Art der Belastung und Belastungsdauer
- Geschwindigkeit der Belastungseintragung
- Raumklima

Der Begriff "Verbindungsmittel" ist ein übergeordneter Begriff für Befestigungs-, Halte- und Kraftübertragungsmittel. Nach DIN 1052, alt Teil 1 und Teil 2 werden:

- mechanische Verbindungen und
- Klebeverbindungen unterschieden.

Mechanische Verbindungen sind Verbindungen, bei denen unter Scherbeanspruchung lastabhängige Verschiebungen zwischen den miteinander verbundenen Bauteilen auftreten. Diese werden durch Lochleibungsverformungen im Verbindungsbereich des Holzes und zusätzlich durch die Verformung der Verbindungsmittel hervorgerufen. Man bezeichnet derartige Verbindungsmittel auch als nachgiebig, im Vergleich zu Klebeverbindungen, die als unnachgiebig bzw. starr bezeichnet werden.

Die DIN 1052, neu verwendet den Begriff mechanische Verbindungsmittel als übergeordneten Begriff für nachgiebige Verbindungsmittel nicht mehr. Die nachgiebigen Verbindungsmittel des Holzbaus werden jetzt unterteilt in:

- Stiff förmige metallische Verbindungsmittel (Nägel, Stabdübel, Passbolzen, Bolzen/Gewindestangen, Holzschrauben, Klammern)
- Sonstige mechanische Verbindungsmittel (Nagelplatten, Ring- und Scheibendübel ohne bzw. mit Zähnen und Dornen).

Unter dem Begriff zimmermannsmäßige Verbindungen werden in DIN 1052, neu Regeln für die Berechnung von Holznägeln, Versätzen und Zapfen zusammengefasst. Dem Begriff Klebungen sind verschiedene Klebeverbindungen zugeordnet, wie Schraubenpressklebungen, eingeklebte Stahlstäbe, geklebte Tafелеlemente, Universalkeilzinkenverbindungen, Schäftungen und Verbundbauteile aus Brettschichtholz. Da heute ausschließlich Klebstoffe auf Kunstharzbasis Verwendung finden, wird im Folgenden der traditionelle Begriff Leimverbindungen durch den Begriff Klebeverbindungen ersetzt. [7]

1.2 Einteilung der Verbindungsmittel

1.2.1 Überblick

Die Verbindungsmittel können nach verschiedenen Gesichtspunkten geordnet werden:

- nach dem Baustoff:
 - hölzerne Verbindungsmittel
 - metallische oder nichtmetallische Verbindungsmittel Klebstoffe
- nach der Technologie:
 - handwerkliche (oder zimmermannsmäßige) Verbindungsmittel
 - neuzeitliche Verbindungsmittel (für industrielle Fertigung).
- nach der Wirkungsweise:
 - flächenförmige Verbindungsmittel
 - punkt- bzw. stiftförmige Verbindungsmittel

Das Lösen von Verbindungen spielt in der Verbindungstechnik eine große Rolle. Man unterscheidet zwischen:

- vollständig lösbare (z. B. Bolzen-, Klammerverbindungen, Einlassdübel)
- bedingt lösbare (z. B. Nagelverbindungen, Einpressdübel) und
- unlösbare Verbindungen (z. B. Klebeverbindungen).

Da die Verbindungsmittel im Holzbau schon immer entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Holzbauwerken hatten, haben sich im Laufe der Entwicklung viele Formen herausgebildet. Diese breite Palette lässt sich nach unterschiedlichsten Gesichtspunkten ordnen z. B. nach ihrer geometrischen Form, nach dem Werkstoff oder nach der Art des Einbaus.

Bei den üblichen Verbindungen wird unterschieden zwischen zimmermannsmäßigen Holzverbindungen und mechanischen Verbindungen, die mit unterschiedlichen Verbindungsmitteltypen ausgeführt werden können.

[7]

In einer Holzkonstruktion wird die Wahl der Verbindungsmittel nicht nur von der Belastung und der Tragfähigkeit festgelegt. Es sind weiterhin die Ästhetik, die Kosteneffizienz und der Herstellungsprozess zu berücksichtigen. Die Methode der Errichtung und die Vorlieben des Tragwerkplaners oder des Architekten sind ebenfalls zu berücksichtigen. Es ist daher nicht möglich, allgemeingültige Regeln, mit denen die günstigste Verbindung für eine Konstruktion entworfen werden kann, anzugeben. Der Hauptgedanke sollte sein, dass einfache Verbindungen und wenige Arten von Verbindungsmitteln verwendet werden sollten, um eine gute Konstruktion zu erhalten. Traditionelle mechanische Holzverbindungsmittel können nach der Art der Kraftübertragung zwischen den Bauteilen in zwei Gruppen unterteilt werden:

1.2.2 Stifförmige Verbindungsmittel

Die erste Gruppe sind die stiftförmigen Verbindungsmittel. Hier wird durch die Kraftübertragung sowohl Biegung in den Stiften, als auch Lochleibungs- und Schubspannungen im Holz entlang des Schaftes verursacht. Nägel, Klammern, Bolzen, Schrauben und Stabdübel gehören in diese Gruppe. Auf diese Kategorie von Verbindungsmitteln wird in der vorliegenden Arbeit nicht weiter eingegangen.

1.2.3 Flächenartige Verbindungsmittel

Die zweite Gruppe beinhaltet flächenartige Verbindungsmittel wie Einlass-, Einpressdübel und Nagelplatten, bei denen die Kraftübertragung im Wesentlichen auf der Oberfläche des Bauteils über Abscheren und Druck erfolgt. In großen Konstruktionen können Verbindungsmittel mit speziellen Stahlteilen kombiniert werden, so z.B. in Verbindungen mit dem Fundament oder in Firstknoten.

Neben den mechanischen Verbindungsmitteln gibt es auch die Gruppe der geleimten Verbindungen. Die Herstellung dieser Verbindungen erfordert eine besondere Qualitätskontrolle. Diese Technik wird hauptsächlich bei eingeleimten Stäben oder bei Keilzinkenverbindungen in Rahmenecken verwendet. [10]

1.2.4 Kraft–Verschiebungs-Diagramm

Die Tragfähigkeit der Holzverbindungen und Verbindungsmittel und alle damit zusammenhängenden Fragen, wie z. B. Verschiebungswege, Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel usw., werden durch Festigkeitsprüfungen mit verschiedenen Belastungsverfahren, Lastzunahme und -abnahme festgestellt. Um die Güte der Verbindungsmittel zu überprüfen, ist das Kraft-Verschiebungs-Diagramm maßgebend (Abb. 1).

Maßgebend für die Prüfung von Verbindungen für Holzkonstruktionen ist die DIN EN 26891. Dabei sind besonders

- die Höchstlast und
- die Verschiebung unter Gebrauchslast

für die Wahl der Verbindungsmittel maßgebend. Nagel-, Stift-, Bolzen- und Dübelverbindungen übertragen die Kräfte an einzelnen Punkten vorwiegend über die Lochleibung in die verbundenen Hölzer. Dabei spielen die Festigkeit der Verbindungsmittel und die Lochleibungsfestigkeit des Holzes eine Rolle. Bei Belastung der Verbinder entstehen in den Lochleibungen des Holzes elastische und plastische Eindrückungen. Deswegen nennt man sie nachgiebige Verbindungen.

In Abb.1 sind die Kraft-Verschiebungs-Diagramme von Klebstoff-, Nagel- und Bolzenverbindungen einander gegenübergestellt. Es zeigt, dass Klebeverbindungen die steifsten sind. Die Bolzenverbindungen dagegen weisen die größten Verschiebungen auf, während eine Nagelverbindung mit vielen Nägeln unter der Gebrauchslast nur einen geringen Schlupf zeigen.

Nach DIN 1052, alt errechnet sich die zulässige Tragfähigkeit von mechanischen Verbindungsmitteln aus Versuchen, wobei die mittlere Bruchlast durch einen summarischen Sicherheitsfaktor von 2,75 dividiert wird. Bei sehr nachgiebigen Verbindungen ist die Begrenzung der relativ großen Verschiebungen für die Festlegung der Gebrauchslast maßgebend. Unter Gebrauchslast darf die Verschiebung maximal 1,5 mm betragen.

Mit der Vereinheitlichung der europäischen Normen hat man auch einheitliche Regeln für Traglastversuche an Holzverbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln geschaffen, die in DIN EN 383, DIN EN 409, DIN EN

26891, DIN EN 28970 niedergelegt sind. Der Unterschied besteht darin, dass die Verbindung bei 40 % der zu erwartenden Bruchlast wieder entlastet wird und dann erst die Last kontinuierlich bis zum Bruch gesteigert wird.

Für eine optimale Verbindungsart ist nicht allein der Wirkungsgrad der Verbindung entscheidend, sondern auch das Verformungsverhalten über lange Zeit hinweg und unter variierenden Bedingungen (z.B. Feuchteänderungen, Änderungen der Lasteinwirkungsdauer) [7]

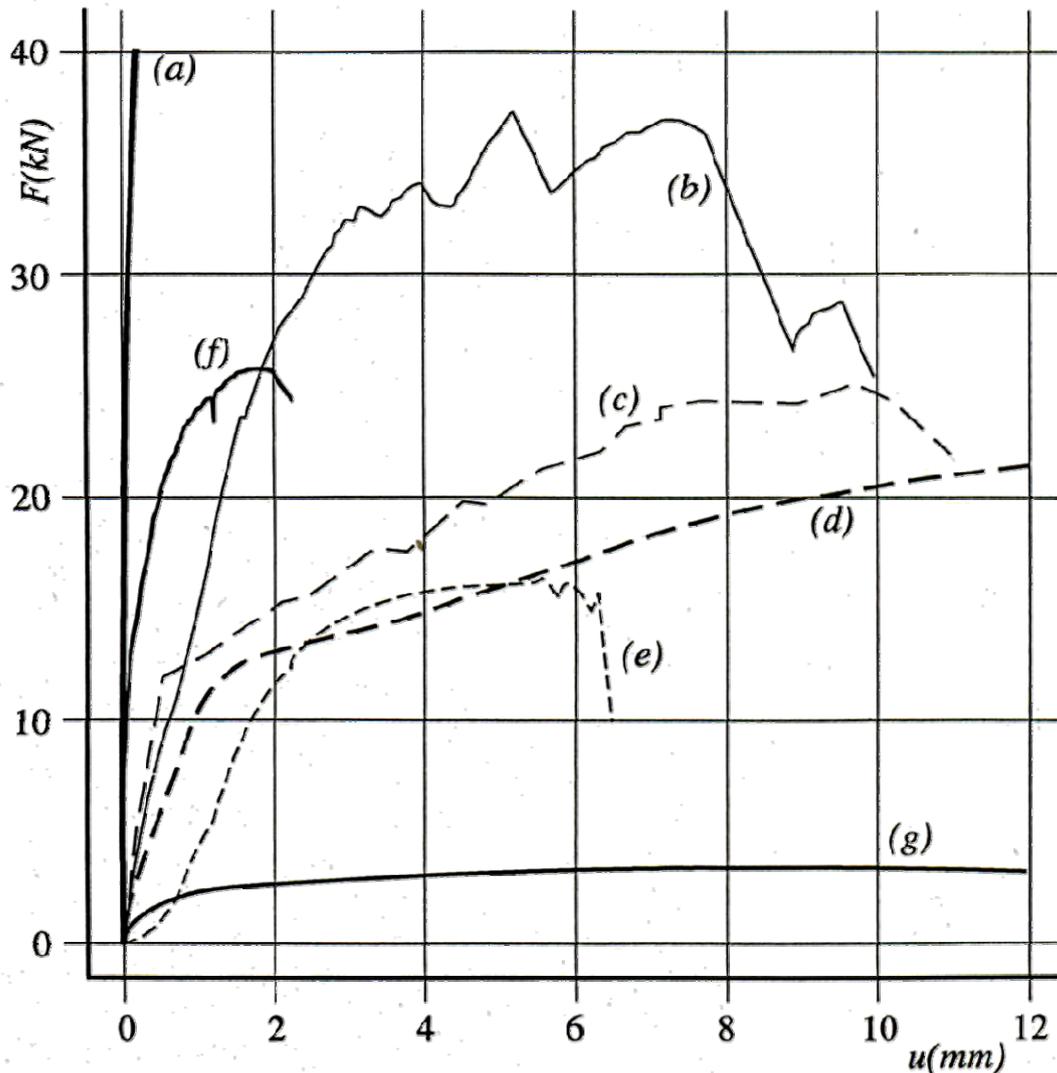


Abb. 1: Experimentelle Last-Verschiebungskurven für Verbindungen unter Zugbeanspruchung in Faserrichtung: (a) geleimte Verbindung ($12,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$), (b) Einlassdübel (100 mm), (c) zweiseitiger Einpreßdübel (62 mm), (d) Stabdübel (14 mm), (e) Bolzen (14 mm), (f) Nagelplatte (10^4 mm^2), (g) Nägel (4,4 mm) [15]

1.3 Geschichtliche Entwicklung

1.3.1 Entwicklung der Holzverbindung

Beim urzeitlichen Holzbau hat man, wie anzunehmen ist, "Holzknotenpunkte" im vollen Sinn des Wortes mit Seilen oder Stricken "verknötet", wie dies bei Behelfsbauten oder im Gerüstbau heute noch geschieht, wenn mitunter Rundholz verwendet wird. Solange handbehauene Hölzer eingebaut wurden, bis etwa 1860/70 wurden z. B. Sparren und Balken nicht gestoßen. Schon vor unserer Zeitrechnung entwickelten Zimmerer Holzverbindungen, bei denen Holzstäbe mit gleichen oder verschiedenen Richtungen in Knotenpunkten zusammenstießen. Diese Verbindungen konnten keine nennenswerten Zugkräfte übertragen.

1.3.1.1 Zimmermannsmäßige Verbindungen

Als älteste Verbindung ist die Verblattung bekannt; sie wurde ursprünglich mit Keilen gesichert. Später wurden die unterschiedlichsten Zapfenverbindungen entwickelt, anfangs ebenfalls verkeilt, dann mit Holznägeln gesichert. Bei diesen Holzverbindungen wurden die Kräfte über Druckspannungen in Kontaktflächen übertragen. Diese Holzverbindungen bestimmten Jahrhunderte lang die Konstruktionsprinzipien des Zimmermannsbaus:

- bevorzugte Verwendung von Druckstäben, die ihre Druckkraft an den Stabstirnen durch Stumpfstoß, Zapfen, später Zapfen mit Versatz (Stirnversatz) abgeben
- bevorzugte Verwendung von Hänge- und Sprengwerken als Brückentragwerke oder Dachstuhlkonstruktionen im Hochbau. Diese Verbindungen wurden - oft allerdings unter erheblichem Holzaufwand - zu hoher Vollendung entwickelt.

Bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts setzte der Zimmerer den größten Ehrgeiz daran, alle Holzverbindungen ohne Eisenteile auszuführen. Diese Anschauung änderte sich, als die Eisenherstellung immer billiger und umfangreicher wurde und die Anforderungen an die Spannweiten und Lasten, z. B. im Brücken- und Hallenbau, stiegen.

1.3.1.2 Ingenieurmäßige Verbindungen

Von nun an wurden metallische Verbindungsmittel unterschiedlichster Art entwickelt. Diese gaben dem Holzbau eine andere Richtung und ermöglichten neue Entwicklungen; damit wurde der Holzbau, genauer gesagt, der Ingenieur-Holzbau, effizienter und gegenüber dem Stahlbau konkurrenzfähiger.

Ziel der Entwicklung von Verbindungsmitteln waren unter anderem die Übertragung größerer Kräfte, der einfache Einbau und ein günstiges Verformungsverhalten. [7]

1.3.2 Entwicklung des Dübels im Holzbau

Die Idee der Dübelverbindung ist alt. Seit langem ist der Zimmermannsdübel, ein rechteckiger Hartholzdübel, vielfältig angewendet worden (z. B. als Längsdübel, Zahndübel, als keilförmiger Querdübel). Bereits im 19. Jahrhundert wurden gusseiserne Dübel im Holzbrückenbau eingesetzt. Die zum Teil heute noch verwendeten Dübel besonderer Bauart wurden zwischen 1890 und 1930 im Zusammenhang mit dem Bau immer größerer Tragkonstruktionen entwickelt.

Dübelkonstruktionen wurden erfolgreich für weit gespannte Fachwerkkonstruktionen eingesetzt. Sie ermöglichen eine Zentrierung der Systemachsen. Dübelverbindungen mit Dübeln besonderer Bauart wurden besonders für größere Holzkonstruktionen des Hallen- und Brückenbaus mit Spannweiten bis zu 60 m angewendet, auch für Turmkonstruktionen bis 190 m Höhe und für stark belastete Lehrgerüste. Von der ehemals großen Palette an Dübeln besonderer Bauart werden heute nur noch wenige angewendet. [7]

1.3.2.1 Dübel einfacher Bauart

Den frühesten Vollholzdübel hat der Franzose Emy in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts erfunden und in seinem 1856 in Italien erschienenen Werk zur Zimmererkunst: "Trattato dell'Arte del Carpentiere", vorgestellt.

Einer der ältesten in Serie hergestellten und heute noch in allen Tabellen geführter Dübel ist der aus Hartholz gefertigte Kübler-Dübel. Dieser Holzverbinder hat eine tonnenförmige Gestalt und wirkt wie eine Verdickung des ihn sichernden Bolzens an der Verbindungsstelle der Hölzer.

Das Patent für den Küblerdübel (Abb.2a,b) und die daraus entwickelte Holzverbindung wurde bereits im Jahre 1917 erteilt. Wichtig ist bei diesem Dübel die Ausrichtung des Dübels gemäß seinem Faserverlauf. Die Fasern im Dübel und im Anschlussholz müssen parallel verlaufen. Die erforderliche vollflächige Ausfräsung erzeugt eine relativ große Fehlfläche in den anzuschließenden Hölzern.



Abb. 2a: Ansicht eines Küblerdübels

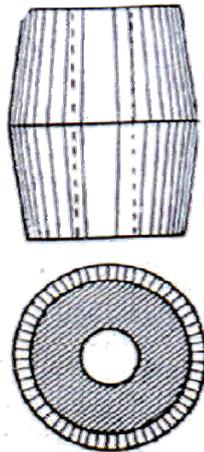


Abb. 2b: Grund- und Aufriss eines Küblerdübels [11]

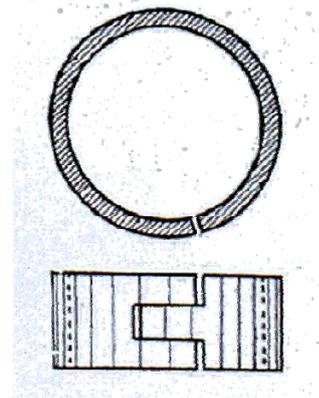


Abb. 2c: Grund- und Aufriss eines Tuchscherer-Ringdübels [11]

Heute gebräuchlicher in ihrer Anwendung sind Ringkeildübel, von denen einer bereits im Jahre 1920 unter dem Namen Tuchscherer-Ringdübel (Abb.2c) patentiert wurde. Für diese Dübel wird rund um das Bohrloch für den Klemmbolzen eine keilförmige Nut gefräst, die den keilförmigen Ring des Dübels aufnimmt. Man unterscheidet zwischen ein- und zweiseitigen Dübeln.

Der einseitige Ringkeildübel wird für die Verwendung zwischen Holz und Stahlbauteilen verwendet, der zweiseitige für die Verbindung Holz zu Holz. Der heute gebräuchliche Ringkeildübel ist der sogenannte Appel - Ringkeildübel (Abb.2d), der in den statischen Tabellenwerken geführt wird. Dieser Dübel wird aus Tempergussmaterial hergestellt. [9]



Abb. 2d: Appel – Ringkeildübel /3/



Abb. 2.1d: Geka - Dübel /3/

1.3.2.1 Zeittafel - Entwicklung des Dübels besonderer Bauart

1891 wurde ein Zackenblech patentiert, das vor dem Zusammenschrauben zwischen die Hölzer gelegt wird.

Im Jahrzehnt von 1910 bis 1920 wurde von Industrieunternehmen und Holzfachleuten intensiv nach neuen Verbindungsmitteln geforscht. Dies ist unter anderem an der Fülle neuer Patente zu messen.

1917 erhielt der Schwede Forsell ein deutsches Patent für eine gewellte Blechscheibe zur Entlastung von Schraubenbolzen.

1919 wurden Walter Greim Anschlussplatten für hölzerne Bauglieder patentiert.

1920 erhielt Seydel aus Gera das Patent für einen ringförmigen Hartholzdübel und im gleichen Jahr erhielt Fiebig die Patentrechte für einen Hirnholzdübel.

Zahlreiche weitere Dübelarten wie Stufenringdübel, zweiteilige Ringdübel, Ringdübel mit Einbuchtungen, Ringdübel aus spiralförmig gewickelten Bandeisen, Jackson-Ringdübel, Alligator-Ringdübel, Kippdübel, Tellerdübel und Krallendübel folgten. [9]

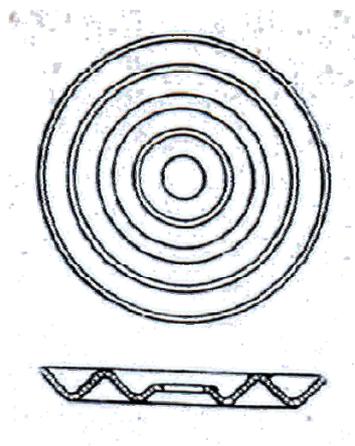


Abb. 2e: Wellblechscheibe [11]

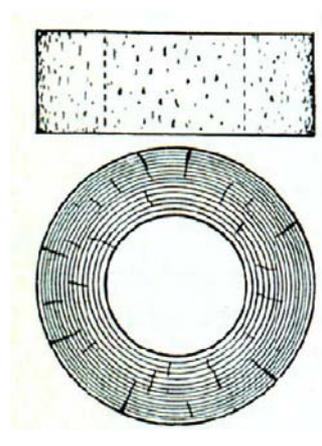


Abb. 2f: Hirnholzdübel [11]

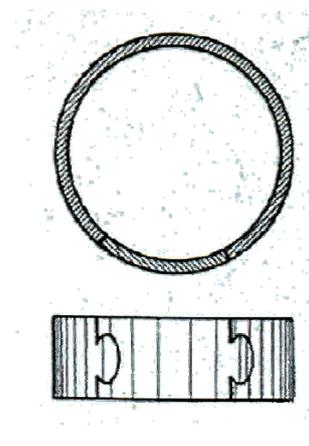


Abb. 2g: 2-teiliger Ringdübel [11]

Weiters ließ im Jahre 1920 der norwegischen Erfinder Theodorsen in Deutschland die heute noch gebräuchlichen Bulldog – Holzverbinder patentieren. Der Bulldog – Dübel besteht aus einem kreisförmigen Blech, aus dem wechselseitig einzelne Zacken nach außen gebogen werden.

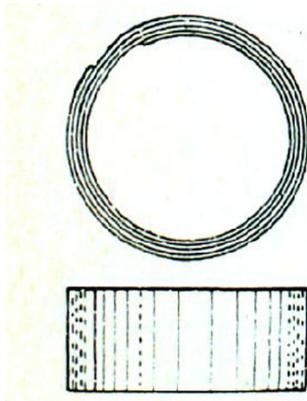


Abb. 2h: Spiraldübel aus gewickeltem
Bandeisen [11]

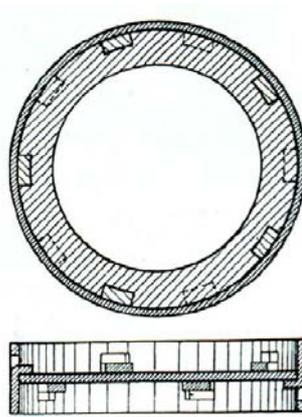


Abb. 2i: Jacksondübel [11]

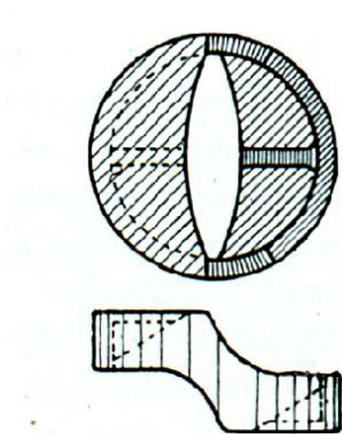


Abb. 2j: Kippdübel [11]

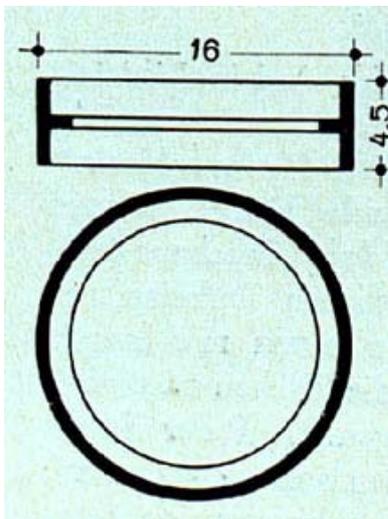


Abb. 2k: Tellerdübel [11]

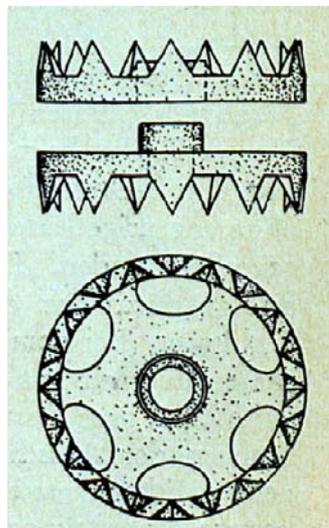


Abb. 2l: Krallendübel [11]

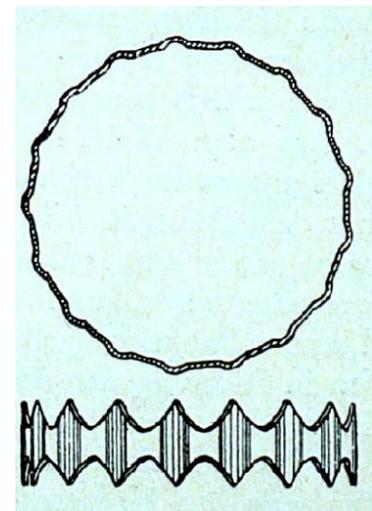


Abb. 2m: Alligatordübel [11]

Stärker verbreitet als der Bulldog – Dübel ist der Geka – Dübel (Abb.2.1d), der aus Aluguss hergestellt wird, da er höhere Lasten als der Bulldog-Dübel übertragen kann. Seine Funktionsweise entspricht der des Bulldog-Dübels. Auch Einpressdübel werden in einseitiger wie zweiseitiger Ausführung produziert. [9]

Weitere heute gebräuchliche Dübelarten sind der Siemens – Bauunion - Dübel, welcher eine Weiterentwicklung des historischen Krallendübels ist, sowie der häufig zum Einsatz kommende und einfach zu handhabende Appeldübel in ein- wie auch doppelseitiger Ausführung.

1.4 Dübelverbindungen

1.4.1 Allgemeines

Dübelverbindungen ermöglichen das Übertragen größerer Zug-, Druck-, Schub- und Abscherkräfte auf eine verhältnismäßig kleine Anschlussfläche. Während der Dübel allein die Anschlusskraft von einem Holz auf das andere Holz überträgt, wobei jedoch die Beanspruchung der Hölzer im Bereich des Dübels so groß wird, dass das Holz mindestens der Güteklasse 11 entsprechen muss, hat der Bolzen ein Auseinandergehen der Verbindung infolge des Kippmomentes zu verhindern. Bei Verbindungen mit Dübeldurchmessern bzw. -seitenlängen ~ 130 mm sind, wenn zwei oder mehr Dübel in Krafrichtung hintereinander angeordnet sind, an den Enden der Außenhölzer oder -laschen Klemmbolzen anzuordnen. Alle Bolzen sind so anzuziehen, dass die Scheibe geringfügig (ca. 1 mm) in das Holz eingedrückt werden. Dübelkonstruktionen besitzen wie Nagelverbindungen aufgrund ihrer geringen Nachgiebigkeit eine wesentlich bessere Tragfähigkeit als Holzverbindungen mit Schraubenbolzen. Es entstehen kleinere Zusatzspannungen als bei geleimten Holzbauteilen. Die volle Tragfähigkeit kann aber nur dann auf die Dauer gewährleistet sein, wenn die durch Schwinden des Holzes gelockerten Schraubenbolzen wiederholt angezogen werden, und wenn der Einbau der Dübel durch präzise Maschinenarbeit mit größter Exaktheit erfolgt. [8]

1.4.2 Der Rechteck- bzw. Zimmermannsdübel

Der Zimmermannsdübel ist die älteste heute noch brauchbare Dübelart, die jedermann ohne besondere amtliche Zulassung frei herstellen und verwenden kann. Dabei handelt es sich um einen Rechteckdübel, für den nur trockenes Hartholz verwendet werden darf. Beim Einbau ist darauf zu achten, dass seine Fasern und die der zu verbindenden Hölzer wegen der größeren Lochleibungsfestigkeit und des geringeren Schwindens des Holzes in Faserrichtung gleichgerichtet sind. Er ist ferner auf die ganze Balkenbreite gleich tief in das Ober- und Unterholz einzulassen. Der Einbau der Dübel erfordert höchste Arbeitsgenauigkeit, damit besonders bei hintereinander

liegenden Dübeln eine gleichmäßige Tragwirkung erzielt werden kann. Wegen nicht vermeidbarer Herstellungsungenauigkeiten hat die DIN 1052 die Anzahl der in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübel mit Ausnahme des verdübelten Balkens auf höchstens 4 beschränkt. [8]

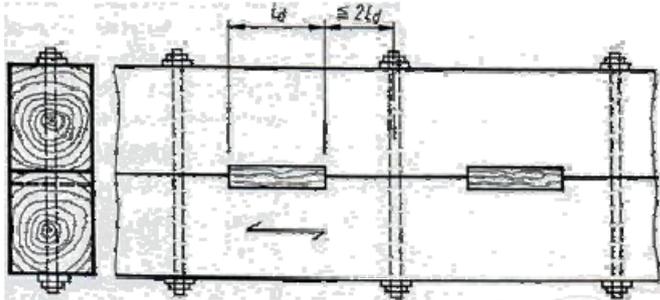


Abb. 3a: Zusammengesetzter Balken mittels Zimmermannsdübeln [7]

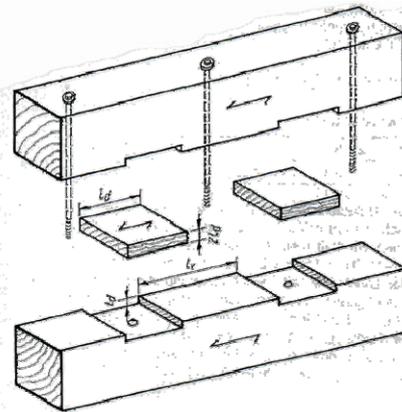


Abb. 3b: Komponenten einer Zimmermannsdübelverbindung [7]

1.4.3 Dübel besonderer Bauart

Mit Rechteckdübeln können nur Normalkräfte (Zug und Druck) in Faserrichtung aufgenommen werden. Sie haben also den Nachteil, dass sie für Anschlüsse von Schrägstäben nicht verwendet werden können.

Im Gegensatz dazu eignen sich Fertigdübel, deren bestimmungsgemäße Herstellung durch eine der DIN50049-2.1 entsprechenden Werksbescheinigung mit Angabe des Werkstoffes, gegebenenfalls des Korrosionsschutzes und der Maße nach DIN 1052, Teil 1 sowie des Zeichens des Herstellers nachgewiesen ist, für Beanspruchungen gleichlaufend, schräg und rechtwinklig zur Faserrichtung.

Durch die Vergrößerung der lastabtragenden Fläche können Dübel besonderer Bauart große Lasten übertragen. In Fachwerkknoten können nahezu ideal gelenkige Verbindungen erreicht werden, wenn je Anschlussfuge ein einziger Dübel besonderer Bauart anstelle mehrerer Stabdübel eingesetzt wird. Abb. 2 zeigt typische Formen von Einlass- und Einpressdübel. [8]

1.4.3.1 Einlassdübel

Einlassdübel werden sowohl in Holz-Holz- als auch in Stahlblech-Holz-Verbindungen, meist zusammen mit Bolzen, verwendet. Während zweiseitige Einlassdübel ausschließlich in Holz-Holz-Verbindungen verwendet werden können, eignen sich einseitige auch für die Verbindung von Holz mit Stahl. Einseitige Einlassdübel werden in Holz-Holz-Verbindungen verwendet, wenn z.B. die Dübel bereits vor der Montage eingebaut werden sollen, oder wenn das Tragwerk mehrfach auf- und abgebaut werden soll.

Einlassdübel gibt es in vielen verschiedenen Formen und Größen mit Durchmessern zwischen 60 und 260 mm. Sie sind immer kreisförmig, da sie in vorgefräste Vertiefungen im Holz eingelegt werden, Einlassdübel bestehen aus Aluminiumgusslegierungen, Stahl, Stahlguss oder Eichenholz. Die in Europa am meisten verwendeten Einlassdübel sind in EN 912 "Holzverbindungsmitel - Spezifikationen für Dübel besonderer Bauart für Holz" beschrieben. In EN 912 werden zweiseitige Einlassdübel aus Metall als Typ A, einseitige Einlassdübel als Typ B und zweiseitige Einlassdübel aus Eichenholz als Typ D bezeichnet.

Genauigkeit beim Fräsen und Bohren ist für den Einbau und das Tragverhalten dieses Verbindungsmitteltyps sehr wichtig. [10]

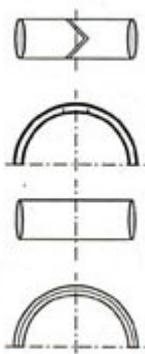


Abb. 4a: Zweiseitiger Einlassdübel
[10]

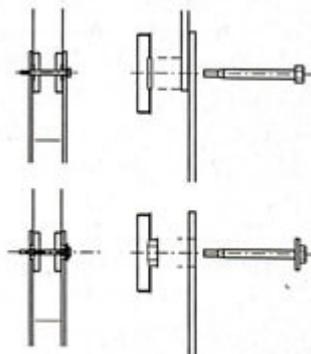


Abb. 4b: Einseitige Einlassdübel
[10]

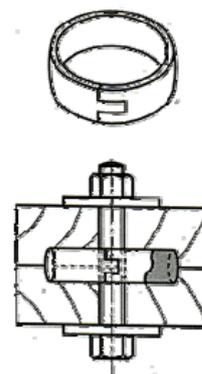


Abb. 4c: Einlassdübel in einer Holz-Holz-Verbindung [10]

1.4.3.2 Einpressdübel

Einpressdübel werden ähnlich wie Einlassdübel in Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen, meist zusammen mit Bolzen, verwendet. Während Einlassdübel in vorgefräste Vertiefungen im Holz eingelegt werden, werden Einpressdübel in die zu verbindenden Hölzer eingepresst. Um einen Spalt in der Dicke der Grundplatte (bis zu 3 mm) der Einpressdübel zwischen den Hölzern zu vermeiden, können die Grundplatten auch in vorgefräste Vertiefungen im Holz eingelassen werden. Einseitige Einpressdübel werden jedoch auch in Holz-Holz-Verbindungen verwendet, z.B. wenn die Dübel bereits vor der Montage eingebaut werden sollen, oder wenn das Tragwerk mehrfach auf- und abgebaut werden soll. Wegen des Einpressens der Zähne in die Hölzer, das mit zunehmender Rohdichte immer schwieriger wird, können Einpressdübel nur in Hölzern mit einer charakteristischen Rohdichte von weniger als etwa 500 kg/m^3 eingebaut werden

Einpressdübel sind in vielen verschiedenen Formen und Größen verfügbar, mit Durchmessern zwischen 38 und 165 mm. Sie sind meist kreisförmig, es gibt jedoch auch quadratische und ovale Formen. Einpressdübel bestehen aus kaltverformtem Bandstahl, feuerverzinktem Stahl oder Temperguss. Um die in den Verbindungen auftretenden Momente aufzunehmen, müssen die Verbindungen durch Verbindungsmittel mit runden oder quadratischen Unterlegscheiben gesichert werden. Die Abmessungen der Unterlegscheiben sollen etwa dem halben Durchmesser des verwendeten Dübels besonderer Bauart entsprechen. [10]

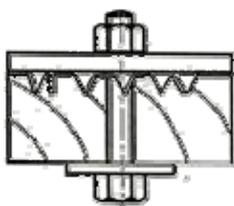


Abb. 4.1a: Einseitiger Einpressdübel in Stahl-Holz-Verbindung [10]

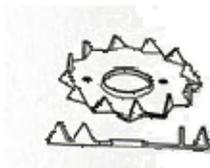


Abb. 4.1b: Einseitiger Einpressdübel [10]

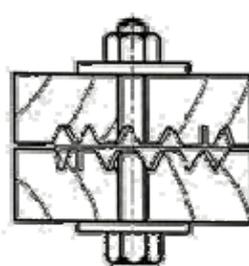


Abb. 4.1c: Einseitiger Einpressdübel in Holz-Holz-Verbindung [10]

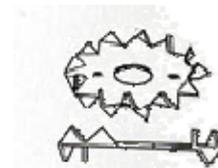


Abb. 4.1d: Zweiseitiger Einpressdübel [10]

2. Moderne Dübeltypen und deren Anwendung

2.1 Normative Erfassung

Die in Europa am meisten verwendeten Einpressdübel sind in EN 912 "Holzverbindungsmitel – Spezifikationen für Dübel besonderer Bauart für Holz" zusammengefasst und beschrieben. Ziel ist die Erfassung und Kategorisierung sämtlicher Dübeltypen aus älteren Normengenerationen. Im folgenden Kapitel werden die heute gebräuchlichen Dübeltypen und ihre entsprechenden Normen welche Maße und Werkstoffe festlegen, vorgestellt.

2.1.1 Dübeltypen nach ÖNORM B4100-2

2.1.1.1 Einlassdübel

- Dübeltyp A (z.B System Appel)

Als Dübeltyp A werden ein- und zweiseitige Ringkeildübel bezeichnet, die aus der Leichtmetallgusslegierung GD – AISi9 Cu3 nach ÖNORM EN 1706 bestehen. Er entspricht dem Dübeltyp A nach DIN 1052 alt.

- Dübeltyp B

Als Dübeltyp B werden offene Ringdübel mit rechteckigem Querschnitt bezeichnet. Er entspricht Dübeltyp A5 nach EN 912

2.1.1.2 Einpressdübel

Die Grundplatten des Dübeltyps D dürfen 3mm in das Holz eingelassen werden. Für die Verbindung von Holz mit Stahlteilen sind die einseitigen Einpressdübel der Dübeltypen C und D zulässig.

- Dübeltyp C (z.B. System Bulldog)

Einpressdübel des Typs C sind aus St2K40 nach ÖNORM EN 10139 herzustellen. Abmessungen, Material und Geometrie entsprechen dem Typ C nach DIN 1052 alt.

- Dübeltyp D (z.B. System GEKA)

Einpressdübel des Typs D sind aus Temperguss GTS-35-10 oder GTW-40-05 nach ÖNORM EN 1562 herzustellen. Abmessungen, Material und Geometrie entsprechen dem Typ D nach DIN 1052 alt. [2]

2.1.2 Dübeltypen nach DIN 1052 alt

Die vielfältigen Dübelformen können z.B. nach Material, Tragfähigkeit oder nach konstruktiven Gesichtspunkten beurteilt werden. In Bezug auf den Einbau der Dübel unterscheidet die DIN 1052 alt 3 Gruppen:

2.1.2.1 Einlassdübel

Dazu gehören jene Dübelarten, die mit Bohr-, Nut- und Fräsworkzeugen in passend vorbereitete Holzvertiefungen eingelegt werden. Bei Laubhölzern dürfen nur Einlassdübel verwendet werden. Man unterscheidet 2 Typen:

- Dübeltyp A

Dazu gehören die in 6 bzw. 7 verschiedenen Größen hergestellten zwei- und einseitigen Ringkeildübel System Appel. Diese Einlassdübel müssen mindestens aus der Leichtmetall - Gusslegierung 226 0 nach DIN 1725, Teil 2 bestehen. Für die Verbindung von Holz mit Stahlteilen ist die einseitige Ausführung des Dübeltyps A zulässig.

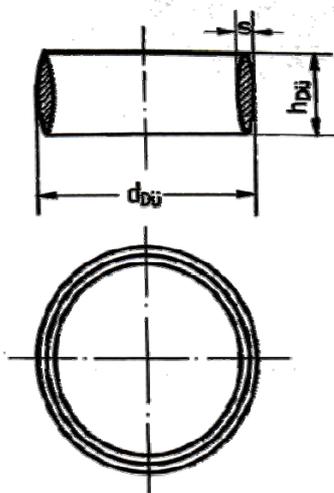


Abb. 5a: Typ A zweiseitig [8]

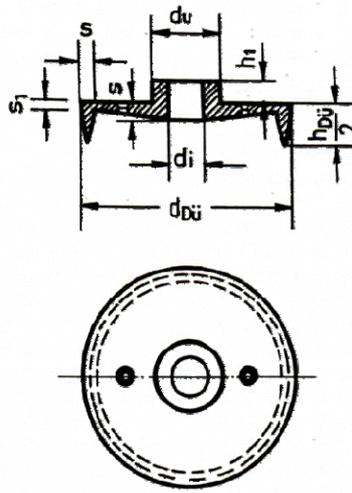


Abb. 5b: Typ A einseitig [8]

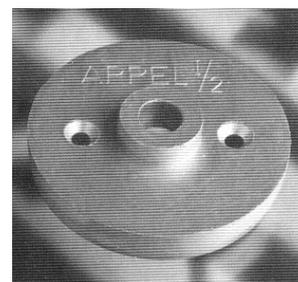
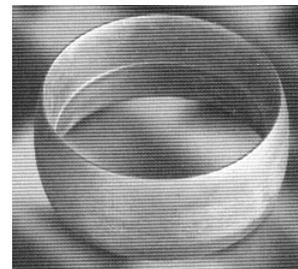


Abb. 5c: Ansicht von Typ A einseitig (unten) und zweiseitig (oben) nach System Appel /4/

- Dübeltyp B

Diese aus fehlerfreiem Eichenholz hergestellten Rundholzdübel nach Abb.6 gibt es nur in 2 Größen. Im Gegensatz zu den übrigen Dübeln besonderer Bauart ist dieser Dübeltyp nicht überwachungs- und kennzeichenpflichtig.

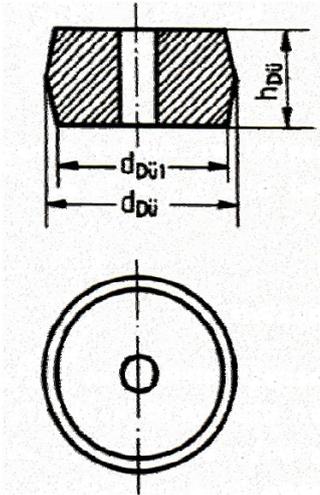


Abb. 6a: Typ B [8]



Abb. 6b: Ansicht von Typ B

2.1.2.2 Einpressdübel

- Dübeltyp C

Die Zähne dieser Dübel werden ohne Nut- und Fräsarbeit mit Pressen, Schraubspindeln oder dergleichen in das unvorbereitete Holz eingedrückt. Dabei darf das Holz außerhalb der Dübelfläche nicht beschädigt oder überbeansprucht werden.

Zu ihnen gehören die ein- und zweiseitigen Einpressdübel System Bulldog nach Abb.7. Das Stahlblech der Bulldog- Holzverbinder muss der Stahlsorte St 2 K 40 nach DIN 1624 entsprechen.

Bei Verwendung von Stahllaschen darf auf der Kopfseite auf die Scheiben verzichtet werden; auf der Gewindeseite dürfen Scheiben nach DIN 125 oder DIN 7989 verwendet werden. Beim Einbau dieser Einpressdübel des Typs C sind die Anforderungen der Tab.5 zu beachten.



Abb. 7a: Ansicht Typ C zweiseitig und rechteckig /3/



Abb. 7b: Ansicht Typ C einseitig und rund

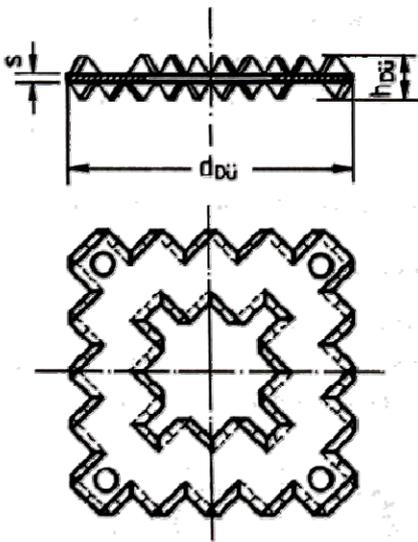


Abb. 7c: Typ C zweiseitig und rechteckig [8]

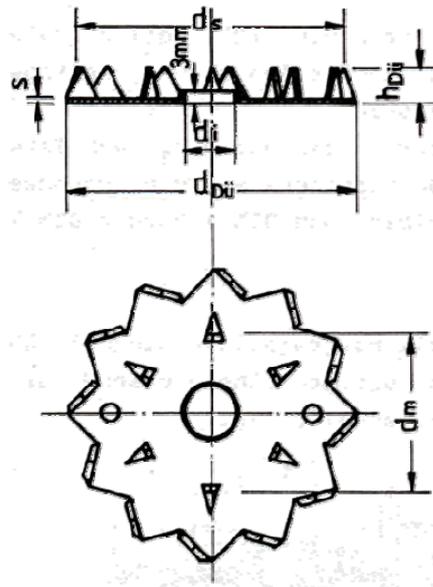


Abb. 7d: Typ C einseitig rund [8]



Abb. 7e: Ansicht Typ C einseitig rund



Abb. 7f: Ansicht Typ C zweiseitig rund /3/

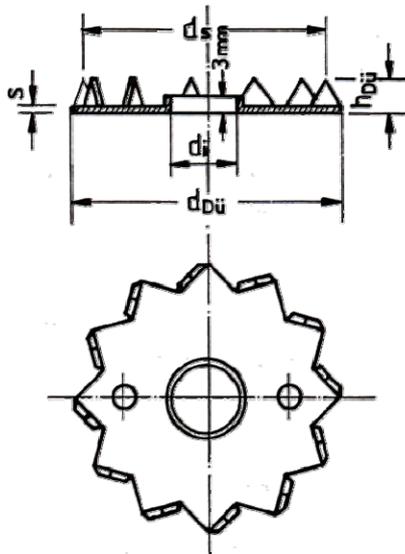


Abb. 7g: Typ C einseitig rund [8]

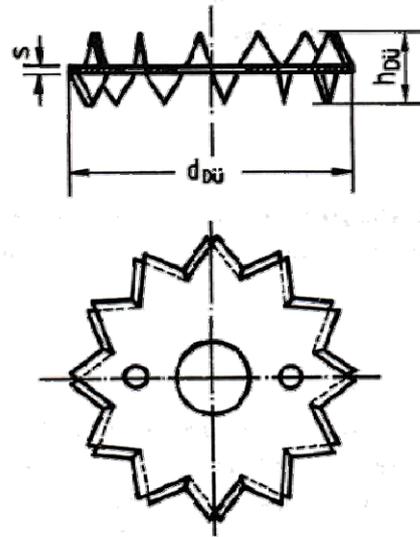


Abb. 7h: Typ C zweiseitig rund [8]

2.1.2.3 Einlass / Einpressdübel

o Dübeltyp D

Hierbei handelt es sich um einen Einpressdübel, der mindestens aus Temperguss GTS-35-1D oder GTW-4D-05 nach DIN 1692 herzustellen ist und bei dem die 3 mm dicke Grundplatte in das Holz eingelassen wird. Diese Bedingungen erfüllen die ein- und zweiseitigen Dübel System Geka nach Abb.8. Die Verwendung von Scheiben auf Stahllaschen entspricht dem Dübeltyp C. Beim Einbau dieser Holzverbinder sind die Anforderungen der Tab.6 zu berücksichtigen.

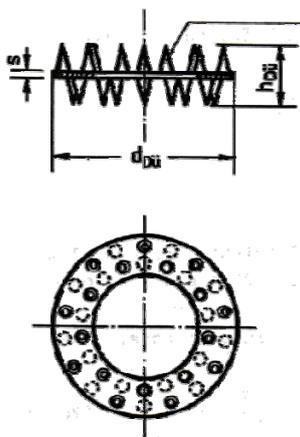


Abb. 8a: Typ D zweiseitig [8]

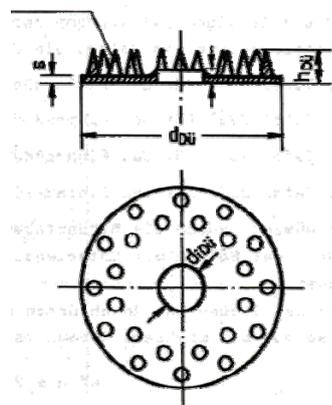


Abb. 8b: Typ D einseitig [8]



Abb. 8c: Ansicht Typ D ein- und zweiseitig nach System GEKA /5/

○ Dübeltyp E

Diese als Dübeltyp E bezeichneten Holzverbinder müssen mindestens aus Temperguss GTW-40-05 nach DIN 1692 hergestellt werden. Sie werden mit der Grundplatte in genau passende Vertiefungen der Hölzer eingelassen; anschließend sind die Zähne in die anzuschließenden Hölzer einzupressen. Für die Verbindungen von Holz mit Stahlbauteilen sind einseitige Dübel zulässig, wenn die Bohrlöcher in den Stahllaschen höchstens einen Durchmesser von 21 mm besitzen. Dieser in zwei Größen lieferbare Dübeltyp E nach Abb.9 entspricht dem früheren Fabrikat "Siemens-Bauunion". Verbindungen mit Einlass-/Einpressdübel müssen den Anforderungen der Tab. 6 entsprechen. [8]



Abb. 9a: Ansichten des einseitigen Typs E

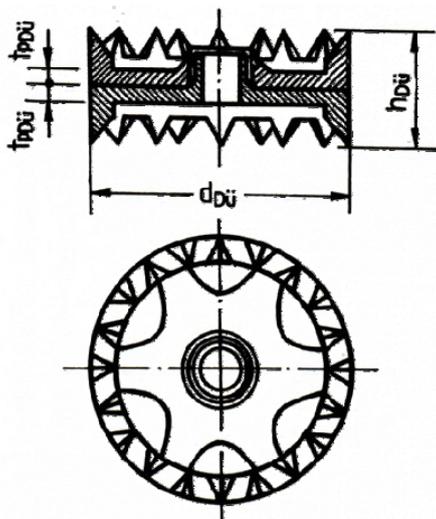


Abb. 9b: Typ E zweiseitig [8]

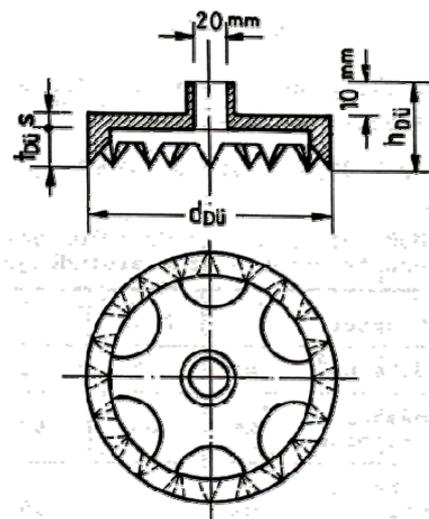


Abb. 9c: Typ E einseitig [8]

2.1.3 Dübeltypen nach EC 5 (basierend auf EN 912)

2.1.3.1 Begriffsdefinitionen laut EN 912

Dübel besonderer Bauart:

Eine im allgemeinen aus einer Scheibe, aus einer mit Zähnen versehenen Scheibe oder aus einem Ring bestehende Vorrichtung, die, wenn sie teilweise in beide oder in eine Kontaktfläche zweier Holzteile eingebettet und durch einen Klemmbolzen zusammengehalten wird, in der Lage ist, eine Last von einem Teil in ein anderes zu übertragen.

Zweiseitiger Dübel:

Ein Dübel besonderer Bauart mit symmetrischem Querschnitt, der in beide Kontaktflächen von zwei sich berührenden Holzteilen eingebettet ist.

Einseitiger Dübel:

Ein Dübel besonderer Bauart, der nur auf einer Seite in eine Holzkontaktfläche eingebettet ist.

Ringdübel:

Ein zweiseitiger Dübel besonderer Bauart, der als geschlossener Ring oder als Ring mit einem Spalt auf einer Stelle des Umfangs ausgebildet ist.

Scheibendübel:

Ein einseitiger Dübel besonderer Bauart, der aus einer Kreisscheibe mit einem Flansch entlang des Umfangs auf einer Seite der Scheibe besteht.

Scheibendübel mit Zähnen:

Ein Dübel besonderer Bauart, der aus einer Scheibe mit dreieckförmigen Zähnen entlang des Scheibenrandes oder mit Dornen auf der Scheibe besteht; ein mit Zähnen versehener Scheibendübel kann zweiseitig oder einseitig sein.

Die Dübel besonderer Bauart werden nach EN 912 in vier Übergruppen eingeteilt, für die in den normativen Anhängen Maße und Werkstoffspezifikationen angegeben sind:

Gruppe A: Ringdübel

Gruppe B: Scheibendübel

Gruppe C: Scheibendübel mit Zähnen und Dornen

Gruppe D: Sonstige Dübel besonderer Bauart

2.1.3.2 Gruppe A

Dies ist die Gruppe der zweiseitigen ringförmigen Einlassdübel mit insgesamt 6 Untertypen: Typ A1 – A6

Typ A1 – A6 unterscheiden sich jeweils voneinander einerseits durch den Ringdübelquerschnitt (rechteckig, linsenförmig, elliptisch), sowie andererseits durch die Art der Auftrennung des Dübelringes in Zapfen und Nut entlang des Ringumfanges

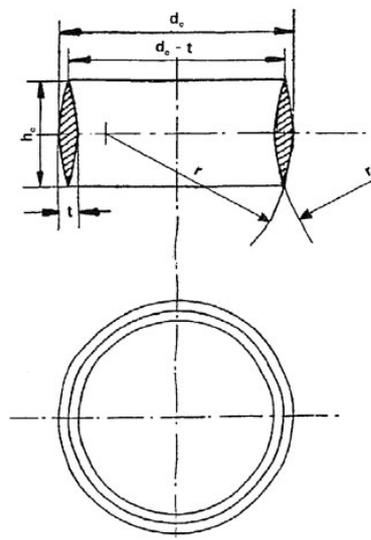


Abb. 10a: Typ A1 [3]

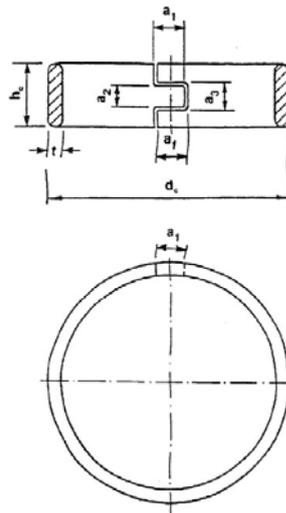


Abb. 10b: Typ A2 [3]

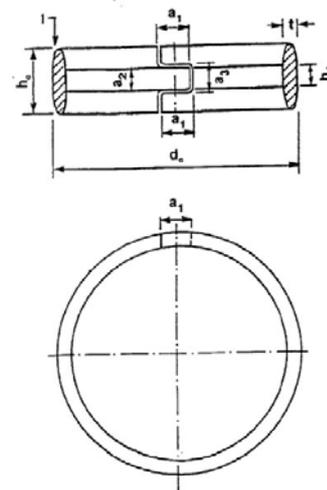


Abb. 10c: Typ A3 [3]

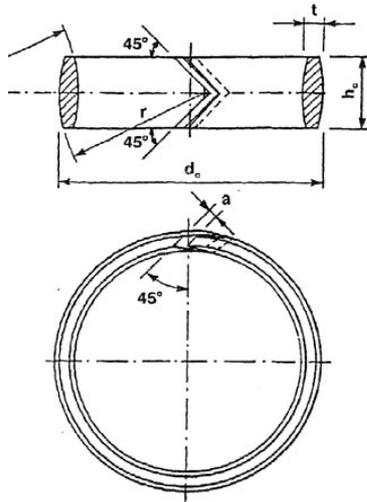


Abb. 10d: Typ A4 [3]

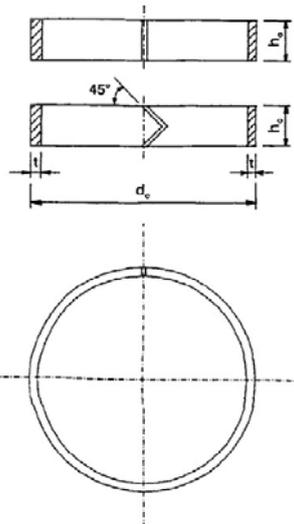


Abb. 10e: Typ A5 [3]

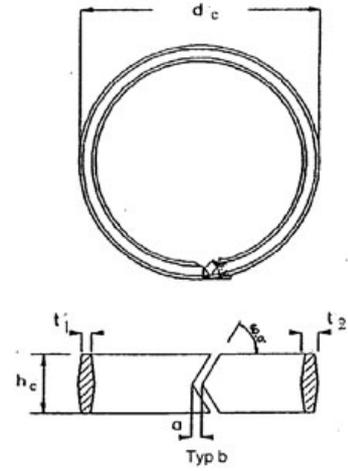


Abb. 10f: Typ A6 [3]

2.1.3.3 Gruppe B

Die ist die Gruppe der Scheibendübel (einseitiger Einlassdübel): mit 4 Untertypen: Typ B1 – B4

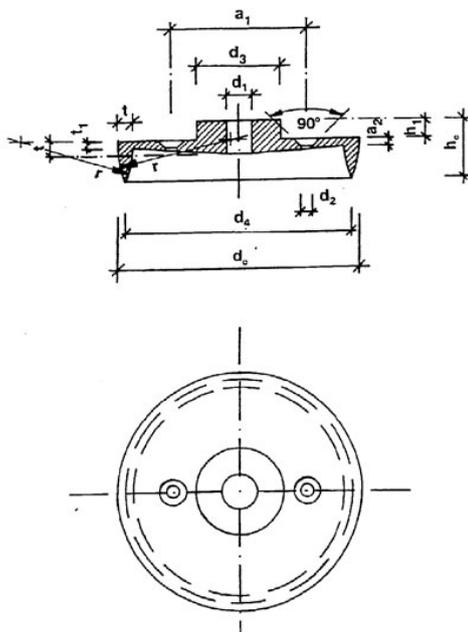


Abb. 11a: Typ B1 [3]

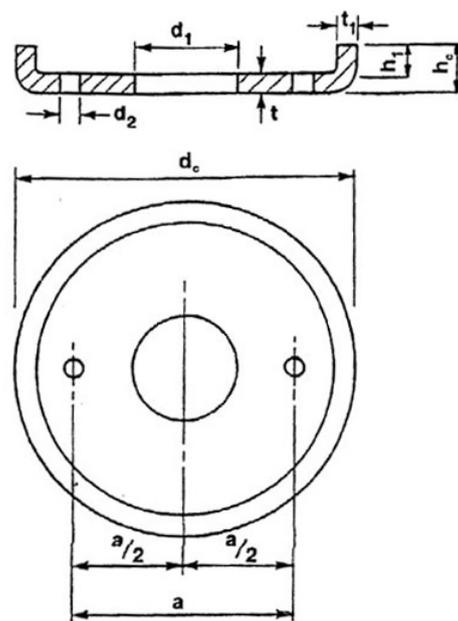


Abb. 11b: Typ B2 [3]

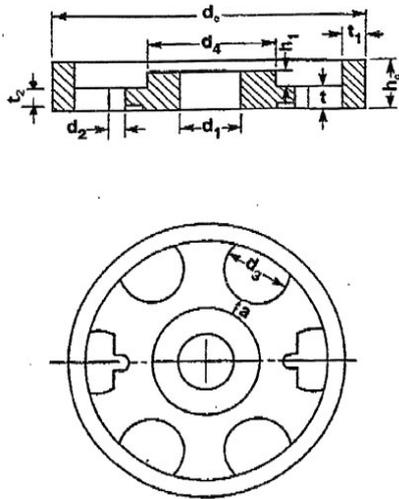


Abb. 11c: Typ B3 [3]

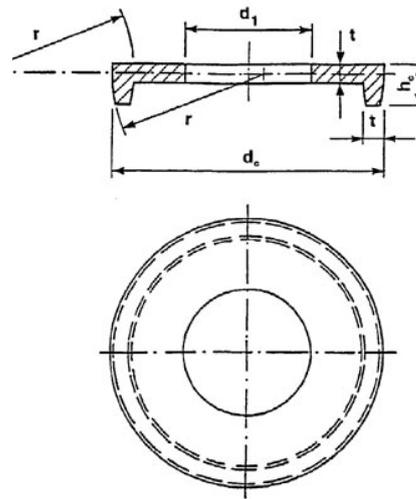


Abb. 11d: Typ B4 [3]

2.1.3.4 Gruppe C

Gruppe der Scheibendübel mit Zähnen und Dornen (Einpressdübel) mit 11 Untertypen: Typ C1 – C11 wobei unterteilt wird in:

- Scheibendübel mit Zähnen einseitig: Typ C2, C4, C7, C9

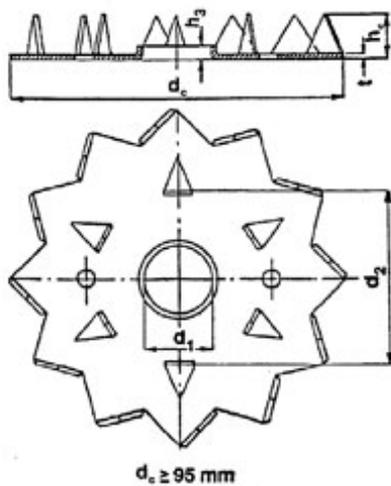


Abb. 12a: Typ C2 [3]

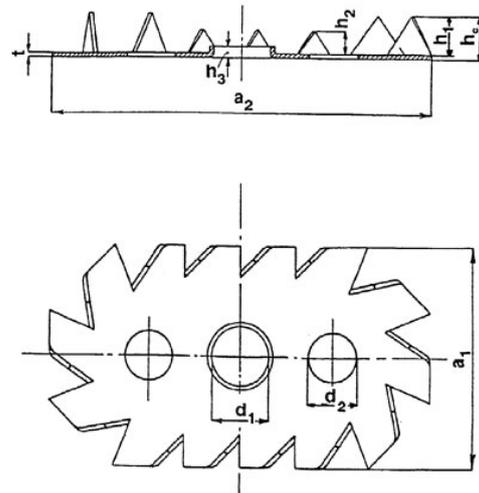


Abb. 12b: Typ C4 [3]

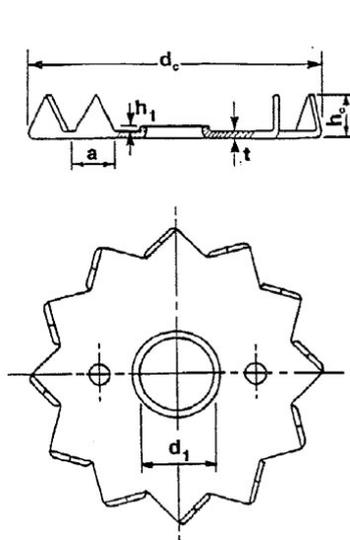


Abb. 12c: Typ C7 [3]

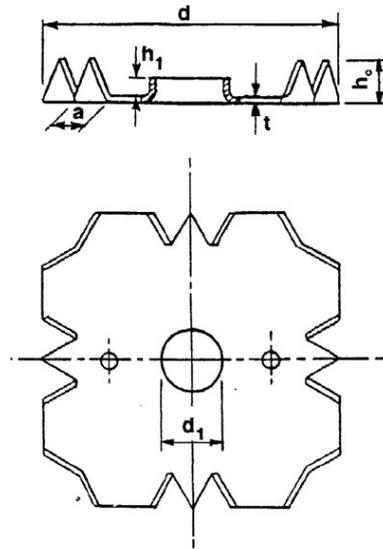


Abb. 12d: Typ C9 [3]

- Scheibendübel mit Zähnen zweiseitig: Typ C1, C3, C5, C6, C8

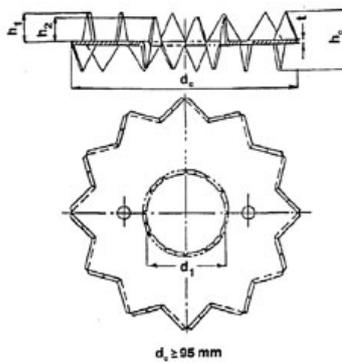


Abb. 13a: Typ C1 [3]

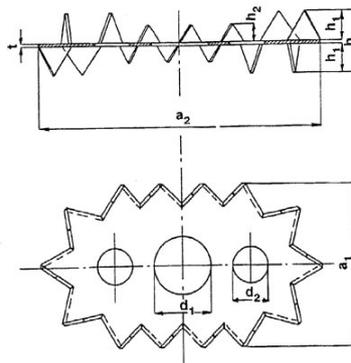


Abb. 13b: Typ C3 [3]

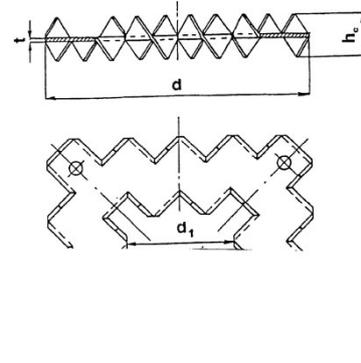


Abb. 13c: Typ C5 [3]

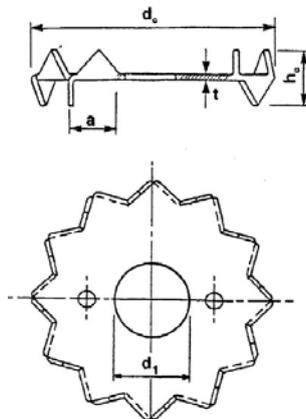


Abb. 13d: Typ C6 [3]

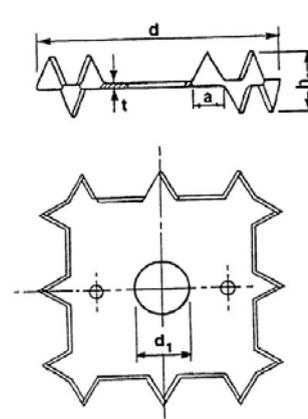


Abb. 13e: Typ C8 [3]

- Scheibendübel mit Dornen zweiseitig (C10) und einseitig (C11)

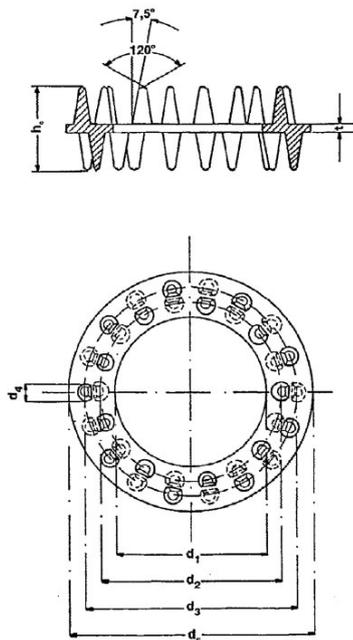


Abb. 14a: Typ C10 [3]

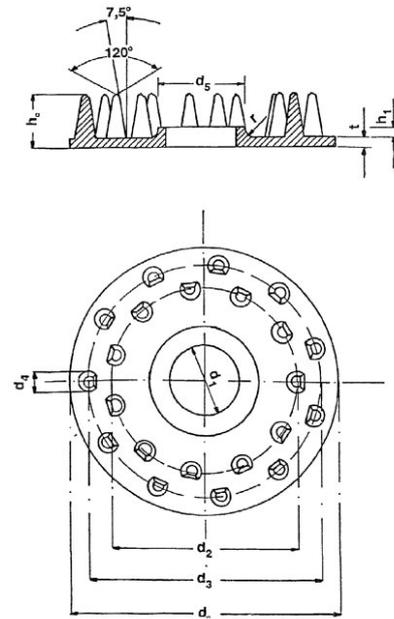


Abb. 14b: Typ C11 [3]

2.1.3.5 Gruppe D

Typ D1 (einziger Untertyp) ist ein zweiseitiger Einlassdübel der aus einer runden Holzscheibe besteht, deren Rand abgeschrägt ist. (Abb.6) Der hierfür verwendete Werkstoff ist fehlerfreies Eichenholz mit einer charakteristischen Rohdichte von mindestens 600 kg/m^3 . Die Holzfaserrichtung muss normal zur Bolzenachse laufen

Jede Liefereinheit muss vom Hersteller gekennzeichnet sein. Die Kennzeichnung muss die Nummer dieser Norm und die Nummer des Dübels besonderer Bauart nach dem Anhang zu dieser Norm enthalten. Außerdem sollte das Nennmaß (z. B. der Nenndurchmesser) gekennzeichnet sein.

Der Dübeltyp D1 entspricht dem Dübeltyp B nach DIN 1052 alt und wird auch als Küblerdübel bezeichnet. [3]

2.1.4 Dübeltypen nach EC 5 im Vergleich zu älteren Normen

Dübeltyp nach EC 5 (EN 912)	zwei-seitig	nach DIN 1052 alt	nach ÖNORM B4200-2	Alte Bezeichnung	Beschreibung
A1	x	A	A	Appeldübel	Ringdübel geschlossen
A2	x				Ringdübel offen
A3	x				Ringdübel offen
A4	x				Ringdübel offen
A5	x	A	B	Appeldübel	Ringdübel offen
B1		A	A	Appeldübel	Scheibendübel einseitig
B2					Scheibendübel einseitig
B3					Scheibendübel einseitig
B4					Scheibendübel einseitig
C1	x	C	C	Bulldog	Scheibendübel m. Zähnen rund
C2		C	C	Bulldog	Scheibendübel m. Zähnen rund
C3	x			Bulldog	Scheibendübel m. Zähnen oval
C4				Bulldog	Scheibendübel m. Zähnen oval
C5	x	C	C	Bulldog	Scheibendübel m. Zähnen quadr.
C6	x				Scheibendübel m. Zähnen rund
C7					Scheibendübel m. Zähnen rund
C8	x				Scheibendübel m. Zähnen quadr..
C9					Scheibendübel m. Zähnen quadr..
C10	x	D	D	Gekadübel	Scheibendübel m. Dornen
C11		D	D	Gekadübel	Scheibendübel m. Dornen
D1	x	B		Küblerdübel	Hartholz-scheibendübel
*)		E		Siemens-Bauunion	Krallendübel

Tab. 1: Gegenüberstellung der Dübeltypen nach neuer Norm (EC5) mit älteren Normen
*) keine Entsprechung in EN 912

Die Dübeltypen A1, A5, B1, C1-C5, C10, C11 sind jene Dübeltypen, die am häufigsten Verwendung finden und von Zimmerern sehr gerne in Holzverbindungen eingesetzt werden und nach wie vor in großer Stückzahl produziert werden.

Die Dübeltypen C 6,7,8,9 sind kaum in Verwendung und werden in DIN 1052 neu, der deutschen Entsprechung des EC 5, nicht mehr angeführt. Sie werden von den großen Firmen nicht hergestellt.

Dübeltyp D1, welcher seit jeher auch als Küblerdübel bezeichnet wird, findet heute noch kaum Verwendung, wird aber in der neuen europäischen Norm EN 912 erfasst.

Der historische Krallendübel vom Typ E, welcher unter dem Namen Siemens-Bauunion lange Zeit im Handel war, findet sich nicht mehr in der neuen Norm.

2.2 Herstellung einer Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart

2.2.1 Einlassdübel/ Ring- und Scheibendübel

Sie werden in maschinell passend ausgearbeitete Vertiefungen der zu verbindenden Hölzer eingelegt. Dazu sind entsprechende Bohrgeräte und spezielle Fräsköpfe erforderlich. Der Einbau von Einlassdübeln setzt Erfahrungen und geeignete Werkzeuge voraus. Es werden hauptsächlich bewegliche Handmaschinen für die Bearbeitung der Werkstücke eingesetzt. Abb.15a zeigt ein Ringdübel Bohrwerkzeug mit Bohrgestell, wie es für das Einfräsen von Ringnuten für Ringdübel benötigt wird.

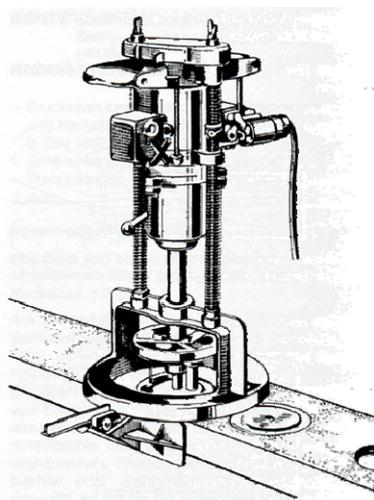


Abb. 15a: Bohrgestell mit Ringdübelwerkzeug [7]

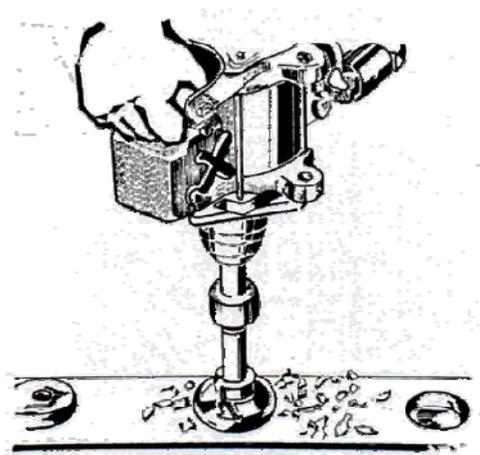


Abb. 15b: Freihändiges Bohren von Dübellöchern [7]

Mit dem aus dem Bohrgestell herausgenommenen Bohrwerkzeug können auch Dübellöcher freihändig gebohrt werden (Abb.15b). Einzelne oder kleinere Einlässe können mit der Handmaschine freihändig gefräst werden. Bei größeren Stückzahlen und für größere Dübel empfiehlt sich die Verwendung des Bohrgestells. Die Einlassdübel sollen ohne Zwang eingebaut werden können. Dies ist gegeben, wenn die Dübel unmittelbar nach dem Ausfräsen zusammengebaut werden. Dabei sollte das Spiel zwischen der Grundplatte des Dübels und dem Holz etwa 0,5 mm, höchstens jedoch 1mm betragen. Um Zwängungskräfte zu vermeiden, sollen die Hölzer zwischen dem Ausfräsen und der Montage keinen größeren klimatischen Einwirkungen ausgesetzt werden (keine unzutraglichen Feuchteänderungen,

sie bewirken das Arbeiten des Holzes, die bearbeiteten Hölzer sind unbedingt vor Regen und direkter Sonnenbestrahlung zu schützen).

Wünschenswert ist, dass die zu verbindenden Hölzer die spätere Gleichgewichtsfeuchte aufweisen. Bauteile, die mit Einlassdübeln verbunden werden, können auf dem Abbundplatz abgebunden, dann auseinander genommen und auf der Baustelle wieder zusammengesetzt werden. [7]

2.2.1.1 Herstellungsphasen einer Einlassdübelverbindung

- Die Stäbe werden exakt aufeinander gelegt und rechtwinkelig zur Staboberfläche angebohrt. (Abb.16a). Das Bohrloch dient einerseits für die Aufnahme des Schraubenbolzens für die Kippsicherung der Verbindung, wie auch als Führung für den Fräskopf
- Fräsen der Ringdübelnuten in den einzelnen Stäben (Abb.16b)
- Einlegen der Ringdübel (Abb.16c)
- Anziehen der zugehörigen Bauschraube (Abb.16d)

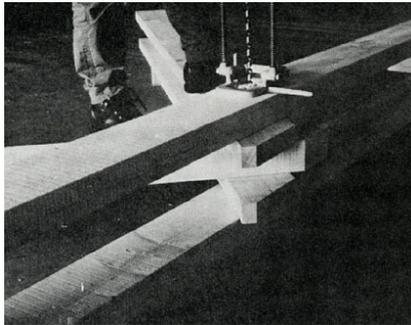


Abb. 16a: Bohren [6]

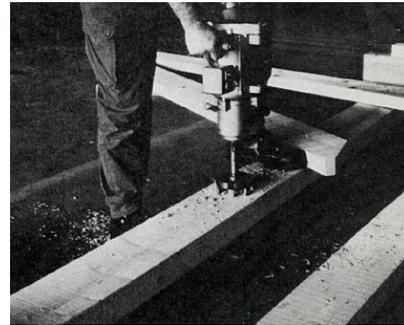


Abb. 16b: Fräsen [6]

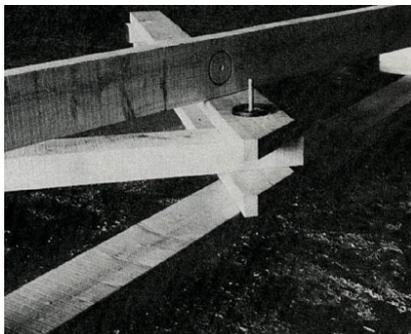


Abb. 16c: Einlegen [6]



Abb. 16d: Anziehen und Sichern [6]

2.2.2 Einpressdübel/ Scheibendübel mit Zähnen oder Dornen

Verbindungen mit Einpressdübeln werden ähnlich wie Bolzenverbindungen hergestellt. Zunächst werden die Löcher für die Bolzen gebohrt. Danach werden die Dübel zwischen die zu verbindenden Bauteile gelegt und diese zusammengepresst. Dabei werden die Zähne der Einpressdübel ins Holz eingedrückt. Dabei sind Einpresskräfte von 20 bis 60 kN erforderlich. Da dieses Einpressen beträchtliche Kräfte erfordert, wird dazu entweder ein spezieller Bolzen hoher Festigkeit oder eine hydraulische Presse verwendet. Lediglich bei kleinen Dübeldurchmessern bis zu etwa 65 mm kann zum Einpressen der ohnehin für die Verbindung notwendige Bolzen benutzt werden. Um übermäßig große Eindrückungen rechtwinklig zur Faser zu vermeiden, sind beim Einpressen mit Bolzen besonders große Scheiben zur Lastverteilung zu verwenden. Nach dem Einpressen wird der endgültige Bolzen montiert und angezogen. Falls keine Bolzen verwendet werden können, z.B. bei Dübeln auf der Oberseite hoher Brettschichtholzquerschnitte, können anstelle der Bolzen auch Holzschrauben verwendet werden.

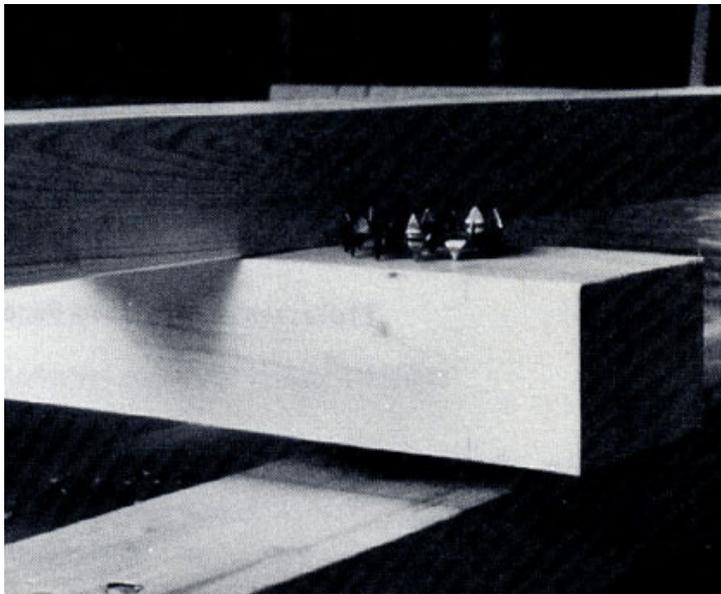


Abb. 16.1: Einpressdübelverbindung vor dem Zusammenpressen [6]

Die Kraftübertragung der fertig eingebauten Dübel erfolgt durch die eingedrückten Dorne oder Zacken. Die Einpressdübel benötigen dickere Schrauben und Unterlegscheiben als die Einlassdübel, um die erforderlichen Einpressdrücke zu erzeugen und die Rückfederung aufnehmen zu können. Die Schrauben sind, damit die Verbindungen nicht nachfedern, mehrmals nachzuziehen. Einpressdübel haben sich gut bewährt. Sie können mit einfachen Werkzeugen verarbeitet und ohne besondere Spezialerfahrung eingebaut werden. Die Holzschwächungen sind bei Einpressdübeln geringer als bei Einlassdübeln.

Einpressdübel lassen sich nur in Nadelholz eindrücken. Es werden einseitige und zweiseitige Einpressdübel unterschieden.

Einseitige Einpressdübel werden benötigt, um Stahlteile (Laschen, Profilstahl) mit Holz zu verbinden, aber auch um Montage und Demontage zu vereinfachen (bei demontierbaren Bauten, siehe Abb. 18b). Zweiseitige Einpressdübel sind ausschließlich für Holz-Holz-Verbindungen geeignet (Abb. 19a, b).

Bei einseitigen Einpressdübeln wird die Belastung vom Bolzen übertragen, deshalb darf die Bohrung im Stahlteil höchstens 0,2 mm größer als der Bolzendurchmesser sein. Bei zweiseitigen Einpressdübeln wird die Belastung über die Zähne und die Grundplatte von dem einen Holz in das andere übertragen.



Abb. 16.2: Einpressdübel (Bulldog) im eingepressten Zustand mit Bauschraube

2.2.2.1 Herstellungsphasen einer Einpressdübelverbindung (zB. Bulldog)

Die vorgebohrten und auf die richtige Länge zugeschnittenen Hölzer werden so zusammengelegt, dass die zweiseitigen Einpressdübel zwischen zwei Hölzern und rings um den Bolzen liegen (Abb.17a).

Dann können die Dübel durch Nägel in der ordnungsgemäßen Lage gesichert werden. Sie können auch zusätzlich mit Hilfe einer Rohrmuffe und eines Hammers einseitig in das Holz eingetrieben werden (Abb.17b).

Zum leichteren Anziehen der Bolzenmutter werden Ratschenschlüssel benutzt.

Für mehrschnittige Anschlüsse mit großen Dübeln, besonders beim Einbau in Brettschichtholz, ist ein hydraulisches Einpressen ratsam (Abb.17d). Kleinere Einpressdübel (bis $d_c = 90$ mm) lassen sich mit Hilfe der Bolzen und den zugehörigen Unterlegscheiben in das Holz einpressen. Größere Dübel ($d_d = 90-100$ mm) müssen mit hydraulischen Pressen oder Spindelpressen eingedrückt werden. [7]

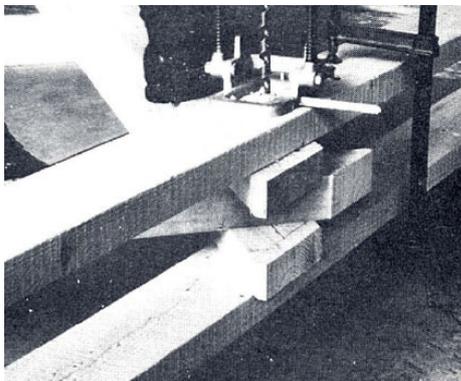


Abb. 17a: Bohren [6]

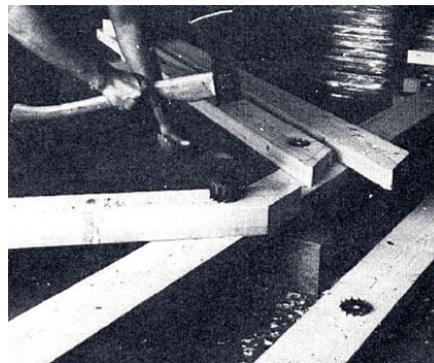


Abb. 17b: Einschlagen [6]

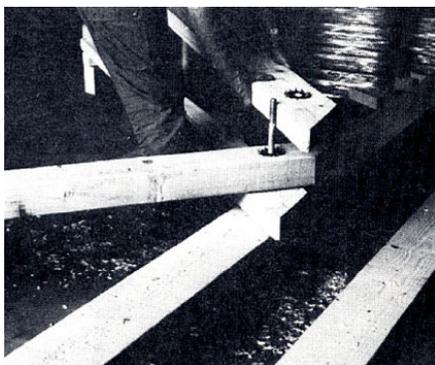


Abb. 17c: Zusammenlegen [6]

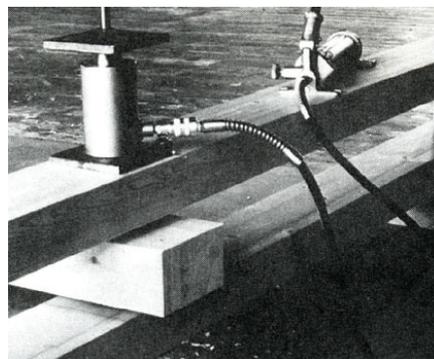


Abb. 16a: Pressen [6]

2.3 Anwendungsmöglichkeiten

2.3.1 Stahl-Holz-Verbindungen

Stahl – Holz – Verbindungen stellen eine typische Anwendung für einseitige Einpress- bzw. Einlassdübelverbindungen dar. Abb. 18a zeigt eine Auskreuzung mit Stahlseilen für einen Stabilitätsverband.

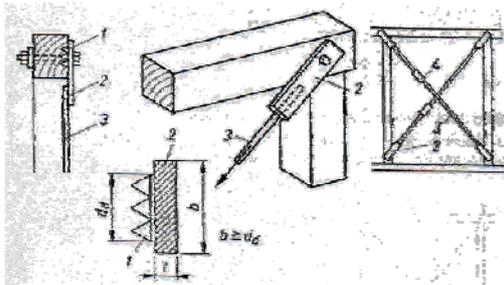


Abb. 18a: Anschluss eines Flachstahles mit einseitigen Einpressdübeln [7]

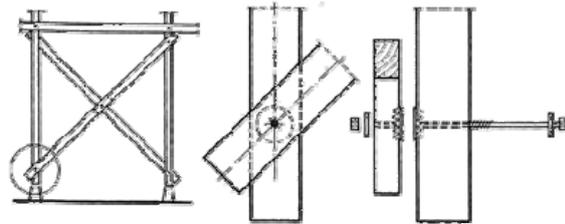


Abb. 18b: Anschluss einer Diagonalen mit 2 einseitigen Einpressdübeln, um die Demontage zu vereinfachen [7]

Um eine schnelle und einfache Auf- und Abbaubarkeit bei Holzkonstruktionen zu gewährleisten, werden oftmals einseitige Einpressdübel, welche jeweils mit der Rückseite aneinander angelegt werden kombiniert. (Abb. 18b)

2.3.2 Holz-Holz – Verbindungen

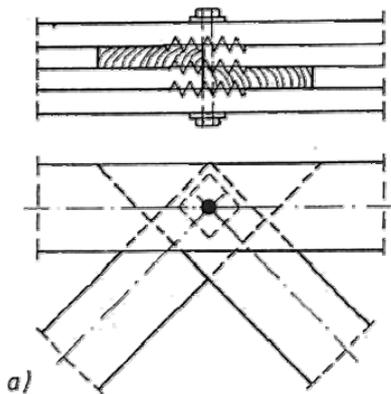


Abb. 19a: Knotenpunkt eines Fachwerkes [7]

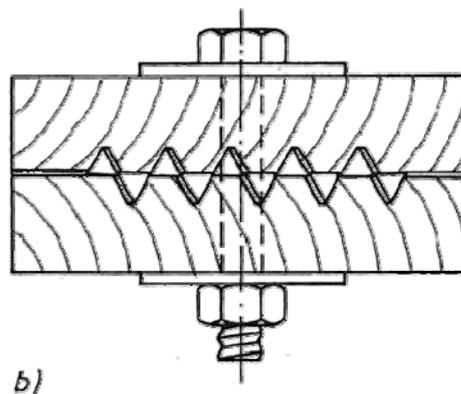


Abb. 19b: Holz – Holz – Verbindung mit doppelseitigem Einpressdübel [7]

Holz – Holz – Verbindungen stellen wohl die typischste, wie auch häufigste Anwendung im Ingenieurholzbau dar. Für die mannigfaltigen Ausführungsvarianten der Holzknotenpunkte (z.B. Fachwerke) kommt der typische doppelseitige Bulldog bzw. Ringdübel zum Einsatz

3. Bemessungsansatz nach EC 5

3.1 Allgemeines zur neuen Norm

Der Eurocode 5 enthält keine Regeln für traditionelle Einlassdübel aus Holz (Zimmermannsdübel) oder Dübel aus Stahl. Für die konstruktive Durchbildung sollten deshalb die allgemeinen Regeln nach DIN 1052, alt Teil 2, Abschnitt 4 zugrunde gelegt werden. Für Rechteckdübel findet man bei (Werner/Zimmer 2004) Empfehlungen für die Berechnung auf der Basis der Berechnung nach Grenzzuständen. Dübel besonderer Bauart werden im EC 5 Abschnitt 8.9 bzw. in DIN 1052 neu, Abschnitt 13.3 geregelt. [7]

3.2 Berechnen der Tragfähigkeit

Die DIN 1052, neu regelt eine neue Unterteilung der Dübel besonderer Bauart. Tabelle 1 zeigt die neue Einteilung und gibt einen Vergleich zur Einteilung in der früheren Norm. Alle Dübel besonderer Bauart sind jetzt in DIN EN 912 genormt. Mit den Ring- und Scheibendübeln können Holzbauverbindungen aus Vollholz, Brettschichtholz und Furnierschichtholz ohne Querlagen (mit $\rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$) hergestellt werden.

Einpressdübel bzw. Scheibendübel mit Zähnen oder Domen lassen sich in Laubholz nicht einpressen, weshalb für Laubholzverbindungen nur Ring- und Scheibendübel anwendbar sind.

Wie auch in der alten Norm müssen alle Dübelverbindungen durch nachziehbare Bolzen gesichert werden (zum Nachziehen siehe Abschnitt 13.3.1, Absatz (8)). Jeder Dübel ist durch einen Bolzen zu sichern. Dübel und Bolzen bilden eine Verbindungseinheit (zur Definition einer Verbindungseinheit siehe DIN 1052, neu, Abschn. 13.3.1 . Absatz (10)) .

Sind die Durchmesser der Dübel $d_c > 130 \text{ mm}$, so sind ab zwei Dübel hintereinander zusätzliche Sicherungsbolzen an den Enden der Verbindungen anzuordnen. Die anziehbaren Bolzen können bei Ringdübeln und zweiseitigen Scheibendübeln mit Zähnen und Dornen durch Gewindestangen oder Holzschrauben mit entsprechenden Durchmessern ersetzt werden. Dies ist auch bei einseitigen Scheibendübeln mit Zähnen oder Dornen möglich, wenn die Verschiebungsmoduln nach DIN 1052, neu Tabelle G1 , Zeile 7 und

8 um 30 % abgemindert werden. Die Bolzen können durch Sondernägel oder Holzschrauben ersetzt werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:

- Es ist ein Anschluss von Holz an Brettschichtholz.
- Es werden Ringdübel mit $d_c \leq 95\text{mm}$ oder zweiseitige Scheibendübel mit Zähnen und Dornen mit $d_c \leq 117\text{mm}$ verwendet.
- Es werden Scheibendübel des Typs B1 oder einseitige Scheibendübel mit Zähnen bzw. Dornen verwendet.
- Für die Schrauben und Sondernägel muss $R_{ax,k} \geq 0,25 R_k$ mm sein (bei Scheibendübeln mit Zähnen und Dornen darf $R_{b,0,d}$ bzw. $R_{b,\alpha,d}$ nicht in Rechnung gestellt werden). [7]

3.3 Ring- und Scheibendübel

3.3.1 Tragverhalten und Rechenmodell

Bei zweiseitigen Einlassdübeln wird die Kraft zunächst von einem Bauteil über Lochleibungsspannungen in den Dübel und dann weiter über den Scherwiderstand des Dübels in das zweite Bauteil übertragen. Der Bolzen übernimmt das dabei auftretende Versatzmoment und hält damit die Verbindung zusammen. Bei einseitigen Einlassdübeln erfolgt der Kräfteverlauf etwas anders: nach der Übertragung der Kraft in den Dübel wird der Bolzen durch Lochleibungsbeanspruchung zwischen Dübel und Bolzen beansprucht. Danach wird über den Scherwiderstand des Bolzens bei Holz-Holz-Verbindungen die Kraft vom Bolzen in den zweiten Dübel, bei Stahlblech-Holz-Verbindungen direkt in das Stahlteil weitergeleitet.

Der Lochdurchmesser im einseitigen Dübel muss daher dem Bolzendurchmesser plus einer kleinen Toleranz entsprechen. Wegen dieser Toleranz muss bei Verbindungen mit einseitigen Einlassdübeln mit einem Anfangsschlupf gerechnet werden. Bei Zugversuchen wurde als Versagensursache meist ein Abscheren des Holzes am Bauteilende beobachtet.

Das Rechenmodell zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Einlassdübelverbindungen, das in eine zukünftige Version von EC5

aufgenommen werden soll, geht daher auch von einem solchen Versagen aus.

Die in Wirklichkeit ungleichmäßig verteilten Lochleibungsspannungen werden als gleichmäßig verteilt und parallel zur Richtung der übertragenen Kraft wirkend angenommen. Diese werden dann über Scherspannungen in das Bauteil übertragen (Abb. 20).

Die Tragfähigkeit der Bolzen wird vernachlässigt, da diese wegen des Lochspiels erst nach einem gewissen Anfangsschlupf zu tragen beginnen. Das Versagen der Verbindung erfolgt aufgrund des plötzlichen Abscherens schon bei sehr kleinen Verformungen, so dass ein Zusammenwirken von Bolzen und Einlassdübel nicht gewährleistet ist. Abb. 21 zeigt eine Zugverbindung nach dem Versagen durch Abscheren des Mittelholzes und eines Seitenholzes.

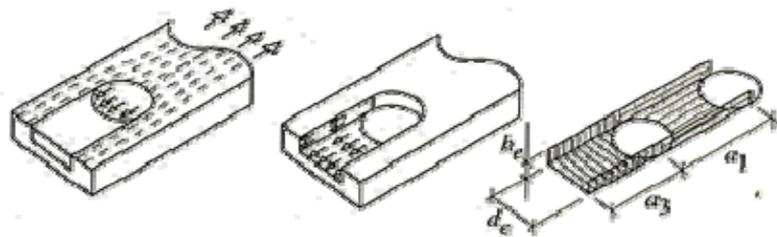


Abb. 20: Spannungen in einer Einlassdübelverbindung mit zugehörigen Scherflächen [10]

Unter der Annahme eines Scherversagens des Holzes als maßgebender Versagensursache für Zuganschlüsse hängt die Tragfähigkeit von der Scherfläche vor dem Einlassdübel und von der Scherfestigkeit des Holzes ab.

Die Scherfläche innerhalb des Dübels wird nicht berücksichtigt, da in den meisten Versuchen der Holzkern im Dübel vor dem Erreichen der Höchstlast abscherete und damit nicht zur Gesamttragfähigkeit beitrug.

Das Abscheren des Vorholzes tritt jedoch nur bei ausreichender Lochleibungsfestigkeit des Holzes auf. Bei größeren Endabständen a_3 ist demzufolge ein Lochleibungsversagen maßgebend für die Tragfähigkeit der Verbindung.

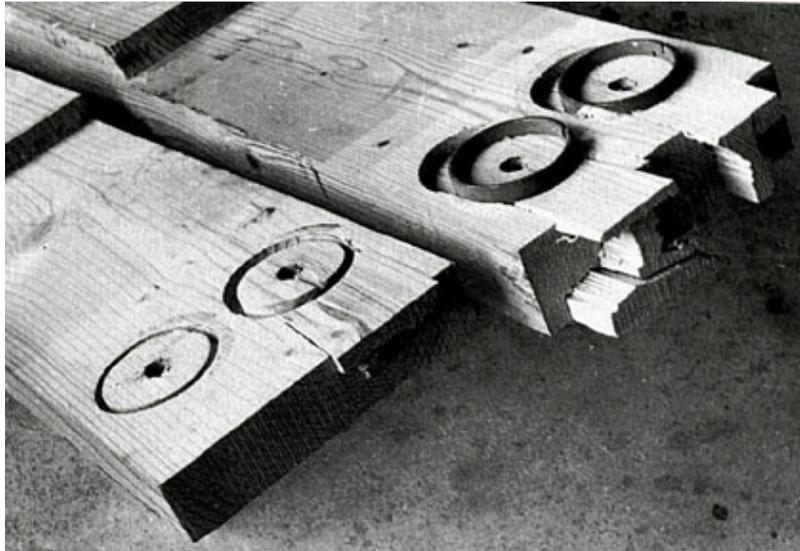


Abb. 21: Scherversagen im Mittel- und Seitenholz einer auf Zug beanspruchten Einlassdübelverbindung [10]

Damit kann die Tragfähigkeit einer auf Zug parallel zur Faser beanspruchten Einlassdübelverbindung geschrieben werden als:

$$R_c = \min \begin{cases} f_v A_s \\ f_h d_c h_e \end{cases} \quad (1)$$

wobei

R_c die Tragfähigkeit eines Einlassdübels

f_v die scheinbare oder mittlere Scherfestigkeit des Holzes

A_s die Scherfläche pro Dübel

f_h die Lochleibungsfestigkeit des Holzes

d_c der Dübeldurchmesser

h_e die Einlasstiefe des Dübels im Holz bedeutet

Die scheinbare Scherfestigkeit nimmt mit ansteigender Scherfläche ab. Auf der Grundlage zahlreicher Versuche von Kuipers und Vermeyden (1964) wird in [20] die folgende Beziehung zwischen scheinbarer Scherfestigkeit und Scherfläche angenommen:

$$f_v = K A_s^{-0,25} \quad (2)$$

K ist ein Parameter zur Beschreibung der Scherfestigkeit des Holzes.

Wird Gleichung (2) in Gleichung (1) eingesetzt, folgt:

$$R_c = \min \left\{ \begin{array}{l} KA_s^{0,75} \\ f_h d_c h_e \end{array} \right. \quad (3)$$

Für eine Verbindung mit einem Dübel beträgt die Scherfläche (siehe Abb. 20):

$$A_s = (d_c + 2h_e)a_{3,t} - \pi d_c^2 / 8 \quad (4)$$

Wobei $a_{3,t}$ der Abstand zum beanspruchten Hirnholzende ist.

Bei Verbindungen mit mehreren in Krafrichtung hintereinander angeordneten Dübeln beträgt die Scherfläche für den zweiten und jeden weiteren Dübel:

$$A_s = (d_c + 2h_e)a_1 - \pi d_c^2 / 4 \quad (5)$$

Hierin ist a_1 der Dübelabstand in Faserrichtung.

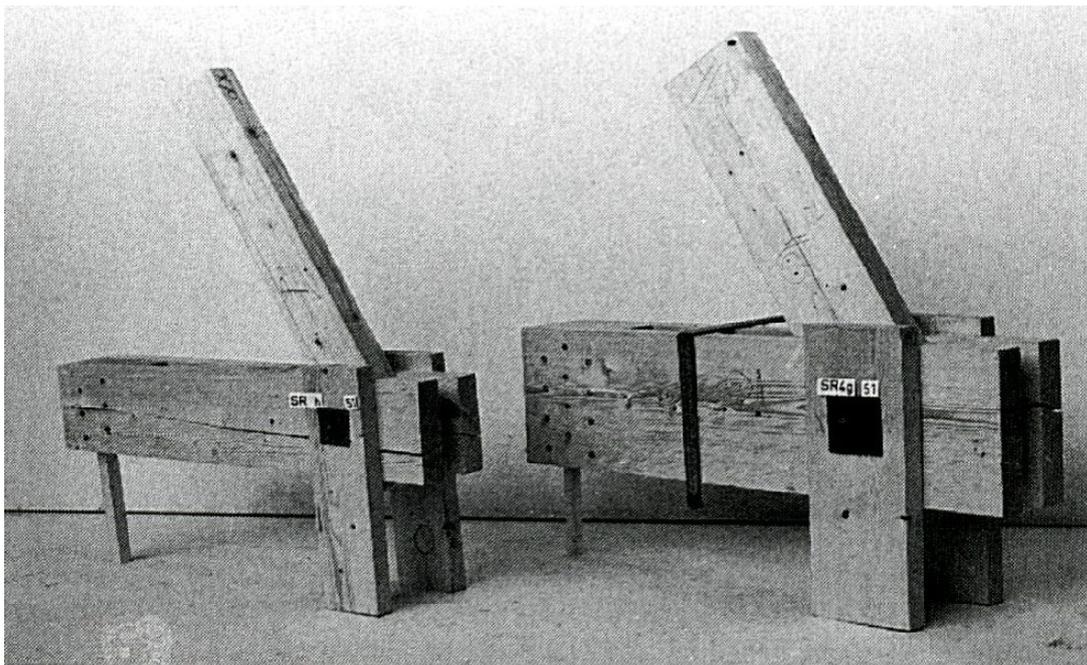


Abb. 22: Spaltversagen in unter 60° zur Faser beanspruchten Einlassdübelverbindungen [10]

Werden Einlassdübelverbindungen unter einem Winkel von mehr als etwa 30° zur Faserrichtung bzw. auf Druck beansprucht, treten andere Versagensmechanismen auf. Verbindungen mit Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung zwischen etwa 30° und 150° versagen meist durch Aufspalten des Holzes (Abb. 22).

Auf Druck beanspruchte Verbindungen zeigen ein kombiniertes Lochleibungs- und Spaltversagen (Abb. 23). In diesem Fall tritt das Spalten erst nach beträchtlichen Lochleibungsverformungen unter dem Dübel und dem Bolzen auf. Im Versagenszustand beteiligen sich daher der Einlassdübel und der Bolzen an der Kraftübertragung.

Dieses Zusammenwirken von Einlassdübel und Bolzen kann allerdings nur bei auf Druck beanspruchten Verbindungen beobachtet werden. Im Vergleich zu auf Zug bzw. unter einem Winkel von weniger als 150° beanspruchten Verbindungen, die ein sprödes Versagen zeigen, treten hier größere plastische Verformungen vor Erreichen der Höchstlast auf.

Da auch in druckbeanspruchten Verbindungen der Holzkern im Dübel vor Erreichen der Höchstlast abscherf, wird die wirksame Lochleibungsfläche des Bolzens um die Fläche innerhalb des Dübels verringert. [10]

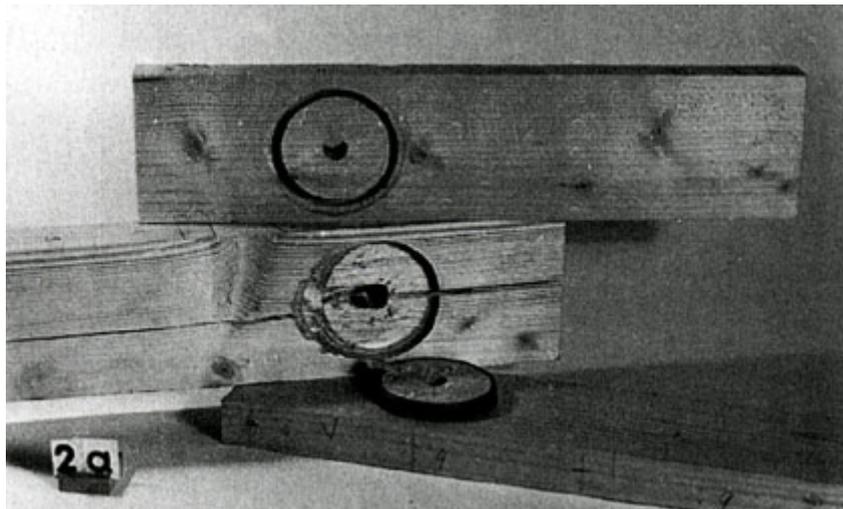


Abb. 23: Kombiniertes Lochleibungs-Spalt-Versagen einer auf Druck beanspruchten Einlassdübelverbindung [10]

3.3.2 Tragfähigkeit und Steifigkeit aus Versuchen

Die dargestellten Ergebnisse stammen von Versuchen mit Einlassdübelverbindungen, die im Stevin - Laboratorium der Technischen Universität Delft und im dänischen Bauforschungsinstitut zwischen 1957 und 1991 durchgeführt wurden. In den Versuchen wurden einseitige Einlassdübel mit einem Durchmesser von 67 mm und zweiseitige Einlassdübel mit Durchmessern von 72 mm und 112 mm verwendet. Insgesamt konnten 948 Versuche ausgewertet werden. Die Durchführung der Versuche und die Ergebnisse sind in [16] eingehend beschrieben.

Die Lochleibungsversuche wurden am Brighton College of Technology durchgeführt.

3.3.2.1 Lochleibungsfestigkeit

Auf der Grundlage von 139 Versuchen mit unterschiedlicher Rohdichte gibt Hilson in [18] folgende Beziehung zwischen der Lochleibungsfestigkeit unter einem Einlassdübel und der Rohdichte des Holzes bei 13% Holzfeuchte an:

$$f_h = 82 (\rho/1000)^{1,075} \quad [N/mm^2] \quad \text{mit } \rho \text{ in } kg/m^3 \quad (6)$$

Gleichung (6) kann durch die folgende lineare Beziehung ersetzt werden:

$$f_h = 0,078 \rho \quad [N/mm^2] \quad \text{mit } \rho \text{ in } kg/m^3 \quad (7)$$

Wird der Bolzenanteil nicht berücksichtigt, lässt sich die Tragfähigkeit der Verbindung näherungsweise ermitteln, indem ein Rechenwert für f_h verwendet wird, der mit der projizierten Fläche des Einlassdübels multipliziert wird. Aus 30 Versuchen [19] ergibt sich das Verhältnis des Beitrags der Lochleibungsfestigkeit unter dem Dübel zur Tragfähigkeit einschließlich des theoretischen Bolzenanteils im Mittel zu 0,804.

Der resultierende Rechenwert für f_h

$$f_h = 0,078/0,804 \rho = 0,097 \rho \quad [N/mm^2] \quad (8)$$

stimmt gut mit dem entsprechenden charakteristischen Wert für die in [16] dargestellten Druckversuche überein:

$$f_{h,k} = 0,095 \rho_k \quad [N/mm^2] \quad \text{mit } \rho \text{ in } kg/m^3 \quad (9)$$

Nachfolgend wird die Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ zu $0,09 \rho_k$ angenommen.

3.3.2.2 Tragfähigkeit

Aus der im Zugversuch erreichten Höchstlast und den Abmessungen der Hölzer wurde der Parameter K entsprechend Gleichung (2) für jeden Prüfkörper bestimmt.

Aus sämtlichen Werten des Parameters K konnte dann ein 5% - Fraktilwert berechnet werden. Für die Nutzungsklasse 1 und 2, bestimmte Mindestabmessungen der Hölzer und eine charakteristische Rohdichte des Holzes von 350 kg/m^3 ergibt sich der charakteristische Wert des Parameters K zu:

$$K_k = 20 \text{ N/mm}^{1,5} \quad (10)$$

Mit diesem Wert für K_k und einer charakteristischen Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ zu $0,09\rho_k$ ergibt sich die charakteristische Tragfähigkeit $R_{c,0,k}$ einer auf Zug beanspruchten Einlassdübelverbindung:

$$R_{c,0,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20 A_s^{0,75} \\ 0,09 \rho_k d_c h_e \end{array} \right. \quad (11)$$

Hierin ist A_s die Scherfläche pro Dübel in mm^2 nach Abb. 20 bzw. Gleichung (4) oder (5).

Dieser Wert für $R_{c,0,k}$ wird nur für Hölzer mit bestimmten Mindestdicken erreicht, da bei kleineren Holzdicken statt des Abscherens bzw. Lochleibungsversagens ein Spaltversagen des Holzes auftritt und dadurch die Tragfähigkeit abnimmt [14]. Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte auf der Grundlage einer Mindestdicke des Seitenholzes von $3 h_e$ und des Mittelholzes von $5 h_e$.

Obwohl das Rechenmodell, das ein Abscheren des Holzes vor dem Dübel annimmt, das Verhalten von Verbindungen mit einem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung von bis zu etwa 30° beschreibt, wurde es bei der

Auswertung sämtlicher Versuche mit Kraft – Faser – Winkeln bis zu 150° verwendet.

Dies bedeutet, dass auch Verbindungen, die durch Aufspalten versagen, unter der Annahme des Versagens durch Abscheren ausgewertet wurden. Die 5% - Fraktile des Parameters K zeigte trotzdem kaum Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen Versagensformen.

Dies kann damit erklärt werden, dass Zwischen- und Randabstände die Tragfähigkeit bei unterschiedlichen Versagensmechanismen in ähnlicher Weise beeinflussen. Falls das Versagen durch Aufspalten des Holzes erfolgt, erhöht ein vergrößerter Abstand zum beanspruchten Hirnholze die auf Querkraft beanspruchte Fläche im Holz.

Nur wenn der Abstand zum Hirnholze sehr groß wird und die Höchstlast ohne ein Aufspalten des Holzes erreicht wird, kann eine Steigerung der Tragfähigkeit mit größer werdendem Randabstand nicht mehr erwartet werden.

Die Ergebnisse der Zugversuche zeigen keinen Einfluss der Anzahl der Dübel auf die Höchstlast pro Dübel bei bis zu drei Dübeln pro Scherfläche. Dasselbe gilt für die Druckversuche, bei denen ebenfalls keine klare Abhängigkeit zwischen der 5% - Fraktile des Parameters K und der Anzahl der Dübel pro Scherfläche gefunden wurde. Dies muss allerdings nicht bedeuten, dass ein solcher Einfluss nicht besteht. Bis weitere Untersuchungen den Einfluss der Anzahl der in einer Verbindung vorhandenen Dübel klären können, kann die wirksame Anzahl n_{ef} von mehr als zwei in Krafrichtung hintereinander angeordneten Dübeln angenommen werden zu:

$$n_{ef} = 2 + (1 - n/20)(n - 2) \quad (12)$$

worin n die Anzahl der in Krafrichtung hintereinander angeordneten Dübel ist.

3.3.2.3 Steifigkeit

Steifigkeitswerte mechanischer Holzverbindungen werden zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wie auch zum Nachweis der Tragfähigkeit bei

nachgiebig zusammengesetzten Querschnitten benötigt. Der für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verwendete Verschiebungsmodul K_{ser} entspricht dem Verschiebungsmodul k_s nach EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens".

Der für den Nachweis der Tragfähigkeit verwendete Verschiebungsmodul K_u beträgt zwei Drittel des entsprechenden Wertes von K_{ser} . Da die Steifigkeitswerte der geprüften Verbindungen in weiten Grenzen streuen, ist der Einfluss verschiedener Größen auf das Verformungsverhalten kaum zuverlässig abzuschätzen. Daher wurde eine einfache Beziehung gewählt, die den Verschiebungsmodul als Funktion des Einlassdübeldurchmessers und der charakteristischen Rohdichte des Holzes darstellt.

Der Einfluss des Winkels zwischen Kraft- und Faserrichtung, der Holzfeuchte, der Holzdicke sowie der Anzahl der Dübel pro Scherfläche wurde vernachlässigt. Unter der Annahme eines Wertes von 350 kg/m^3 für die charakteristische Rohdichte des in den Versuchen verwendeten Nadelholzes wurde der Mittelwert des Verschiebungsmoduls k_s nach EN 26891 bestimmt zu:

$$k_s = 0,6 d_c \rho_k \quad (N/mm) \quad (13)$$

Hierin ist d_c der Dübeldurchmesser in mm und ρ_k die charakteristische Rohdichte der entsprechenden Festigkeitsklasse in kg/m^3 . [10]

3.3.3 Bemessungsgleichungen

Wird Gleichung (11) auf zugbeanspruchte Verbindungen mit einem Abstand zum beanspruchten Hirnholzeende $a_{3,t}$ von $2d_c$, einer Seitenholzdicke von $3h_e$, einer Mittelholzdicke von $5h_e$ und einer charakteristischen Rohdichte des Holzes von 350 kg/m^3 angewandt, ergibt sich die charakteristische Tragfähigkeit pro Scherfläche für die in EN 912 angegebenen Einlassdübel zu:

$$R_{c,0,k} = \min \begin{cases} 35d_c^{1,5} \\ 31,5d_c h_e \end{cases} \quad (14)$$

Wird der Bolzenanteil vernachlässigt, kann die charakteristische Tragfähigkeit einer Einlassdübelverbindung angegeben werden als:

$$R_{j,\alpha,k} = \frac{R_{c,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (15)$$

Hierin ist α der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung,

$$R_{c,0,k} = \min \begin{cases} 35d_c^{1,5} k_\rho k_{a3} k_t \\ 31,5d_c h_e k_\rho k_t \end{cases} \quad (16)$$

$$k_{90} = 1,3 + 0,001 d_c \quad (17)$$

Bei auf Druck beanspruchten Verbindungen ($150^\circ < \alpha < 210^\circ$) mit einem Dübel pro Scherfläche ist nur das Überschreiten der Lochleibungsfestigkeit zu überprüfen:

$$R_{c,0,k} = 31,5d_c h_e k_\rho k_t \quad (N) \quad \text{mit } d_c \text{ und } h_e \text{ in mm} \quad (18)$$

Auf Druck beanspruchte Verbindungen mit mehr als einem Dübel pro Scherfläche können auch durch Abscheren des Holzes zwischen den Dübeln versagen. Daher sind für diese Verbindungen beide Bedingungen der Gleichung (16) zu überprüfen.

Die empfohlenen Mindestabstände der Dübel untereinander sowie von den Rändern sind in Tabelle 1a angegeben.

Die Beiwerte zur Berücksichtigung der Rohdichte, des Abstandes zum belasteten Hirnholze (nur bei Zugbeanspruchung) und der Holzdicke lauten wie folgt:

$$k_\rho = \min \begin{cases} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases} \quad (19)$$

Hierin ist ρ_k die charakteristische Rohdichte des Holzes in kg/m^3

Bei auf Zug beanspruchten Verbindungen ($-30^\circ < \alpha < 30^\circ$) darf ein Modifikationsbeiwert für den Abstand zum beanspruchten Ende angewandt werden:

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (20)$$

Hierin ist $a_{3,t}$ der Abstand zum beanspruchten Hirnholzende mit einem Mindestwert von $1,5 d_c$.

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (21)$$

Hierin bedeuten t_1 bzw. t_2 die Seiten - bzw. Mittelholzdicke und h_e die Einlasstiefe des Dübels. Gleichung (21) gilt nur unter der Voraussetzung, dass t_1 und t_2 größer als $2,25 h_e$ bzw. $3,75 h_e$ sind. [10]

3.3.4 Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit

In das Holz eingelassene Dübel versagen im Zugversuch in der Regel infolge Abscheren des Holzes am Verbindungsende. Damit beeinflusst die Größe der Scherfläche vor dem Einlassdübel und der Scherfestigkeit des Holzes das Tragverhalten wesentlich.

Das in der Norm enthaltene Rechenmodell legt diese Versagensart zugrunde. Gleichzeitig wird von einer gleichmäßigen Lochleibungsspannung ausgegangen. Eine mittragende Wirkung der Spannbolzen konnte in Versuchen nicht festgestellt werden. Die charakteristische Tragfähigkeit pro Verbindungseinheit wird nach Gleichung (22) berechnet:

$$F_{v,0,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} (35d_c^{1,5})k_1k_2k_3k_4 \\ (31,5d_c)h_ek_1k_3 \end{array} \right. \quad (22)$$

Mit d_c und h_e in mm. Voraussetzung für die Gültigkeit der Formel ist:

- Der Kraft-Faser-Winkel α beträgt 0
- Die Dicke der Seitenhölzer beträgt mindestens $2,25 h_e$
- Die Dicke des Mittelholzes beträgt mindestens $3,75 h_e$
- Der Mindestabstand zum beanspruchten Hirnholze beträgt $1,5 d_c$
- Die charakteristische Rohdichte der miteinander verbundenen Bauteile beträgt mindestens $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

Die Modifikationsbeiwerte k_i berücksichtigen mögliche Abweichungen von den Voraussetzungen, so zum Beispiel eine höhere bzw. niedrigere Rohdichte oder eine Unterschreitung von Mindestholzdicken bzw. Mindestrandabständen

Mit k_1 wird die Holzdicke berücksichtigt

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (23)$$

Der Beiwert k_2 berücksichtigt den Abstand zum beanspruchten Hirnholzrand

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (24)$$

wobei bei Verbindungen mit einem Dübel je Scherfuge $k_a = 1,0$, und bei mehr als einem Dübel je Scherfuge $k_a = 1,25$ zu setzen ist.

Der Beiwert k_3 wird zur Berücksichtigung der Rohdichte eingeführt

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. \quad (25)$$

Der Beiwert k_4 hängt vom Material der verbundenen Bauteile ab und sollte angenommen werden zu:

- 1,0 für Holz – Holz – Verbindungen
- 1,1 für Stahlblech – Holz - Verbindungen

Liegt eine Beanspruchung im Winkel α zur Faser vor, so wird die charakteristische Tragfähigkeit $F_{\alpha,Rk}$ wie folgt berechnet:

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{mit } k_{90} = 1,3 + 0,001 d_c \quad (26)$$

Enthält die Holzbauverbindung mehrere Verbindungseinheiten mit Ring- und Scheibendübeln so ergibt sich die Gesamttragfähigkeit aus der Summe der Einzeltragfähigkeiten pro Verbindungseinheit.

Sind mehrere Verbindungseinheiten in Kraft-Faser-Richtung hintereinander angeordnet ist die Gesamttragfähigkeit aus (27) zu ermitteln:

$$F_{v,0,R,ges} = F_{v,0,Rk} \cdot n_{ef} \quad (27)$$

mit n_{ef} als wirksame Anzahl von Dübeln nach (12)

Mehr als 10 Verbindungseinheiten hintereinander dürfen nicht in Rechnung gestellt werden. [7]

3.3.5 Bemessungswert der Tragfähigkeit

Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines Dübels errechnet sich nach [1] zu

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (28)$$

Dabei ist

- $F_{v,Rk}$ die charakteristische Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge
- $F_{v,Rd}$ der Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge
- γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft
- k_{mod} der Modifikationsbeiwert welcher die Lasteinwirkungsdauer und den Feuchtegehalt des Holzes berücksichtigt

Der Teilsicherheitsbeiwert beträgt für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart $\gamma_M = 1,3$ (entnommen aus [1] Abschnitt 2.4.1, Tab. 2.3)

Auf den Modifikationsbeiwert k_{mod} wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Er ist für die entsprechende Lasteinwirkungsdauer (Nutzungsklasse) sowie in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt der Hölzer der Verbindung aus [1] Abschnitt 3.1.3 Tab. 3.1 zu ermitteln.

3.4 Scheibendübel mit Dornen und Zähnen

3.4.1 Tragverhalten und Rechenmodell

Bei zweiseitigen Einpressdübeln wird die Kraft zunächst von einem Bauteil über Lochleibungsspannungen in die Zähne des Dübels und dann weiter über die Grundplatte und die Zähne der anderen Seite in das zweite Bauteil übertragen. Der Bolzen übernimmt das dabei auftretende Versatzmoment und hält damit die Verbindung zusammen. Bei einseitigen Einpressdübeln erfolgt der Kräfteverlauf etwas anders: nach der Übertragung der Kraft in den Dübel wird der Bolzen durch Lochleibungsbeanspruchung zwischen Dübel und Bolzen beansprucht. Danach wird über den Scherwiderstand des Bolzens bei Holz-Holz-Verbindungen die Kraft vom Bolzen in den zweiten Dübel, bei Stahlblech-Holz-Verbindungen direkt in das Stahlteil weitergeleitet. Der Lochdurchmesser im einseitigen Dübel muss daher dem Bolzendurchmesser plus einer kleinen Toleranz entsprechen. Wegen dieser Toleranz muss bei Verbindungen mit einseitigen Einpressdübeln mit einem Anfangsschlupf gerechnet werden. Bei vielen Versuchen mit Einpressdübelverbindungen wurde als Versagensursache das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit des Holzes sowohl unter den Dübelzähnen wie auch unter dem Bolzen beobachtet. Bei manchen Einpressdübelarten werden die Zähne zusätzlich verbogen. Bei Zugverbindungen mit geringen Abständen zum Hirnholze ist dagegen das Aufspalten und Abscheren des Holzes maßgebend für das Versagen. Da Verbindungen mit Einpressdübeln im Allgemeinen beträchtliche plastische Verformungen vor dem Erreichen der Höchstlast zeigen, kann ein Zusammenwirken von Einpressdübel und Bolzen angenommen werden. Abb. 24 zeigt eine Verbindung nach dem Erreichen der Höchstlast. Die plastischen Lochleibungsverformungen des Holzes unter den Dübelzähnen und dem Bolzen sowie die plastische Verformung des Bolzens und der Dübelzähne ist deutlich zu sehen. Das Modell zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Einpressdübelverbindungen berücksichtigt das Zusammenwirken des Dübels und des Bolzens. Die Tragfähigkeit kann demzufolge berechnet werden zu:

$$R_{j,k} = R_{c,k} + R_{b,k} \quad (29)$$

wobei

$R_{j,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung mit Dübel und Bolzen,

$R_{c,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit des Einpressdübels und

$R_{b,k}$ die Tragfähigkeit des Bolzens nach EC5 mit den charakteristischen Werten der Lochleibungsfestigkeit und des Fließmoments des Bolzens ist.

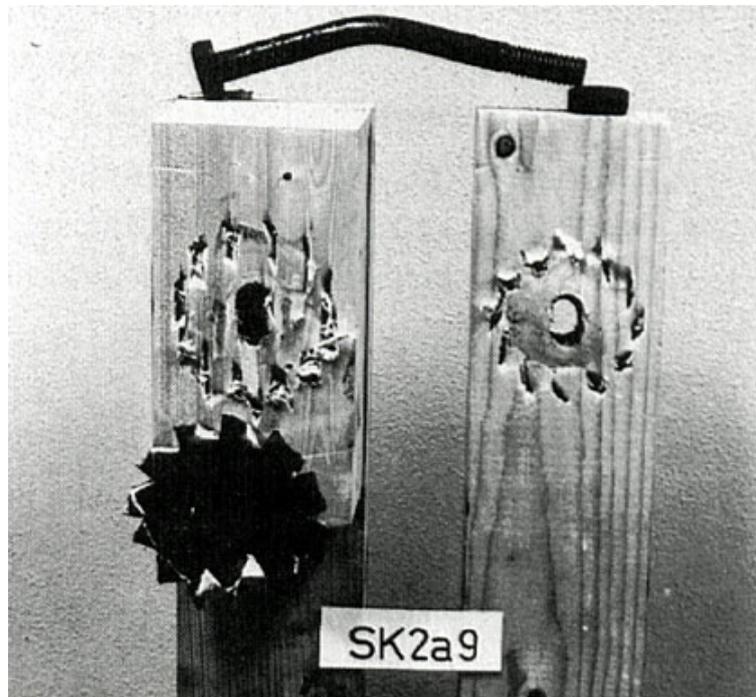


Abb. 24: Lochleibungsversagen des Holzes unter den Dübelzähnen und dem Bolzen [10]

Die charakteristische Tragfähigkeit eines runden Einpressdübels kann durch folgende empirische Gleichung beschrieben werden:

$$R_{c,k} = A d_c^{1,5} \quad (30)$$

wobei d_c der Dübeldurchmesser und A ein vom Einpressdübeltyp abhängiger Faktor ist, der durch Versuche zu bestimmen ist. [10]

3.4.2 Tragfähigkeit und Steifigkeit aus Versuchen

Die hier angegebenen Werte sind Ergebnisse von Versuchen mit Einpressdübelverbindungen, die im Stevin - Laboratorium der Technischen Universität Delft und im dänischen Bauforschungsinstitut zwischen 1957 und 1991 durchgeführt wurden. Es wurden lediglich Versuche mit einem Dübeltyp, dem Bulldogdübel, ausgewertet. In den Versuchen wurden runde Einpressdübel mit Durchmessern zwischen 50 mm und 117 mm, zwei verschiedene quadratische Dübel mit 100 mm bzw. 130 mm Seitenlänge und ein ovaler Dübel von 70 mm auf 130 mm verwendet. Insgesamt konnten 486 Versuche ausgewertet werden. Die Durchführung der Versuche und die Ergebnisse sind in [17] eingehend beschrieben.

3.4.2.1 Tragfähigkeit

Aus den Abmessungen der Versuchskörper und unter der Annahme einer charakteristischen Rohdichte des Holzes von 350 kg/m^3 wurde die charakteristische Tragfähigkeit des Bolzens nach EC5 bestimmt.

Dieser Wert wurde dann von der im Versuch erreichten Höchstlast abgezogen und der Parameter A entsprechend Gleichung (2) für jeden Prüfkörper bestimmt. Aus sämtlichen Werten des Parameters A konnte dann der 5% - Fraktilwert als charakteristischer Wert berechnet werden. Für die Nutzungsklasse 1 und 2 sowie bestimmten Mindestabmessungen der Hölzer ergab sich der charakteristische Wert des Parameters A zu:

$$A_k = 1,5 \text{ N/mm}^{1,5} \quad (31)$$

Wie bei Einlassdübelverbindungen wurde dieser Wert nur für Hölzer mit bestimmten Mindestdicken erreicht, da bei kleineren Holzdicken statt des Lochleibungsversagens ein Spaltversagen des Holzes auftritt und damit die Tragfähigkeit abnimmt. Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte auf Grundlage einer Mindestholzdicke des Seitenholzes von $1,5h_c$ und des Mittelholzes von $2,5h_c$. h_c entspricht der Dübelhöhe für zweiseitige und der zweifachen Dübelhöhe für einseitige Einpressdübel.

Die Ergebnisse der Versuche zeigen eine leichte Abnahme der charakteristischen Tragfähigkeit pro Dübel bei zunehmender Anzahl bis zu drei Dübel pro Scherfläche. Die Abnahme der mittleren Tragfähigkeit ist stärker ausgeprägt. Bevor weitere Untersuchungen den Einfluss der Anzahl der in einer Verbindung vorhandenen Dübel klären können, kann die wirksame Anzahl n_{ef} von mehr als zwei in Krafrichtung hintereinander angeordneten Dübeln angenommen werden zu:

$$n_{ef} = 2 + (1 - n/20)(n - 2) \quad (32)$$

Hierin ist n die Anzahl der in Krafrichtung hintereinander angeordneten Dübel. Obwohl die Anzahl der Versuche mit Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung von 30° bis 180° nicht sehr groß ist, scheint aus den Versuchen hervorzugehen, dass die 5% - Fraktile des Parameters A unabhängig ist vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung.

3.4.2.2 Steifigkeit

Steifigkeitswerte mechanischer Holzverbindungen werden zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wie auch zum Nachweis der Tragfähigkeit bei nachgiebig zusammengesetzten Querschnitten benötigt. Der für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verwendete Verschiebungsmodul K_{ser} entspricht dem Verschiebungsmodul k_s nach EN 26891 "Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens". Der für den Nachweis der Tragfähigkeit verwendete Verschiebungsmodul K_u beträgt zwei Drittel des entsprechenden Wertes von K_{ser} .

Da die Steifigkeitswerte der geprüften Verbindungen in weiten Grenzen streuen, ist der Einfluss verschiedener Größen auf das Verformungsverhalten kaum zuverlässig abzuschätzen. Daher wurde eine einfache Beziehung gewählt, die den Verschiebungsmodul als Funktion des Einpressdübeldurchmessers und der Rohdichte des Holzes darstellt. Der

Einfluss des Winkels zwischen Kraft- und Faserrichtung, der Holzfeuchte, der Holzdicke sowie der Anzahl der Dübel pro Scherfläche wurde vernachlässigt.

Für die Einpressdübel des Typs C1 bis C9 nach EN 912 wurde der Mittelwert des Verschiebungsmoduls k_s nach EN 26891 bestimmt zu:

$$k_s = 0,3 d_c \rho_k \quad (N/mm) \quad (33)$$

Aus einem Vergleich der Verschiebungsmoduln der in DIN 1052 (1988) angegebenen Einpressdübel ergibt sich der Verschiebungsmodul k_s für die Einpressdübel des Typs C10 und C11 nach EN 912 zu:

$$k_s = 0,45 d_c \rho_k \quad (N/mm) \quad (34)$$

Hierin ist d_c der Dübeldurchmesser in mm und ρ_k die charakteristische Rohdichte des Holzes in kg/m^3 . [10]

3.4.3 Bemessungsgleichungen

Es gelten die folgenden Gleichungen zur Bestimmung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfläche einer Einpressdübelverbindung:

$$R_{j,\alpha,k} = R_{c,k} + R_{b,\alpha,k} \quad (35)$$

Hierin ist

α der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung,

$R_{j,\alpha,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit der Dübelverbindung und

$R_{c,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit des Einpressdübels

$R_{b,\alpha,k}$ die charakteristische Tragfähigkeit des zugehörigen Bolzens

mit

$$R_{c,k} = 18 k_p k_{a3} k_t d_c^{1,5} \quad (N) \quad (36)$$

für Dübeltypen C1 bis C9 nach EN 912 und

$$R_{c,k} = 30 k_p k_{a3} k_t d_c^{1,5} \quad (N) \quad (37)$$

für Dübeltypen C10 und C11 nach EN 912 mit d_c in mm.

$R_{b,a,k}$ ist die Tragfähigkeit des Bolzens nach EC5 mit den charakteristischen Werten der Lochleibungsfestigkeit und des Fließmoments des Bolzens. Die empfohlenen Mindestabstände für die Dübeltypen C1 bis C11 nach EN 912 untereinander und von den Rändern sind in Tab. 1a angegeben. Unabhängig davon sind die entsprechenden Abstände für die Bolzen nach EC5 einzuhalten.

Die Beiwerte zur Berücksichtigung der Rohdichte, des Abstandes zum belasteten Hirnholzende (nur bei Zugbeanspruchung) und der Holzdicke lauten wie folgt:

$$k_\rho = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. \quad (38)$$

Hierin ist ρ_k die charakteristische Rohdichte des Holzes in kg/m^3

Bei auf Zug beanspruchten Verbindungen ($-30^\circ < \alpha < 30^\circ$) darf ein Modifikationsbeiwert für den Abstand zum beanspruchten Hirnholzende angewandt werden. Dieser beträgt für die Dübeltypen C1 bis C9 nach EN 912:

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5d_c} \end{array} \right. \quad (39)$$

Hierin ist $a_{3,t}$ der Abstand zum beanspruchten Hirnholzende mit einem Mindestwert von:

$$a_{3,t,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1d_c \\ 7d_b \\ 80\text{mm} \end{array} \right. \quad (40)$$

mit d_b als Bolzendurchmesser in mm

und d_c als Dübeldurchmesser in mm.

Für die Dübeltypen C10 und C11 nach EN 912 lautet der Modifikationsbeiwert für Zugverbindungen ($-30^\circ < \alpha < 30^\circ$):

$$k_{a3} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (41)$$

Der Mindestwert des Abstandes zum beanspruchten Hirnholzende $a_{3,t}$ ist hier:

$$a_{3,t,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5d_c \\ 7d_b \\ 80\text{mm} \end{array} \right. \quad (42)$$

mit d_b als Bolzendurchmesser in mm.

Der Modifikationsbeiwert für die Mittel- bzw. Seitenholzdicke ist für sämtliche Einpressdübeltypen einheitlich:

$$k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{1,5h_c} \\ \frac{t_2}{2,5h_c} \end{array} \right. \quad (43)$$

Hierin sind t_1 bzw. t_2 die Seiten- bzw. Mittelholzdicke und h_c ist die Dübelhöhe bei zweiseitigen und die zweifache Dübelhöhe bei einseitigen Einpressdübeln. Gleichung (7) ist nur unter der Voraussetzung gültig, dass t_1 bzw. t_2 größer sind als $1,1h_c$ bzw. $1,9h_c$. [10]

3.4.4. Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit

Im Gegensatz zu Einlassdübeln werden Einpressdübel nicht in vorgefräste Vertiefungen eingelassen, sondern in das Holz eingepresst. Je fester das Holz, umso schwieriger wird das Einpressen. Der Grenzwert der Rohdichte für die Anwendung von Einpressdübeln bezogen auf den charakteristischen Wert liegt daher bei 500 kg/m^3

Einpressdübel haben eine nicht so große Steifigkeit wie Einlassdübel. Deshalb treten unter Umständen erhebliche plastische Verformungen an Verbindungen mit Einpressdübeln besonders vor Erreichen der Bruchlast auf. Wesentlichen Einfluss auf das Tragverhalten hat die Lochleibungsfestigkeit des Holzes. Während bei den Einlassdübeln kein Zusammenwirken zwischen Bolzen und Dübel auftritt, ist ein Zusammenwirken zwischen Bolzen und Dübel bei Einpressdübeln bei der Modellbildung für die Tragfähigkeit zu berücksichtigen. Im Gegensatz zur alten Norm können jetzt je nach Dübeltyp verschieden große Bolzendurchmesser verwendet werden. Zu beachten ist, dass für die Dübel mit Zähnen und Dornen und für die Bolzen unterschiedliche Mindestholzdicken gelten. im Allgemeinen sind die Mindestdicken für die Bolzen größer. Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit der Dübelverbindung bestimmt sich daher aus der Summe der charakteristischen Tragfähigkeit der Scheibendübel mit Zähnen und der charakteristischen Tragfähigkeit des zugehörigen Bolzens nach EC5 Abschn. 8.5. [7]

Es gilt:

$$F_{v,Rk} = F_{b,Rk} + F_{c,Rk} \quad (44)$$

mit

$F_{v,Rk}$ charakteristische Festigkeit der Dübelverbindung

$F_{b,Rk}$ charakteristische Tragfähigkeit des Bolzens

$F_{c,Rk}$ charakteristische Tragfähigkeit des Einpressdübels

Die folgenden Formeln gelten unter folgender Voraussetzung:

- Kraft-Faser-Winkel $\alpha = 0$
- Die charakteristische Rohdichte der miteinander verbundenen Bauteile beträgt mindestens $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ und maximal 500 kg/m^3

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ pro Scheibendübel mit Zähnen Typ C nach EN 912 sollte für die Dübeltypen C1 – C9 angenommen werden zu:

$$F_{v,Rk} = 18 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5} \quad (N) \quad (45)$$

für die Dübeltypen C10 – C11

$$F_{v,Rk} = 25 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5} \quad (N) \quad (46)$$

mit folgenden Modifikationsbeiwerten k_i :

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (47)$$

Dabei ist

t_1 Seitenholzdicke

t_2 Mittelholzdicke

h_e Einbindetief der Zähne des Dübels in mm

Der Beiwert k_2 sollte für Typ C1 – C9 angenommen werden zu:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5d_c} \end{array} \right. \quad (48)$$

mit:

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1d_c \\ 7d \\ 80\text{mm} \end{array} \right. \quad (49)$$

Für Typ C10 – C11:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{a_{3,t}}, \frac{1}{2d_c} \right\} \quad (50)$$

mit:

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5d_c \\ 7d \\ 80\text{mm} \end{array} \right\} \quad (51)$$

Dabei ist:

d der Bolzendurchmesser in mm

d_c der Dübeldurchmesser in mm

Der Beiwert k₃ berücksichtigt die Rohdichte des Holzes

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1,5}{\rho_k}, \frac{1,5}{350} \right\} \quad (52)$$

3.4.5 Bemessungswert der Tragfähigkeit

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit wird für die Dübel ermittelt zu:

$$F_{c,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} F_{c,Rk}}{\gamma_M} \quad (53)$$

mit $\gamma_M = 1,3$

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit wird für den Bolzen analog ermittelt:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} F_{b,Rk}}{\gamma_M} \quad (54)$$

mit $\gamma_M = 1,3$

Dabei ist

$F_{c,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge
$F_{c,Rk}$	die charakteristische Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge
$F_{b,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit des zugehörigen Bolzens
$F_{b,Rk}$	die charakteristische Tragfähigkeit des zugehörigen Bolzens
γ_M	der Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft
k_{mod}	der Modifikationsbeiwert welcher die Lasteinwirkungsdauer und den Feuchtegehalt des Holzes berücksichtigt

Der Teilsicherheitsbeiwert beträgt für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart $\gamma_M = 1,3$ (entnommen aus [1] Abschnitt 2.4.1, Tab. 2.3)

Der Modifikationsbeiwert k_{mod} ist für die entsprechende Lasteinwirkungsdauer (Nutzungsklasse) sowie in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt der Hölzer der Verbindung aus [1] Abschnitt 3.1.3 Tab. 3.1 zu ermitteln.

Somit ergibt sich der Bemessungswert der Verbindung zu:

$$F_{v,Rd} = F_{c,Rd} + F_{b,Rd} \quad (55)$$

3.5 Dübelabstände

	Einlassdübel	Einpressdübel	
	Dübeltyp A und B	Dübeltyp C1 - C9	Dübeltyp C10, C11
a_1	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos\alpha) \cdot d_c$	$(1,2 + 0,3 \cdot \cos\alpha) \cdot d_c$	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos\alpha) \cdot d_c$
a_2	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$	$1,5 \cdot d_c$	$1,5 \cdot d_c$	$2 \cdot d_c$
$a_{3,c}$	$\alpha \leq 30^\circ$	$1,2 \cdot d_c$	$1,2 \cdot d_c$
	$\alpha > 30^\circ$	$(0,4 + 1,6 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$	$(0,4 + 1,6 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$
$a_{4,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$
$a_{4,c}$	$0,6 \cdot d_c$	$0,6 \cdot d_c$	$0,6 \cdot d_c$

Tab.1a: Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart in Abhängigkeit von Dübeldurchmesser und Krafrichtung zur Faser [1]

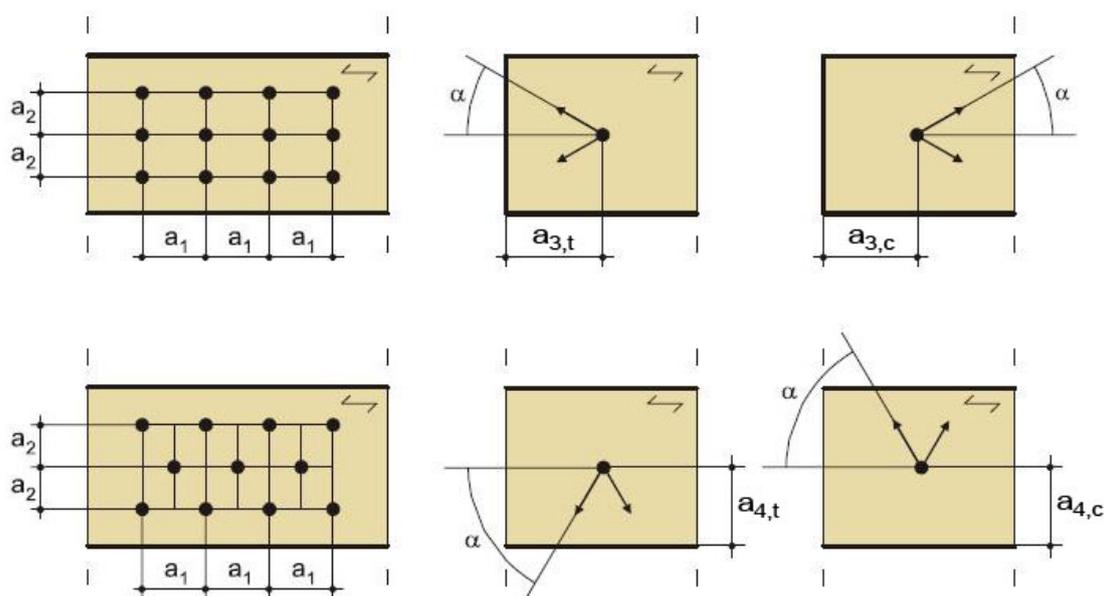


Abb. 24a: Definition der Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart /1/

Bei den Dübeltypen C3, C4, C5 ist anstelle d_c die größte Seitenlänge d des Dübels einzusetzen. Die Werte für die in Abb. 24a dargestellten Abstände sind Tab. 1a zu entnehmen. Dabei ist:

- a_1 Abstand der Dübel untereinander parallel zur Faserrichtung
- a_2 Abstand der Dübel untereinander rechtwinklig zur Faserrichtung
- $a_{3,t}$ Abstand des Dübels zum beanspruchten Hirnholzende
- $a_{3,c}$ Abstand des Dübels zum unbeanspruchten Hirnholzende
- $a_{4,t}$ Abstand des Dübels zum beanspruchten Rand
- $a_{4,c}$ Abstand des Dübels zum unbeanspruchten Rand

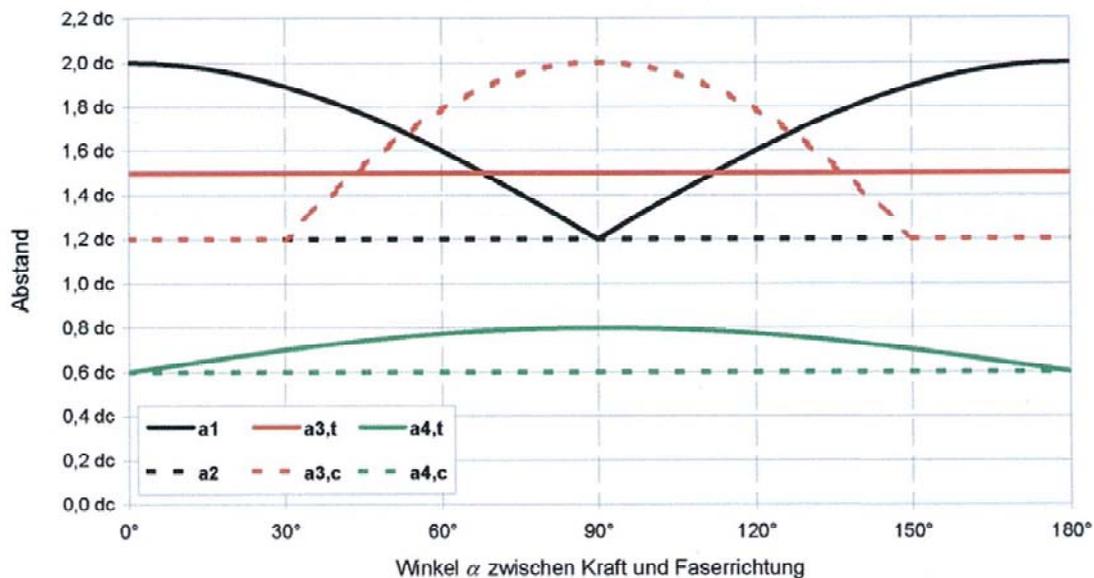


Abb. 24b: Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart in Abhängigkeit vom Kraft-Faser-Winkel α [12]

Aus Abb. 24b, in welcher die Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart in Abhängigkeit vom Kraft-Faser-Winkel α dargestellt sind, lässt sich Folgendes ablesen:

- Die drei Randabstände $a_{4,c}$, a_2 und $a_{3,t}$ über die volle Winkelbandbreite konstant verlaufen und damit vom Kraft-Faser-Winkel unabhängig sind.
- Der Randabstand $a_{4,t}$, in Form einer abgeflachten Sinushalbwelle über die volle Kraft-Faser-Winkelbandbreite verläuft und damit eine Funktion von α darstellt. Er erreicht bei $\alpha = 90^\circ$ sein Maximum
- Der Randabstand a_1 um 60° phasenversetzt in Form des Cosinus über die volle Kraft-Faser-Winkelbandbreite verläuft und bei $\alpha = 0^\circ$ sein Maximum erreicht
- Der Randabstand $a_{3,c}$ in Form einer überhöhten Sinushalbwelle über die Kraft-Faser-Winkelbandbreite von 30° - 150° verläuft und damit eine Funktion von α darstellt. Er erreicht ebenfalls bei $\alpha = 90^\circ$ sein Maximum

4. Bemessungsansatz nach älteren Normen

4.1 Tragfähigkeit nach DIN 1052 alt Teil 2

Die zulässige Tragfähigkeit der Dübel wird in den Tabellen 4,6 und 7 in DIN 1052, alt Teil 2, Abschn. 4.3 direkt angegeben. Die angegebenen zulässigen Belastungen gelten pro Dübel und Scherfuge. Die Dübel können aus Hartholz, Stahl, Temperguss oder Leichtmetall, z. B. Aluminiumlegierungen nach DIN 4113 Teil 1 bestehen. Nach DIN 1052, alt Teil 2 werden 5 Dübeltypen unterschieden:

- Einlassdübel Typ A, B (Tab. 4)
- Einpressdübel Typ C, D (Tab. 6, 7)
- Einlass- Einpressdübel Typ E (Tab. 7)

Diese Dübelarten gibt es in verschiedenen Abmessungen, zwei- oder einseitig, mit unterschiedlichen zulässigen Belastungen (Tabellen 4, 6 und 7 in DIN1052, alt Teil 2, Abschnitt 4.3), parallel, schräg und rechtwinklig zur Holzfaser, Mindestmaßen von Hölzern und Dübelabständen.

Es dürfen höchstens 10 Dübel hintereinander eingebaut werden. Bei mehr als 2 Dübeln hintereinander sind die zulässigen Belastungen abzumindern.

Es gilt die nach Gleichung (1) in DIN 1052, alt Teil 2 Abschn. 4.3 angegebene Formel für n_{ef} für eine Dübelanzahl zwischen 2 und 10 (hintereinander angeordnet, siehe auch Tab. 2) :

$$n_{ef} = 2 + (1 - n/20)(n - 2) \quad (56)$$

Dübelanzahl	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_{ef}	2	2,85	3,6	4,25	4,8	5,25	5,6	5,85	6

Tab.2: Effektive Dübelanzahl für mehrere in Krafrichtung hintereinander angeordnete Dübel nach [4]

Die Belastbarkeit der Dübel ist in der Regel rechnerisch nicht genau erfassbar; sie wurden in Versuchen ermittelt [Mitt. FA Holzfragen 1933, Seitz 1936, Graf 1944]. Die zulässige Belastung ist den Tabellen 4, 6 und 7 der DIN

1052, alt Teil 2 zu entnehmen. Für besonders feuchtigkeits- und korrosionsbeanspruchte Bauteile (unter Wasser, Kühltürme, Salzlagerhallen usw.) sind Dübel aus glasfaserverstärktem Kunststoff oder keramischem Material und Schraubenbolzen aus korrosionsbeständigem Material entwickelt worden. [7]

4.1.1 Dübelsicherung

Im Regelfall werden die Dübel durch Schraubenbolzen und Unterlegscheiben gesichert. Falls dies nicht ausführbar oder z. B. aus Gründen des Brandschutzes nicht vertretbar ist, können im Ausnahmefall nach DIN 1052, alt Teil 2, Abschnitt 4.2.5 statt der Schraubenbolzen in der Dübelachse

-Sechskantschrauben (Schlüsselschrauben) nach DIN 571 oder

-mindestens 4 Sondernägel der Tragfähigkeitsklassen II oder III (Schaftdurchmesser mindestens 5mm, wirksame Einschlagtiefe ≥ 50 mm, für eine Zugkraft = 3 kN) angeordnet werden (Abb. 25).

Die 4 Sondernägel sind rings um den Dübel verteilt einzuschlagen. Die Dübel müssen einwandfrei sitzen. Bei Verwendung von Sondernägeln anstelle von Schraubenbolzen wird eine enorme Zeitersparnis erreicht, da nicht mehr verschraubt werden muss. Außerdem ist diese Verbindung sicherer im Brandverhalten als eine Verbindung mit Schraubenbolzen. [7]

Bolzendurchmesser	M 12	M 16	M 20	M 24
Dicke der Scheibe	6	6	8	8
Außendurchmesser bei runder Scheibe	58	68	80	105
Seitenlänge bei quadratischer Scheibe	50	60	70	95

Tab. 3: Maße der Scheiben für Dübelverbindungen und tragende Bolzenverbindungen in [mm] nach [4]

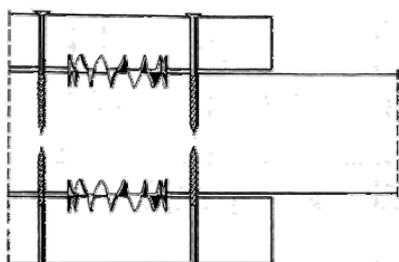


Abb. 25: Sicherung einer Einpressdübelverbindung durch Sondernägel nach [7]

4.1.2 Bemessungstabellen

4.1.2.1 Dübeltyp A und B

Dübel- typ	Maße der Dübel						Rechenwert für die Dübel-fehl-risika	Schrauben- boizen	10	11	12	13	14	15
	Außen- durch- messer	Höhe	Dicke	zusätzliche Maße für einseitige Ein-lasdübel Typ A	7	8								
	d_{DU}	h_{DU}	e	d_1	d_U	h_1	s_1	A	d_{Bo}	b/a	$e_{DU }$	0 bis 30°	Über 30 bis 60°	Über 60 bis 90°
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²		mm	mm	KN	KN	KN
A	66	30	5	13	22,5	8	3	7,6	M 12	100/40	140	11,5	10,0	9,0
	80	30	6	13	22,5	8	3	10,1	M 12	110/50	180	14,0	12,5	11,0
	95	30	6	13	33,5	8	4	12,3	M 12	120/60	220	17,0	14,5	12,5
	126	30	6	-	-	-	-	17,0	M 12	160/60	250	20,0	17,0	14,0
	128	45	8	15	45	10	4	25,9	M 12	160/60	300	28,0	23,5	19,0
	160 ³⁾	45	10	17	50	12	5	32,2	M 16	200/100	340	34,0	27,5	21,5
B	190 ⁴⁾	45	10	17	60	12	6	39,9	M 16	230/100	430	48,0	38,5	29,0
	66 ⁵⁾	32	-	-	-	-	-	8,2	M 12	100/40 oder 90/60	130	11,0	9,0	9,0
	100 ⁵⁾	40	-	-	-	-	-	16,8	M 12	130/60	200	18,0	15,5	13,5

1) Scheiben nach Tafel 20.2.

2) Gilt für ein- und beidseitige Dübelanordnung; bei beidseitiger Dübelanordnung jedoch Mindestholzdicke $e = 60$ mm.

3) Mit einem Kleimboizen am Laschenende nach Abschnitt 4.1.3 der DIN 1052, Teil 2.

4) Mit zwei Kleimboizen am Laschenende nach Abschnitt 4.1.3 der DIN 1052, Teil 2.

5) Der Durchmesser d_{DU1} beträgt etwa 90 % des Durchmessers d_{DU} .

Tab.4: Bemessungstabelle für Dübeltyp A und B nach DIN 1052 alt Teil 2 [8]

4.1.2.2 Dübeltyp C

Dübel- typ	Maße der Dübel			Maße für einseitige runde Einpreßdübel	Rechen- wert für die Dübel- fehl- fläche A	Schrauben- (bolzen)	10	11	12	13		14	15	
	Außen- durch- messer bzw. Seiten- länge d _{DÜ}	Höhe h _{DÜ}	Dicke e							Höhe h _{DÜ}	Dicke e			Mindest- maß der Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung
C runde Ein- preß- dübel	48	12,5	1,00	6,6	1,00	12,2	-	0,9	M 12	100/40 oder 80/60	120	5,0	4,5	4,5
	62	16	1,20	9,7	1,20	12,2	-	2,0	M 12	100/40 oder 90/60	120	7,0	6,5	6,0
	75	19,5	1,25	10,3	1,25	16,2	-	2,6	M 16	100/50	140	9,0	8,5	8,0
	95	24	1,35	12,8	1,35	16,2	49	4,7	M 16	120/50	140	12,0	11,0	10,5
	117	29,5	1,50	16,0	1,50	20,2	58	6,9	M 20	150/80	170	16,0	15,0	14,0
	140 ³⁾	31	1,65	-	-	-	-	8,7	M 24	170/80	200/100	200	22,0	20,0
C quadr.	165 ³⁾	32	1,80	-	-	-	-	11,0	M 24	190/80	230	30,0	27,0	24,0
	100	16	1,35	-	-	-	-	2,7	M 20	130/60	170	17,0	15,5	14,5
	130 ⁴⁾	20	1,80	-	-	-	-	4,5	M 24	160/60	200	23,0	21,0	19,0

1) Scheiben nach Tafel 20.2.

2) Gilt für ein- und beidseitige Dübelanordnung; bei beidseitiger Dübelanordnung jedoch Mindestholzdicke a = 60 mm.

3) Mit einem Klemmbohlen am Laschenende nach Abschnitt 4.1.3 der DIN 1052, Teil 2.

4) Mit zwei Klemmbohlen am Laschenende nach Abschnitt 4.1.3 der DIN 1052, Teil 2.

Tab.5: Bemessungstabelle für Dübeltyp C nach DIN 1052 alt Teil 2 [8]

4.1.2.3 Dübeltyp D und E

Dübel- typ	Maße der Dübel und Rechenwerte für Dübel- flächen										12	13	14	15	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					11
Außen- durch- messer d_{DU} mm	Anzahl der Zähne z	Maße für zweiseitige Dübel		Dübel- fehl- fläche		Maße für einseitige Dübel		Durch- messer d_1 mm	d_1 mm	d_{Bo}	Schrauben- boizen ¹⁾ Sechskant- schrauben nach DIN 601	Mindestmaße der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung 0 bis 30° Über 30° bis 90°	Mindest- dübelab- stand und -vorholz- länge bei einer Dübelreihe e_{DU} mm	Zulässige Belastung eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung	
		Höhe h_{DU} mm	Dicke s mm	4A cm ²	4A cm ²	Höhe h_{DU} mm	Dübel- fehl- fläche 4A cm ²							0 bis 30° Über 30° bis 90°	Über 30° bis 60° bis 90°
D	50	5 ⁵⁾	27	3	2,8	15	12,2	3,4	M 12	100/40 oder 80/60	100/40 oder 90/60	120	8,0	7,5	7,0
	65	12 oder 14	27	3	3,6	15	16,2	4,5	M 16	100/40 oder 90/60	110/40 oder 100/60	140	11,5	11,0	10,0
	85	22	27	3	4,6	15	20,2	5,5	M 20	110/50 oder 120/60	130/50 oder 140/60	170	17,0	16,0	14,5
	95	24 ⁶⁾	27	3	5,6	15	24,2	6,9	M 24	120/60	140/60	200	21,0	19,5	17,5
	115	30 oder 32 ⁸⁾	27	3	7,0	15	24,2	8,6	M 24	140/60	170/60	230	27,0	24,5	21,5
E	55	16	30	3,5	3,9	15	12,2	3,9	M 12	100/40 oder 80/60	100/40 oder 90/60	120	10,0 ⁷⁾	9,5 ⁷⁾	9,0 ⁷⁾
	80	20	37	5	7,9	18,5	12,2	7,9	M 12	110/50	120/50	150 ⁸⁾	15,0 ⁹⁾	13,5 ⁹⁾	12,0 ⁹⁾

- 1) Scheiben nach Tafel 20.2.
- 2) Gilt für ein- und beidseitige Dübelanordnung; bei beidseitiger Dübelanordnung jedoch Mindestholzdicke $s = 60$ mm.
- 3) Bei zweiseitigen Dübeln sind die Zähne durchgehend oder gegeneinander versetzt.
- 4) Dicke s wie in Spalte 4.
- 5) Ein Zahnkreis.
- 6) Zwei Zahnkreise.
- 7) Bei Anordnung von Metallaschen (einseitiger Dübel) 1,2-facher Wert zulässig.
- 8) Bei Anordnung von Metallaschen (einseitiger Dübel) auch 140 mm zulässig.
- 9) Bei Anordnung von Metallaschen (einseitiger Dübel) 1,3-facher Wert zulässig.

Tab.6: Bemessungstabelle für Dübeltyp D und E nach DIN 1052 alt Teil 2 [8]

4.1.3 Dübelabstände

4.1.3.1 Anschlüsse parallel zur Faser

	1	2	3	4
1	Anordnung und Beanspruchung der Dübel	Mindestabstand zweier benachbarter Dübelreihen $e_{DÜI}$	Mindestabstand der Dübel parallel der Faserichtung $e_{DÜII}$	Mindestabstand der äußeren Dübelreihe von der Holzseite l_{Fa}
2	beanspruchter Rand in Faserichtung (Vorholzlänge) 	$d_{DÜ} + t_{DÜ}$	$e_{DÜII}$	l_{Fa}
3	unbeanspruchter Rand in Faserichtung (Vorholzlänge) 	$d_{DÜ} + t_{DÜ}$	$0,5 \cdot e_{DÜII}$	l_{Fa}
4		$d_{DÜ} + t_{DÜ}$ $d_{DÜ}$ $0,5(d_{DÜ} + t_{DÜ})$	$e_{DÜII}$ $1,1 \cdot e_{DÜII}$ $1,8 \cdot e_{DÜII}$	l_{Fa}
1) Zwischenwerte sind geradlinig nach Gl.(25.1) und Gl.(25.2) einzuschalten.				

Tab.7: Dübelabstände nach DIN 1052 alt Teil 2 [8]

Es bedeuten:

- $d_{DÜ}$ Außendurchmesser des Dübels nach Tab. 4,5,6
- $t_{DÜ}$ Einschnitttiefe des Dübels (im Allgemeinen $h_{DÜ}/2$)
- $e_{DÜII}$ Mindestdübelabstand und –vorholzlänge bei einer Dübelreihe nach Tab.4,5,6 Spalte 12
- b Mindestbreite des Holzes bei einer Dübelreihe nach Tab.4,5,6 Spalte 10 und 11

4.1.3.2. Queranschlüsse

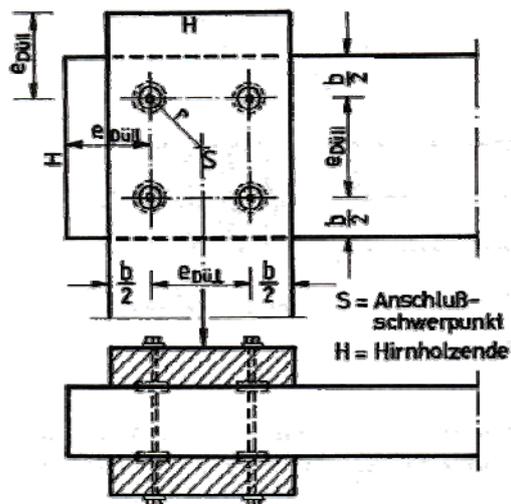


Abb. 26: Mindestdübelabstände bei Queranschlüssen [8]

Für Queranschlüsse gelten die Mindestdübelabstände nach Abb.26. Bei biegesteifen Verbindungen gelten folgende Festlegungen. Da alle Ränder als beansprucht anzusehen sind, betragen die Mindestrandabstände rechtwinklig zur Faserrichtung $b/2$ (b nach Spalte 11 der Tabellen 4-6) und in Faserrichtung $e_{DÜ//}$ (nach Spalte 12 der Tabellen 4-6). Für die Mindestabstände untereinander gelten die Werte $e_{DÜ//}$ und $e_{DÜ⊥}$ nach Tab.7.

Für die rechtwinklig zur Faserrichtung beanspruchten Stäbe ist erforderlichenfalls der Querschnittsnachweis zu führen. Dieser kann nach DIN 1052 entfallen, wenn:

- das querbeanspruchte Holz maximal 300 mm hoch ist und
- der Anschlussschwerpunkt S in der Stabachse oder darüber liegt [8]

4.1.4 Querschnittsschwächungen

Bei Zugstäben sowie in der Zugzone biegebeanspruchter Bauteile sind die Querschnittsschwächungen durch Bolzenlöcher und Dübel (Angaben zu Dübelfehlflächen können nach DIN 1052, alt Teil 2, den Tabellen 4-6 entnommen werden) in jedem Einzelholz zu berücksichtigen. [7]

4.2 Tragfähigkeit nach ÖNORM B 4100-2

4.2.1 Allgemeine Regeln

Die Regeln welche für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart in der ÖNORM B 4100-2 gelten, sind gänzlich analog zu den Regeln, welche in der DIN 1052 alt Teil 2 angeführt werden und in Abschnitt 4.1 behandelt werden.

Lediglich auf der Ebene der Dübeltypen und deren Abmessungen unterscheidet sich die ÖNORM B 4100-2 von der DIN 1052 alt Teil 2, was aber die Ermittlung der Tragfähigkeit anbelangt, und damit die zulässigen Übertragungskräfte je einzelnen Dübel decken sich die beiden Normen – bei Vorhandensein gleicher Dübeltypen – weitgehend.

Für die zulässigen Übertragungskräfte der Dübel gelten je nach Neigung der Kraft zur Faserrichtung des Holzes die Werte der Tabelle 8 - 10.

Für Stöße und Anschlüsse mit mehr als 2 in Krafrichtung hintereinander liegenden Dübeln besonderer Bauart gelten dieselben Regeln wie in DIN 1052 alt Teil 2 (siehe Tab. 2 in Abschnitt 4.1)

4.2.2 Dübelsicherung und Dübelabstände

Hierbei gelten dieselben Regeln wie in Abschnitt 4.1

4.2.3 Querschnittsschwächungen

Für die Berechnung von Querschnittsschwächungen durch Dübel sind die in Tabelle 8 - 10 angegebenen Dübelhehlflächen zusätzlich zu der gesamten Schwächung seitens der Bohrlöcher für die Sicherung durch den Schraubenbolzen in Rechnung zu stellen.

4.2.4 Bemessungstabellen

4.2.2.1 Dübeltyp A und B

Dübeltyp	Maße der Dübel										Rechenwert für die Dübelfläche ΔA	Schraubenbolzen (Sechskantschrauben nach ÖNORM EN ISO 4016) d_b	Mindestmaße der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Mindestdübelabstand und Vorholzlänge bei einer Dübelreihe e_{dl}	Zulässige Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von					
	Außendurchmesser d_d	Höhe h_d	Dicke s	zusätzliche Maße nur für einseitige Einlassdübel Typ A			d_1	d_u	h_1	s_1			mm	mm		mm	b/a	mm	kN	kN	kN
				mm	mm	mm															
A	65	30	5	13	22,5	8	3	-	-	-	-	-	-	100/40	110/40	140	11,5	10	9		
	80	30	6	13	22,5	8	3	-	-	-	-	-	-	110/50	130/50	180	14	12,5	11		
	95	30	6	13	33,5	8	4	-	-	-	-	-	-	120/60	150/60	220	17	14,5	12,5		
	126	30	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160/60	200/60	250	20	17	14		
	128	45	8	13	45	10	4	-	-	-	-	-	-	160/60	200/60	300	28	23,5	19		
	160	45	10	17	50	12	4	-	-	-	-	-	-	200/100	240/100	340	34	27,5	21,5		
B	190	45	10	17	60	12	6	-	-	-	-	-	-	230/100	260/100	430	48	35,5	29		
	88	20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120/50	140/50	160	12	10,5	9,5		
	108	24	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140/50	160/50	200	16,5	14	12,5		
	130	27	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160/60	200/60	240	21,5	18	15,5		
	152	30	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180/60	220/60	280	27,5	23	18,5		
	174	34	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200/80	240/80	320	34	29	23		
196	36	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220/80	260/80	360	42	35,5	26,5			
216	40	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	240/80	280/80	400	52	44	32			
236	45	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260/80	300/80	440	64	55	40			
260	50	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280/80	320/80	480	78	66	47,5			

Tab. 8: Bemessungstabelle für Dübeltyp A und B [2]

4.2.2.2 Dübeltyp C

Dübeltyp	Maße der Dübel						Rechenwert für die Dübelfläche ΔA cm^2	Schraubenbolzen (Sechskantschrauben nach ÖNORM EN ISO 4016) d_b	Mindestmaße der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Mindestdübelabstand und Vorholzlänge bei einer Dübelreihe e_{dW} mm	Zulässige Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von			
	Maße für einseitige Einpressdübel			Maße für einseitige runde Einpressdübel					0° bis 30°	30° bis 60°		60° bis 90°			
	Außendurchmesser bzw. Seitenlänge d_d mm	Höhe h_d mm	Dicke s mm	Durchmesser d_f mm	Dicke s mm	Höhe h_d mm							Abstand d_m mm		
C (runde Einpressdübel)	48	12,5	1	6,6	1	12,2	-	M 12	100/40 oder 80/60	100/40	120	5	4,5	4,5	
	62	16	1,2	8,7	1,2	12,2	-	M 12	100/40 oder 90/60	110/40	120	7	6,5	6	
	75	19,5	1,25	10,3	1,25	16,2	-	M 16	100/50	120/50	140	9	8,5	8	
	95	24	1,35	12,8	1,35	16,2	49	M 16	120/50	140/50	140	12	11	10,5	
	117	29,5	1,5	16	1,5	20,2	58	M 20	150/80	180/80	170	16	15	14	
	140	31	1,65	-	-	12	-	M 24	170/80	200/100	200	22	20	18,5	
	165	32	1,8	-	-	12	-	M 24	190/80	230/100	230	30	27	24	
	100	16	1,35	-	-	-	-	M 20	130/60	160/60	170	17	15,5	14,5	
	C (quadratische Einpressdübel)	130	20	1,5	-	-	-	-	M 24	160/60	190/80	200	23	21	19

Tab. 9: Bemessungstabelle für Dübeltyp C [2]

4.2.2.3 Dübeltyp D

Dübeltyp	Maße der Dübel und Rechenwerte für die Fehlfäche										Schraubenbolzen (Sechskantschrauben nach ÖNORM EN ISO 4016) d_b	Mindestmaße der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von b/a mm 100/40 oder 80/60 100/40 oder 90/60 110/50 120/60 140/60 170/60	Mindestdübelabstand und Vorholzlänge bei einer Dübelreihe e_{df} mm	Zulässige Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		
	Außendurchmesser d_d mm	Zweiseitige Dübel		Einseitige Dübel		Dübel fehlfläche ΔA cm ²	Dübel fehlfläche ΔA cm ²	0° bis 30°	30° bis 60°	60° bis 90°						
		Anzahl der Zähne	Maße	Höhe	Dicke									Höhe	Maße	Durchmesser
D	50	8	27	3	2,8	15	12,2	3,4	M 12	100/40 oder 80/60	120	8	7,5	7		
	65	12 oder 14	27	3	3,6	15	16,2	4,5	M 16	100/40 oder 90/60	140	11,5	11	10		
	80/85	22	27	3	4,6	15	20,2	5,5	M 20	110/50 130/60	170	17	16	14,5		
	95	24	27	3	5,6	15	24,2	6,9	M 24	120/60 140/60	200	21	19,5	17,5		
	115	30 oder 32	27	3	7	15	24,2	8,6	M 24	140/60 170/60	230	27	24,5	21,5		

Tab. 10: Bemessungstabelle für Dübeltyp D [2]

5. Parameterstudien und Bemessungshilfsmittel

5.1 Verbindungen mit Ring- und Scheibendübeln

5.1.1 Einfluss der zur Faserrichtung gerichteten Krafrichtung α

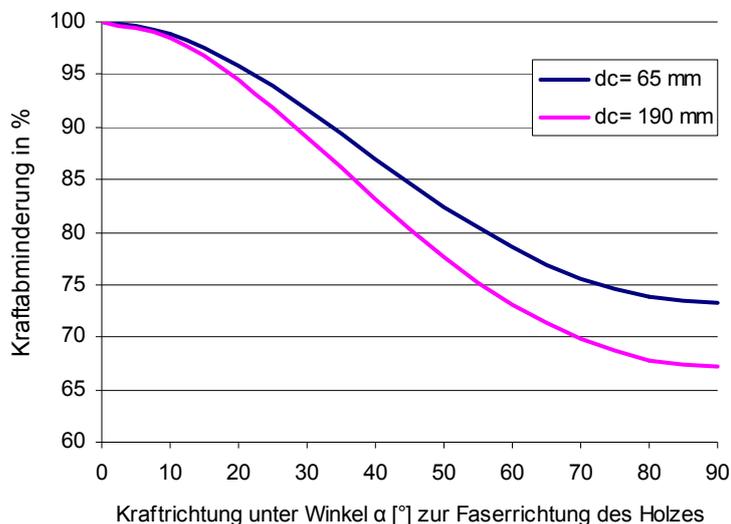


Abb. 27: Abminderung der Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge in Abhängigkeit von Krafrichtung α und dem Dübel Durchmesser d_c (Dübeltyp A1)

Winkel [°] α	Dübel Durchmesser d_c [mm]						
	65	80	95	126	128	160	190
0	100	100	100	100	100	100	100
10	98,91	98,87	98,82	98,73	98,73	98,63	98,54
20	95,91	95,74	95,58	95,25	95,23	94,89	94,58
30	91,64	91,32	91,01	90,38	90,33	89,69	89,09
40	86,90	86,43	85,97	85,03	84,97	84,03	83,16
50	82,36	81,77	81,18	80,00	79,93	78,74	77,67
60	78,51	77,82	77,15	75,79	75,70	74,35	73,13
70	75,63	74,88	74,14	72,67	72,57	71,11	69,80
80	73,86	73,07	72,30	70,76	70,67	69,15	67,79
90	73,26	72,46	71,68	70,13	70,03	68,49	67,11

Tab. 10a: Abminderung der Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge in [%] in Abhängigkeit von Krafrichtung α zur Holzfaserrichtung und dem Dübel Durchmesser d_c (Dübeltyp A1)

Abb. 27 veranschaulicht die Abminderung der Tragfähigkeit eines Dübels mit zunehmendem Winkel α zur Faserrichtung des Holzes, wobei die max. mögliche Abminderung (67%) dann auftritt, wenn die Hölzer der Verbindung miteinander einen rechten Winkel einschließen und d_c ein Maximum erreicht.

5.1.2 Rohdichte des Holzes

5.1.2.1 Modifikationsbeiwert k_3

Pappel und Nadelholz												
Holzklasse	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
ρ_k [kg/m ³]	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
k_3	0,83	0,89	0,91	0,94	0,97	1	1,06	1,09	1,14	1,20	1,26	1,31

Tab. 11a: k_3 in Abhängigkeit von der Rohdichte nach Nadelholzklassen sortiert [5]

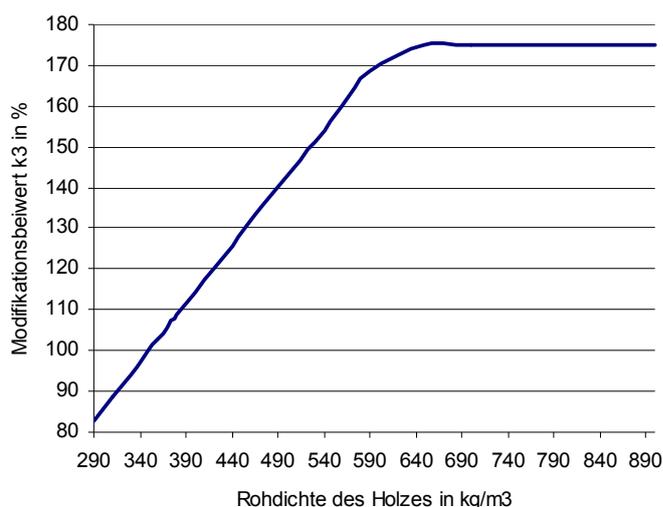
Laubholz						
Holzklasse	D 30	D 35	D 40	D 50	D 60	D 70
ρ_k [kg/m ³]	530	560	590	650	700	900
k_3	1,51	1,60	1,69	1,75	1,75	1,75

Tab. 11b: k_3 in Abhängigkeit von der Rohdichte nach Laubholzklassen sortiert [5]

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. \quad (57)$$

Mit dem Modifikationsbeiwert k_3 wird eine etwaige Abminderung bzw. Erhöhung der Tragfähigkeit je Dübel und Scherfuge in Abhängigkeit von der Rohdichte ρ_k der verwendeten Holzklasse berücksichtigt. Der Verlauf von k_3 ist in Abb. 28 dargestellt.

Die Holzklasse C24 mit einer Rohdichte ρ_k von 350 kg/m³ markiert die Grenze zwischen Abminderung und Erhöhung der Dübeltragfähigkeit. Sämtliche



Klassen mit geringerer Rohdichte bewirken eine Abminderung, alle Klassen darüber bewirken eine Erhöhung der Tragfähigkeit, welche allerdings mit +75% (Faktor 1,75) begrenzt ist.

Abb. 28: Verlauf des Modifikationsbeiwertes k_3 in Abhängigkeit von der Rohdichte nach Holzklassen gestaffelt

5.1.3 Seiten- und Mittelholzdicke

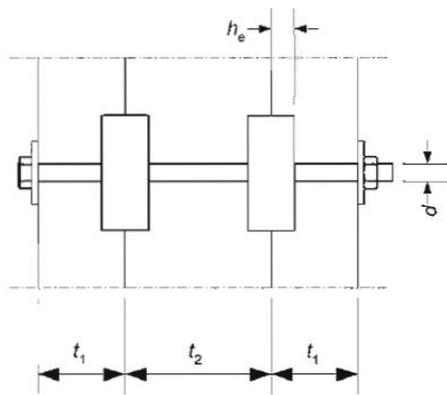


Abb. 29: Definition von Seitenholz t_1 , Mittelholz t_2 sowie Einbindetiefe h_e einer Verbindung mit Ring- und Scheibendübeln besonderer Bauart nach [1]

5.1.3.1 Modifikationsbeiwert k_1

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{cases} \quad (58)$$

Der Modifikationsbeiwert k_1 berücksichtigt das Verhältnis zwischen den Seitenhölzern t_1 bzw. Mittelholz t_2 zur Einbindetiefe h_e , wobei letztere die Hälfte der Dübelhöhe h_c beträgt. Aufgrund der Bedingung in [1] dass die Dicke der Seitenhölzer t_1 mindestens $2,25 h_e$ und die Dicke des Mittelholzes t_2 mindestens $3,75 h_e$ betragen soll, ist die maximale Abminderung mit 25 % (Faktor 0,75) eingegrenzt. Somit bewegt sich der Modifikationsbeiwert k_1 zwischen den Grenzen 0,75 und 1.

		Einbindetiefe h_e des Dübels [mm]						
		10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
t_1 [mm]	min	23	28	34	40	45	51	56
	max	30	38	45	53	60	68	75
t_2 [mm]	min	38	47	56	66	75	84	94
	max	50	63	75	88	100	112	125
t_1/t_2 min.		23/38	28/47	34/56	40/66	45/75	51/84	56/94
t_1/t_2 opt.		30/50	38/63	45/75	53/88	60/100	68/112	75/125

Tab. 12: Mindest- und optimale Dicken t_1, t_2 in Abhängigkeit von der Einbindetiefe h_e

SH/MH	30/40	30/50	35/60	35/80	40/60	38/63	40/80	45/75	45/80	50/75	
t_1/t_2	0,75	0,6	0,58	0,44	0,66	0,60	0,50	0,60	0,56	0,66	
h_e [mm]	10	0,80	1	1	1	1	1	1	1	1	
	12,5	-	0,80	0,93	0,93	0,96	1	1	1	1	
	15	-	-	0,77	0,77	0,80	0,86	0,88	1	1	
	17,5	-	-	-	-	-	0,75	0,76	0,80	0,85	0,85
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,75
	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SH/MH	50/80	53/88	60/95	60/100	60/120	68/112	65/120	70/120	75/120	75/125	
t_1/t_2	0,63	0,60	0,63	0,60	0,50	0,6	0,54	0,58	0,63	0,60	
h_e [mm]	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	12,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	17,5	0,91	1	1	1	1	1	1	1	1	
	20	0,80	0,85	0,95	1	1	1	1	1	1	
	22,5	-	0,76	0,84	0,88	0,89	1	0,96	1	1	1
	25	-	-	0,76	0,80	0,80	0,86	0,86	0,93	0,96	1

Tab. 13: Beiwert k_1 in Abhängigkeit von t_1/t_2 und der Einbindetiefe h_e des Dübels

Eine optimale Ausnutzung des Einflusses der Seiten- bzw. Mittelholzes auf die Tragfähigkeit einer Verbindung mit Dübeln besonderer Bauart kann erst dann erreicht werden, wenn sich das Dickenverhältnis zwischen Seiten- und Mittelholz t_1/t_2 bei exakt $3/5 = 0,6$ einstellt. In Tab. 12 sind die optimalen Seiten- bzw. Mittelholzabmessungen für gängige Dübelabmessungen angegeben.

Tab. 13 veranschaulicht dass sich nach Erreichen des optimalen Dickenverhältnisses $t_1/t_{2,opt}$ jede weitere Steigerung der Seiten- bzw. Mittelholzdicke sich nicht mehr auf den Modifikationsbeiwert k_1 auswirkt und daher einer Überdimensionierung gleichkommt, da dadurch die charakteristische Tragfähigkeit je Dübel und Scherfuge nicht mehr gesteigert werden kann.

5.1.4 Dübeldurchmesser und Randabstand

5.1.4.1 Modifikationsbeiwert k_2

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad \text{mit } k_a = \begin{cases} 1 & \text{bei einem} \\ 1,25 & \text{bei mehreren} \end{cases} \quad \text{Dübel(n) pro Scherfuge} \quad (59)$$

		Dübelabstand zum beanspruchten Hirnholzende $a_{3,t}$ [mm]										
		90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Dübeldurchmesser d_c [mm]	60	0,75	1	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
	80	-	0,75	0,94	1,13	1,31	1,50	1,69	1,88	2,06	2,25	2,44
	100	-	-	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95
	120	-	-	-	0,75	0,88	1	1,13	1,25	1,38	1,50	1,63
	140	-	-	-	-	0,75	0,86	0,96	1,07	1,18	1,29	1,39
	160	-	-	-	-	-	0,75	0,84	0,94	1,03	1,13	1,22
	180	-	-	-	-	-	-	0,75	0,83	0,92	1	1,08
	200	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,83	0,90	0,98
	220	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,82	0,89
	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,81
	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75

Tab. 14: Modifikationsbeiwert k_2 in Abhängigkeit von Dübeldurchmesser d_c und dem Mindestdübelabstand $a_{3,t}$

Aufgrund des in [1] geforderten Mindestdübelabstandes $a_{3,t}$ von $1,5d_c$ ist der Modifikationsbeiwert k_2 nach unten mit 0,75 begrenzt. Der Dübeldurchmesser d_c und der Dübelabstand zum beanspruchten Hirnholzende bewirkt also im ungünstigsten Fall eine Abminderung von maximal 25%. Weiters ist k_2 wie in der Formel ersichtlich abhängig vom Beiwert k_a welcher die Anzahl der Dübel pro Scherfuge in einer Verbindung berücksichtigt. Somit gilt für den Beiwert k_2 :

- $0,75 < k_2 < 1$ bei einem Dübel pro Scherfuge
- $0,75 < k_2 < 1,25$ bei mehreren Dübeln pro Scherfuge

4.1.4.2 Direkter Einfluss von d_c auf die Dübeltragfähigkeit $F_{v,0,k}$

Neben k_2 geht der Einfluss des Dübeldurchmessers auch in die Formel für die charakteristische Tragfähigkeit in Faserrichtung je Dübel und Scherfuge ein:

$$F_{v,0,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} (35d_c^{1,5})k_1k_2k_3k_4 \quad (a) \\ (31,5d_c)h_e k_1k_3 \quad (b) \end{array} \right. \quad (60)$$

	Dübeldurchmesser d_c [mm]												
	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
rel. $F_{v,0,k}$ [%]	10,3	15,9	22,2	29,2	36,8	45	53,7	62,9	72,5	80	86,7	93,3	100
Δ [%]	5,6		7		8,2		9,2		7,5		6,6		
		6,3		7,6		8,7		9,6		6,7		6,7	

Tab. 15: Steigerung der charakteristischen Tragfähigkeit in Faserrichtung $F_{v,0,k}$ in % in Abhängigkeit vom Dübeldurchmesser d_c

Aufgrund der Abhängigkeit der charakteristischen Tragfähigkeit von den beiden Bedingungen (a) und (b) tritt bei einer konstanten Steigerung des Dübeldurchmessers d_c bei gleichzeitigem Festhalten der übrigen Beiwerte k_i in (60) ein Knick in der Funktion (Abb. 30) auf, da beim Durchlaufen der linearen Konstante d_c abwechselnd jeweils (a) und bei weiterer Steigerung (b) für $F_{v,0,k}$ maßgebend wird.

Die Tragfähigkeit $F_{v,0,k}$ steigt also bei konstanter Steigerung von d_c in Summe gesehen weder linear noch annähernd quadratisch, sondern unregelmäßig. Diese unregelmäßigen Sprünge sind in Tab. 15 dargestellt. Die Tragfähigkeitskurve in Abb. 30 steigt bis zum Durchmesser $d_c = 220$ mm annähernd quadratisch an da zunächst die Bedingung (a) maßgebend ist, ab diesem Grenzwert für d_c flacht die Steigung der Kurve etwas ab und verläuft dann aufgrund der sich nun einstellenden maßgebenden Bedingung (b) linear. Dadurch entsteht der charakteristische Knick.

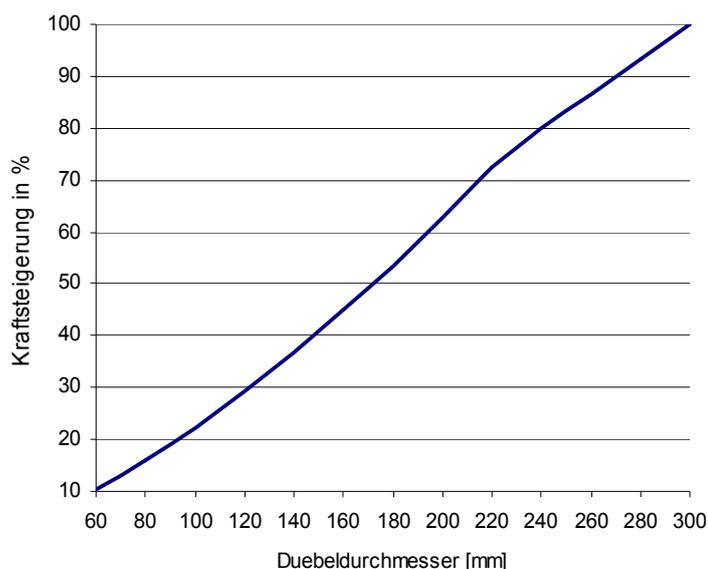


Abb. 30: Steigerung der charakteristischen Tragfähigkeit in Faserrichtung $F_{v,0,k}$ in % in Abhängigkeit vom Dübeldurchmesser d_c

5.1.5 Wirksame Anzahl von hintereinander angeordneten Dübeln

Die wirksame Anzahl für mehrere in Krafrichtung hintereinander angeordnete Dübel ist für den Fall, dass der Kraft-Faser-Winkel $\alpha = 0^\circ$ beträgt mit 6 Stück begrenzt. Eine Steigerung über 10 Dübel in einer Reihe angeordnet hinaus wirkt sich daher nicht mehr auf die statisch wirksame Anzahl aus.

Erweitert man (56) aus Abschnitt 4.1 um den Term aus der ÖNORM B 4100-2 Abschn. 5.2.1 (66), welcher die Krafrichtung zur Faser berücksichtigt, erhält man:

$$n_{ef} = \left[2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) (n - 2) \right] \frac{90^\circ - \alpha}{90^\circ} + n \frac{\alpha}{90^\circ} \quad \text{für } 2 \leq n \leq 10 \quad (61)$$

Für die Werte von (61) kann man für den sinnvollen Bereich des Kraft-Faser-Winkels $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ eine übersichtliche Tabelle zusammenstellen:

		n								
		2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10
α	0°	2	2,85	3,6	4,25	4,8	5,25	5,6	5,85	6
	30°	2	2,9	3,73	4,5	5,2	5,83	6,4	6,9	7,33
	45°	2	2,93	3,8	4,63	5,4	6,13	6,8	7,43	8
	60°	2	2,95	3,87	4,75	5,6	6,42	7,2	7,95	8,67

Tab. 15a: Wirksame Dübelanzahl n_{ef} in Abhängigkeit von Dübelanzahl n und dem Kraft-Faser-Winkel α

Aus Tab. 15a wird ersichtlich, dass die wirksame Dübelanzahl mit größer werdendem Kraft-Faser-Winkel zunimmt.

Für den trivialen Fall $\alpha = 90^\circ$ fällt die wirksame Dübelanzahl n_{ef} mit der tatsächlichen Dübelanzahl n zusammen und wird daher nicht in der Tabelle angeführt.

Sobald mehr als 2 Dübel in Krafrichtung hintereinander angeordnet werden, erfährt die gesamte charakteristische Tragfähigkeit eine Abminderung.

Bei 3 hintereinander angeordneten Dübeln in Krafrichtung erfährt die Gesamttragfähigkeit einer Dübelverbindung $F_{v,0,Rk,ges} = n_{ef} \cdot F_{v,0,Rk}$ bereits eine Reduktion von 15 %.

5.2 Verbindungen mit Scheibendübeln mit Zähnen

5.2.1 Bolzendurchmesser und Randabstand

Der Durchmesser d für den Bolzen zur Sicherung der Dübelverbindung hat bei Ring- und Scheibendübeln keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Dübels, da er bei letzteren nur als Kippsicherung dient und seine Tragfähigkeit nicht in Rechnung gestellt wird.

Für eine Verbindung mit Scheibendübeln mit Dornen und Zähnen wird die Tragfähigkeit des einzelnen Dübels je Scherfuge sehr wohl vom Bolzendurchmesser d beeinflusst, da dieser maßgebend beim Tragverhalten der Verbindung beteiligt ist.

5.2.1.1 Modifikationsbeiwert k_2

Die Ermittlung von k_2 gestaltet sich analog zu 5.1.4.1 in Abschnitt 5.1 mit dem Unterschied, dass nun für die Ermittlung des Abstandes zum beanspruchten Hirnholzende $a_{3,t}$ nicht nur der Dübeldurchmesser d_c , sondern auch der Bolzendurchmesser d , welcher im Rechenmodell laut [1] für die Ermittlung von k_2 berücksichtigt wird, Eingang findet.

Zusätzlich unterscheidet der EC 5 für die Ermittlung des Modifikationsbeiwertes k_2 zwischen Scheibendübeln mit Zähnen (Typ C1 bis C9) und Scheibendübeln mit Dornen (Typ C10 und C11). Diese Unterscheidung und die daraus resultierende modifizierte Formel für k_2 rührt aus der Tatsache, dass diese beiden Typen von Einpressdübeln in ihrem Tragverhalten unterschiedliche Eigenschaften aufweisen und sich damit auch unterschiedlich auf die letztendliche Tragfähigkeit der jeweiligen Dübelverbindung auswirken. Für Dübeltyp C1 bis C9 wird k_2 wie folgt ermittelt:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{a_{3,t}}, \frac{1}{1,5d_c} \right\} \quad (62)$$

Mit folgender Bedingung für $a_{3,t}$:

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1d_c \\ 7d \\ 80mm \end{array} \right. \quad (63)$$

Für Dübeltyp C10 und C11 wird k_2 wie folgt ermittelt:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{a_{3,t}}, \frac{1}{2d_c} \right\} \quad (64)$$

Mit folgender Bedingung für $a_{3,t}$:

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5d_c \\ 7d \\ 80\text{mm} \end{array} \right. \quad (65)$$

Aus den Bedingungen (63) und (65) lassen sich folgende Tabellen (16,17) für den Abstand zum beanspruchten Hirnholende $a_{3,t}$ in mm angeben

		Bolzendurchmesser d [mm]							
		6	8	10	12	16	20	24	30
Dübeldurchmesser d_c [mm]	60	80	80	80	84	112	140	168	210
	80	88	88	88	88	112	140	168	210
	100	110	110	110	110	112	140	168	210
	120	132	132	132	132	132	140	168	210
	140	154	154	154	154	154	154	168	210
	160	176	176	176	176	176	176	176	210
	180	198	198	198	198	198	198	198	210
	200	220	220	220	220	220	220	220	220
	220	242	242	242	242	242	242	242	242
	240	264	264	264	264	264	264	264	264
	260	286	286	286	286	286	286	286	286
	280	308	308	308	308	308	308	308	308
300	330	330	330	330	330	330	330	330	

Tab. 16: $a_{3,t}$ [mm] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C1-C9

		Bolzendurchmesser d [mm]							
		6	8	10	12	16	20	24	30
Dübeldurchmesser d_c [mm]	60	90	90	90	90	112	140	168	210
	80	120	120	120	120	120	140	168	210
	100	150	150	150	150	150	150	168	210
	120	180	180	180	180	180	180	180	210
	140	210	210	210	210	210	210	210	210
	160	240	240	240	240	240	240	240	240
	180	270	270	270	270	270	270	270	270
	200	300	300	300	300	300	300	300	300
	220	330	330	330	330	330	330	330	330
	240	360	360	360	360	360	360	360	360
	260	390	390	390	390	390	390	390	390
	280	420	420	420	420	420	420	420	420
300	450	450	450	450	450	450	450	450	

Tab. 17: $a_{3,t}$ [mm] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C10, C11

Aus den Bedingungen (62) und (64) lassen sich folgende Tabellen (Tab.18,19) für den Modifikationsbeiwert k_2 angeben

		Bolzendurchmesser d [mm]							
		6	8	10	12	16	20	24	30
Dübeldurchmesser d_c [mm]	60	0,889	0,889	0,889	0,933	1	1	1	1
	80	0,733	0,733	0,733	0,733	0,933	1	1	1
	100	0,733	0,733	0,733	0,733	0,747	0,933	1	1
	120	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,778	0,933	1
	140	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,8	1
	160	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,875
	180	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,778
	200	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
	220	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
	240	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
	260	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
	280	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
	300	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733

Tab. 18: k_2 [-] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C1-C9

		Bolzendurchmesser d [mm]							
		6	8	10	12	16	20	24	30
Dübeldurchmesser d_c [mm]	60	0,750	0,750	0,750	0,750	0,933	1	1	1
	80	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,875	1	1
	100	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,840	1
	120	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,875
	140	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	160	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	180	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	200	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	220	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	240	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	260	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	280	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	300	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750

Tab. 19: k_2 [-] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C10, C11

Wie aus den Tabellen 18,19 ersichtlich ist, bleibt der Modifikationsbeiwert k_2 für fast alle Dübeldurchmesser d_c und Bolzendurchmesser d konstant und variiert kaum, da ab einem gewissen Dübeldurchmesser nur noch die erste der drei Bedingung aus (63) bzw. (65) maßgebend wird. Setzt man Gl. (63), (65) in die Bedingungen (62) und (64) ein, ergeben diese dann für k_2 einen

konstanten Wert, da sowohl im Nenner als auch im Zähler der Dübeldurchmesser d_c erscheint und dieser sich somit herauskürzt. Damit bleibt nur noch eine Konstante übrig, welche für:

$$\text{Gleichung (62): } \frac{1,1}{1,5} = 0,733$$

$$\text{und für Gleichung (64): } \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ ist}$$

Somit kann man für den Modifikationsbeiwert k_2 bei Scheibendübeln mit Zähnen und Dornen folgende hinreichend genaue Grenzen angeben:

- $0,733 < k_2 < 1$ für die Dübeltypen C1 – C9
- $0,75 < k_2 < 1$ für die Dübeltypen C10 und C11

5.3 Bemessungshilfsmittel

Mit den Ergebnissen aus 5.1 und 5.2 lassen sich nun analog zur ÖNORM B 4100-2 einfach zu handhabende und übersichtliche Bemessungshilfsmittel für die neuen typisierten Dübeltypen nach EN 912 zusammenstellen.

5.3.1 Annahmen für die Tabellenwerte

Folgende Annahmen liegen den Tabellenwerten zugrunde:

- Es wurde eine mittlere Rohdichte von $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$ gewählt
- Der Beiwert k_a aus Bedingung (3) welcher die Anzahl der Dübel pro Scherfuge berücksichtigt, wurde mit 1 angenommen (also 1 Dübel pro Scherfuge)
- Der Modifikationsbeiwert k_4 welcher die Art der Verbindung berücksichtigt wurde ebenso mit 1 angenommen. Es werden also ausschließlich Holz-Holz-Verbindungen zur Untersuchung herangezogen.
- Die Mindestbreiten der Seiten- und Mittelhölzer sowie der Abstand zum beanspruchten Hirnholze (Vorholzlänge) ergeben sich aus den Mindestrandabständen nach Tab. 1a für Einlass- und Einpressdübeln und wurden auf jeweils volle 5 mm aufgerundet.

- Es werden ausschließlich Dübeltypen mit doppelseitiger Ausführung betrachtet. Die einseitigen Dübeltypen unterscheiden sich nur in ihrer Geometrie, nicht aber in ihrer Tragfähigkeit.
- Auf die Angabe von empfohlenen Bolzendurchmessern und Dübelhelfflächen in den Tabellen wurde bewusst verzichtet, da diese Werte sich kaum von den Werten der alten Bemessungstabellen nach ÖNORM unterscheiden und aus letzterer zu entnehmen sind.
- Der Bolzenanteil $F_{v,R,k}$ (charakteristische Tragfähigkeit des zugehörigen Bolzens nach Abschnitt 8.5 in [1]) der zulässigen Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge bei einer Verbindung mit Scheibendübeln mit Zähnen (Dübeltyp C1, C5 und C10) wurde aus [12], Tabelle 11.6 entnommen.
- Die Schraubenbolzen für die Sicherung der Dübelverbindung weisen die Stahlgüte S 235 mit der charakteristischen Bruchfestigkeit $f_{uk} = 360 \text{ N/mm}^2$ auf.

5.3.2 Dübeltyp A1

Maße für Dübeltyp A1			Breite der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Abstand zum beanspruchten Hirnholzende	Seitenholzdicke	Mittelholzdicke	charakteristische Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		
Außendurchmesser	Höhe	Dicke	0°-30°	30°-90°				0°-30°	30°-60°	60°-90°
			d_c	h_c	t	b	b	$a_{3,t}$	t_1	t_2
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN
65	30	5	85	105	100	35	60	11,5	9,9	9,2
80	30	6	105	130	120	35	60	15,3	13,0	12,1
95	30	6	125	155	145	35	60	20,0	17,0	15,8
126	30	6	165	205	190	35	60	30,0	25,1	23,3
128	45	8	170	205	195	55	85	30,1	25,2	23,4
160	45	10	210	260	240	55	85	41,1	34,1	31,4
190	45	10	250	305	285	55	85	52,9	43,4	39,8

Tab. 20: Bemessungsbehelf für Dübeltyp A1 mit Angabe der charakteristischen Übertragungskraft je Dübel, sowie den Mindestbreiten, -abständen und -holz-dicken in Abhängigkeit von der Neigung der Kraft- zur Faserrichtung

Der Dübeltyp A1, welcher nach EN 912 zu der Gruppe der Ringdübeln (Gruppe A) gehört, ist ein geschlossener Ringdübel besonderer Bauart mit einer linsenförmigen Querschnittsfläche und entspricht hinsichtlich seiner Maße und Abmessungen Dübeltyp A aus der ÖNORM B 4100-2. [3]

Hinsichtlich der zulässigen Übertragungskräfte ist aufgrund der exakt übereinstimmenden verfügbaren Durchmesser d_c ein genauer Vergleich mit der alten Norm möglich. (Vergleichsrechnung siehe Abschnitt 5). Seine Abmessungen müssen jene der Tab. 21 entsprechen.

Durchmesser d_c	Höhe h_c	Dicke t	Radius r
65	30	5	50
80	30	6	50
95	30	6	60
126	30	6	60
128	45	8	60
160	45	10	60
190	45	10	60

Tab. 21 Maße des Dübeltyps A1 in [mm] nach EN 912 [3]

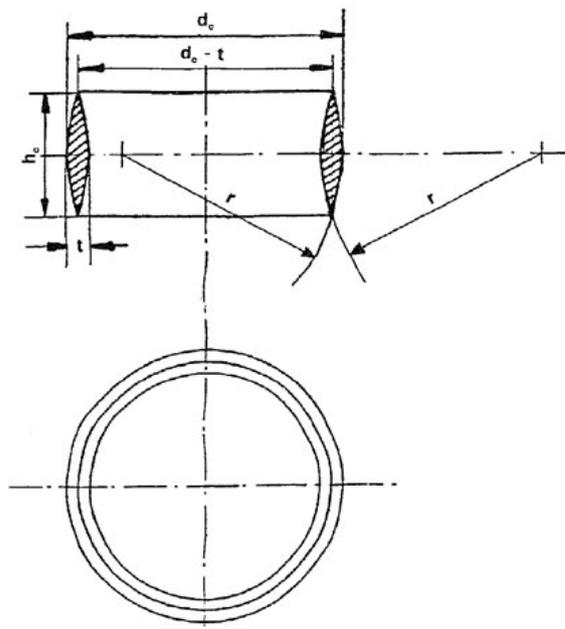


Abb. 30a: Dübeltyp A1 nach EN 912 [3]



Abb. 30b: Ansicht des Dübeltyps A1 /4/

Ringdübel des Typs A1 werden aus Aluminium - Gußlegierung nach EN 1706 hergestellt. [3]

5.3.3 Dübeltyp A5

Maße für Dübeltyp A5			Breite der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Abstand zum beanspruchten Hirnholzende	Seitenholzdicke	Mittelholzdicke	charakteristische Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		
Außendurchmesser	Höhe	Dicke	0°-30°	30°-90°				0°-30°	30°-60°	60°-90°
d_c	h_c	t	b	b	$a_{3,t}$	t_1	t_2	$F_{v,a,Rk}$	$F_{v,a,Rk}$	$F_{v,a,Rk}$
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN
88	20	4	115	125	135	25	40	18,5	15,7	14,6
108	24	4	140	155	165	30	45	23,3	19,7	18,3
130	27	5	170	185	195	35	55	32,7	27,4	25,3
152	30	6	200	215	230	35	60	39,6	32,9	30,4
174	34	7	230	245	265	40	65	47,8	39,4	36,3
196	36	8	255	275	295	45	70	57,2	46,8	42,9
216	40	8	280	305	325	45	75	63,5	51,7	47,3
236	45	8	310	330	355	55	85	72,7	58,8	53,7
260	50	10	340	365	390	60	95	83,9	67,3	61,3

Tab. 22: Bemessungsbehelf für Dübeltyp A5 mit Angabe der charakteristischen Übertragungskraft je Dübel, sowie den Mindestbreiten, -abständen und -holz-dicken in Abhängigkeit von der Neigung der Kraft- zur Faserrichtung

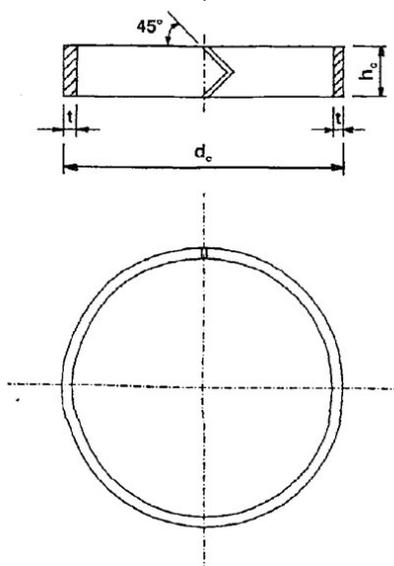


Abb. 31a: Dübeltyp A5 nach EN 912 [3]



Abb. 31b: Ansicht des Dübeltyps A5

Der Dübeltyp A5, welcher nach EN 912 zu der Gruppe der Ringdübeln (Gruppe A) gehört, ist ein Dübel besonderer Bauart mit einer rechteckigen

Querschnittsfläche. Er ist an einer Stelle seines Umfangs derart aufgetrennt, dass die Enden eine V-förmige Gestalt erhalten.

Er entspricht hinsichtlich seiner Maße und Abmessungen Dübeltyp B aus der ÖNORM B 4100-2. Ringdübel des Typs A5 werden aus warmgewalzten Bandstahl S 235 JR G1 nach EN 10025 hergestellt [3]. Abmessungen siehe Tab. 22.

5.3.4 Dübeltyp C1

Maße für Dübeltyp C1			Breite der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Abstand zum beanspruchten Hirnholzende	Seitenholzdicke	Mittelholzdicke	charakteristische Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		
Außendurchmesser	Höhe	Dicke	0°-30°	30°-90°				0°-30°	30°-60°	60°-90°
d_c	h_c	t	b	b	$a_{3,t}$	t_1	t_2	$F_{V,\alpha,Rk}$	$F_{V,\alpha,Rk}$	$F_{V,\alpha,Rk}$
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN
50	13	1	65	70	100	20	35	8,2	7,1	6,7
62	16	1,2	80	90	124	25	40	8,4	7,3	6,8
75	19,5	1,25	100	105	150	30	45	12,1	10,5	9,8
95	24	1,35	125	135	190	35	50	15,1	12,9	12,0
117	30	1,5	155	165	235	40	60	20,0	17,0	15,8
140	31	1,65	185	200	280	45	70	28,4	23,9	22,1
165	33	1,8	215	235	330	50	80	35,7	29,8	27,5

Tab. 23: Bemessungsbehelf für Dübeltyp C1 mit Angabe der charakteristischen Übertragungskraft je Dübel, sowie den Mindestbreiten, -abständen und -holzdicken in Abhängigkeit von der Neigung der Kraft- zur Faserrichtung

Der Dübeltyp C1, welcher nach EN 912 zu der Gruppe der Scheibendübel mit Zähnen (Gruppe C) gehört, ist ein zweiseitiger Dübel besonderer Bauart, der aus einer kreisförmigen Scheibe besteht, deren Ränder derart eingeschnitten und aufgebogen sind, dass auf den gegenüberliegenden Seiten wechselweise dreieckförmige Zähne unter 90° zur Scheibenfläche hervorstehen.

Die Zähne müssen gleichmäßig über den Scheibenumfang und, bei Dübeln mit $d_c \geq 95\text{mm}$, über den Bolzenlochumfang in der Scheibenmitte verteilt sein [3]. Dieser Dübel entspricht dem runden Dübeltyp C in der ÖNORM B 4100-2.

Seitenlänge	Höhe	Dicke	Durchmesser des Mitteloches	Anzahl der äußeren Zähne	Anzahl der inneren Zähne	Höhe der inneren Zähne
d	h_c	t	d_1			h_2
50	13	1	17	24	-	-
62	16	1,2	21	24	-	-
75	19,5	1,25	26	24	-	-
95	24	1,35	33	24	12	9,5
117	30	1,5	48	24	12	12,5
140	31	1,65	58	28	14	10,5
165	33	1,8	68	32	16	11

Tab. 24: Maße des Dübeltyps C1 in [mm] nach EN 912 [3]

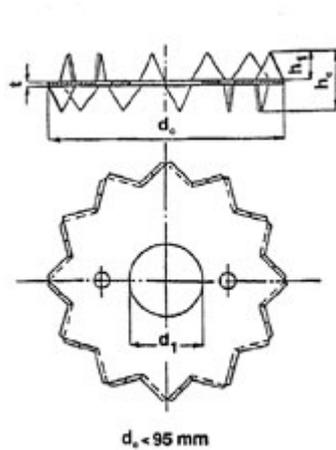


Abb. 32a: Dübeltyp C1 ohne inneren Zahnring nach EN 912 [3]

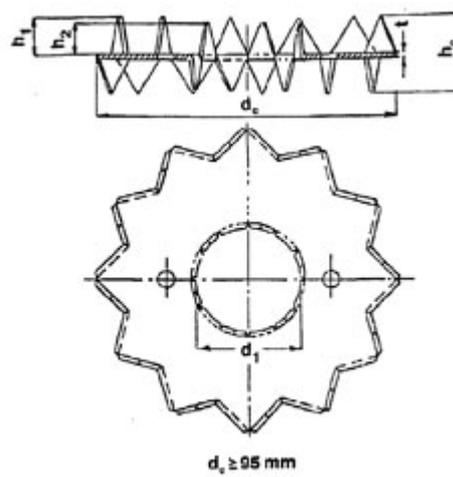


Abb. 32c: Dübeltyp C1 mit innerem Zahnring nach EN 912 [3]



Abb. 32b: Ansicht des Dübeltyps C1 ohne inneren Zahnring



Abb. 32d: Ansicht des Dübeltyps C1 mit innerem Zahnring

Scheibendübel des Typs C1 werden aus kaltgewalztem Band ohne Überzug aus weichen Stählen zum Kaltumformen hergestellt. Der Werkstoff muss der Stahlsorte DC01 + C390 nach EN 10139 entsprechen. [3]

5.3.5 Dübeltyp C5

Maße für Dübeltyp C5			Breite der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Abstand zum beanspruchten Hirnholzende	Seitenholzdicke	Mittelholzdicke	charakteristische Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		
Seitenlänge	Höhe	Dicke	0°-30°	30°-90°				0°-30°	30°-60°	60°-90°
d	h_c	t	b	b	$a_{3,t}$	t_1	t_2	$F_{V,\alpha,Rk}$	$F_{V,\alpha,Rk}$	$F_{V,\alpha,Rk}$
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN
100	16	1,35	130	140	200	30	40	19,9	16,9	15,8
130	20	1,5	170	185	260	30	60	27,3	22,9	25,1

Tab. 25: Bemessungsbehelf für Dübeltyp C5 mit Angabe der charakteristischen Übertragungskraft je Dübel, sowie den Mindestbreiten, -abständen und -holzdicken in Abhängigkeit von der Neigung der Kraft- zur Faserrichtung

Der Dübeltyp C5 ist ein zweiseitiger Dübel bes. Bauart, der aus einer quadratischen Scheibe besteht, deren Ränder derart eingeschnitten und aufgebogen sind, dass auf den gegenüberliegenden Seiten wechselweise dreieckförmige Zähne unter 90° zur Scheibenfläche hervorstehen. Die Zähne müssen gleichmäßig über den Scheibenumfang und über den Rand des quadratischen Loches in Scheibenmitte verteilt sein [3]. Dieser Dübel entspricht dem quadratischen Dübeltyp C in der ÖNORM B 4100-2. Seine Maße müssen Tab. 26 entsprechen.

Seitenlänge	Höhe	Dicke	Innere Seitenlänge	Anzahl der äußeren Zähne	Anzahl der inneren Zähne
d	h_c	t	d_1		
100	16	1,35	40	36	20
130	20	1,5	52	36	20

Tab. 26: Maße des Dübeltyps C5 in [mm] nach EN 912 [3]

Scheibendübel des Typs C5 werden aus kaltgewalztem Band ohne Überzug aus weichen Stählen zum Kaltumformen hergestellt. Der Werkstoff muss der Stahlsorte DC01 + C390 nach EN 10139 entsprechen. [3]

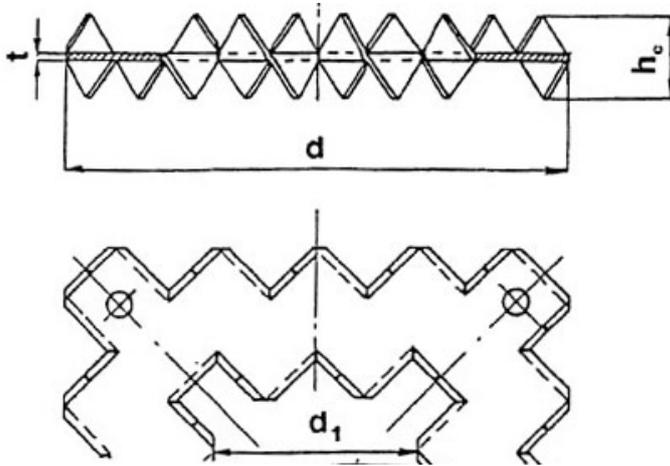


Abb. 33a: Dübeltyp C5 nach EN 912 [3]



Abb. 33b: Ansicht des Dübeltyps C5 /3/

5.3.6 Dübeltyp C10

Maße für Dübeltyp C10			Breite der Hölzer bei einer Dübelreihe und Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		Abstand zum beanspruchten Hirnholzende	Seitenholzdicke	Mittelholzdicke	charakteristische Übertragungskraft eines Dübels bei Neigung der Kraft- zur Faserrichtung von		
Außendurchmesser	Höhe	Dicke	0°-30°	30°-90°				0°-30°	30°-60°	60°-90°
d_c	h_c	t	b	b	$a_{3,t}$	t_1	t_2	$F_{v,\alpha,Rk}$	$F_{v,\alpha,Rk}$	$F_{v,\alpha,Rk}$
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN
50	27	3	65	70	100	35	60	10,4	8,9	8,3
65	27	3	85	95	130	35	60	14,8	12,7	11,9
80	27	3	105	115	160	35	60	18,5	15,8	14,8
95	27	3	125	135	190	40	65	25,7	21,8	20,3
115	27	3	150	165	230	40	70	29,2	24,7	22,9

Tab. 27: Bemessungsbehelf für Dübeltyp C10 mit Angabe der charakteristischen Übertragungskraft je Dübel, sowie den Mindestbreiten, -abständen und -holzdicken in Abhängigkeit von der Neigung der Kraft- zur Faserrichtung

Der Dübeltyp C10 ist ein Dübel besonderer Bauart, der aus einem Scheibenring mit Zähnen (Dornen) auf beiden Seiten besteht. Die Zähne sind gleichweit voneinander entfernt und entweder in einem oder in zwei Kreisen auf beiden Seiten des Scheibenringes angeordnet, wobei die inneren Zähne gegenüber den äußeren jeweils versetzt sind. Die Zahnform entspricht einem Kegel mit abgestumpfter Spitze. Die Innenseite des Kegels kann unterhalb der abgestumpften Spitze leicht abgeflacht sein, am Kegelfuß jedoch um nicht mehr als 1mm. Die Maße müssen Tab. 28 entsprechen. Scheibendübel mit Zähnen des Typs C10 werden aus Temperguss EN-GJMB-350-10 nach EN 1562 hergestellt. [3]

DM	Höhe	Dicke	Innendurchm. des Scheibenringes	Durchm. des inneren Zahnkreises	Durchm. des äußeren Zahnkreises	Zahndm. am Zahngrund d	Anzahl der Zähne je Seite
d_c	h_c	t	d_1	d_2	d_3	d_4	n
50	27	3	50	41	-	6	8
65	27	3	50	48	58	6	14
80	27	3	60	60	70	6	18
95	27	3	60	76	88	6	24
115	27	3	60	95	108	6	32

Tab. 28: Maße des Dübeltyps C10 in [mm] nach EN 912 [3]

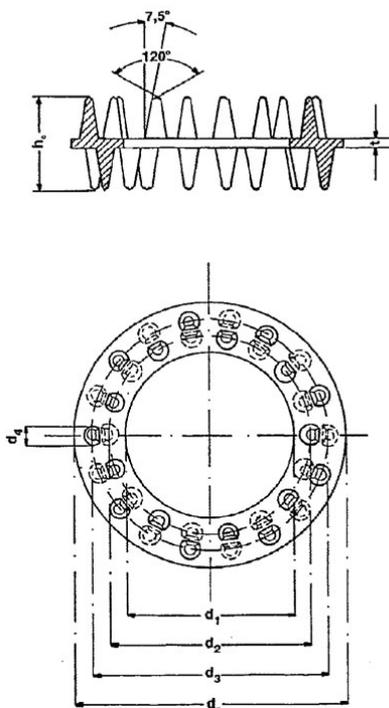


Abb. 34a: Dübeltyp C10 nach EN 912 [3]



Abb. 34b: Ansichten des Dübeltyps C10 (abgenutztes Exemplar) nach System GEKA

6. Vergleich EC 5 zu ÖNORM B 4100-2

Die herangezogenen Werte für die Vergleichsbetrachtung zwischen Eurocode 5 und ÖNORM B 4100-2 beruhen auf den Ausgangswerten von:

- Tab. 8, 9, 10 für die zulässigen Übertragungskräfte je Dübel und Scherfuge nach ÖNORM und
- Tab. 20, 22, 23, 25, 27 für die charakteristischen Übertragungskräfte je Dübel und Scherfuge nach EC 5

Um die Werte aus ÖNORM und EC 5 miteinander vergleichen zu können ist es notwendig, die charakteristischen Übertragungskräfte $F_{v,Rk}$ aus der Berechnung nach EC 5 in zulässige Übertragungskräfte F_{zul} umzurechnen. $F_{v,Rk}$ und F_{zul} stehen folgendermaßen in Relation zueinander:

$$F_{vorh} \gamma_F \leq \frac{F_{v,Rk} k_{mod}}{\gamma_M} \quad (66)$$

Dividiert man die Gleichung (66) durch den Sicherheitsbeiwert γ_F , erhält man die zulässige Übertragungskraft F_{zul} nach ÖNORM mit:

$$F_{zul} \leq \frac{F_{v,Rk} k_{mod}}{\gamma_M \gamma_F} \quad (67)$$

Dabei ist:

γ_F Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungsseite

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft

k_{mod} Modifikationsbeiwert (Feuchtegehalt und Lasteinwirkungsdauer)

$F_{v,Rk}$ Charakteristischer Wert der Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge

Setzt man nun für $\gamma_M = 1,3$ (Verbindungen); für $\gamma_F = 1,45$ (mittlerer Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungsseite) und für $k_{mod} = 0,8$ (mittlerer Modifikationsbeiwert) ein, ergibt sich Gleichung (67) zu:

$$F_{zul} = 0,424 F_{v,Rk} \quad (68)$$

Die charakteristischen Werte aus der Berechnung nach EC 5 müssen also im Mittel mit dem Faktor 0,424 multipliziert werden um die zulässigen Werte analog zur ÖNORM zu erhalten

6.1 Dübeltyp A1

Dem neuen Dübeltypen A1 nach EC 5 (basierend auf EN 912) entspricht der alte Dübeltyp A nach ÖNORM B 4100-2. Die Abmessungen der beiden Dübeltypen sind völlig identisch, daher eignet sich eine Vergleichsbetrachtung besonders gut.

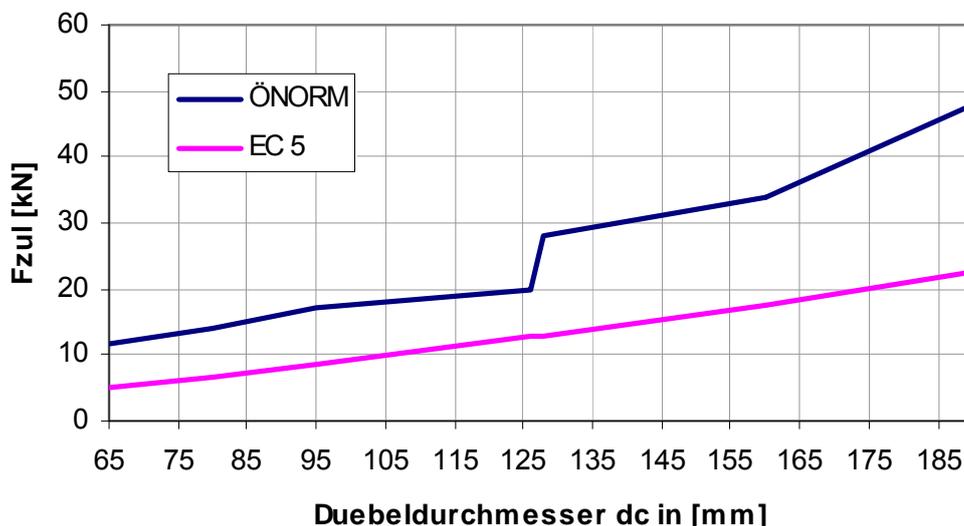


Abb. 35: Zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel $0-30^\circ$ zur Faserrichtung

d _c	ÖNORM	EC 5	Abweichung
mm	kN	kN	%
65	11,5	4,9	57,6
80	14	6,5	53,8
95	17	8,5	50,1
126	20	12,7	36,4
128	28	12,8	54,4
160	34	17,4	48,7
190	48	22,4	53,3

Tab. 29: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Typ A1

Der Vergleich zwischen Typ A1 nach EC5 und Typ A nach ÖNORM zeigt folgendes auf:

Die Werte für die zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge für den Winkel $\alpha = 0 - 30^\circ$ zur Faserrichtung des Holzes nach EC 5 liegen im Durchschnitt um **50 %** unter den Werten nach ÖNORM bei Einhaltung der Mindestgrenzen sämtlicher Holzbreiten und -dicken sowie Mindestabstände.

Die charakteristische Tragfähigkeit für den Dübeltypen A1 nach EC 5 ließe sich noch um ca. 25% steigern indem man die optimalen Holzdicken aus

Tab. 12 heranziehen würde, aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde dies aber vermieden.

Außerdem ist die Funktion nach EC annähernd quadratisch, während die Werte nach ÖNORM treppenförmig ansteigen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass den Werten nach ÖNORM keine mathematischen Funktionen wie nach EC zugrunde liegen, sondern empirische, aus Versuchen ermittelte Werte.

d _c	ÖNORM				EC 5				
	a	b	ed//	A _{erf}	t ₁	t ₂	b	a _{3,t}	A _{erf}
mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ²
65	40	100	140	280	35	60	85	100	170
80	50	110	180	396	35	60	105	120	252
95	60	120	220	528	35	60	125	145	363
126	60	160	250	800	35	60	165	190	627
128	60	160	300	960	55	85	170	195	663
160	100	200	340	1360	55	85	210	240	1008
190	100	230	430	1978	55	85	250	285	1425

Tab. 30: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp A1 mit:

- A_{erf} Erforderliche Holzfläche für Dübelverbindung
- a Mindestholzdicke nach ÖNORM für ein- und zweischnittige Verb.
- b Mindestholzbreite nach ÖNORM und EC 5
- t₁ Seitenholzdicke für einschnittige Verbindung nach EC 5 (Abb. 29)
- t₂ Mittelholzdicke für zweischnittige Verbindung nach EC 5 (Abb. 29)

6.2 Dübeltyp A5

Dem neuen Dübeltypen A5 nach EC 5 (basierend auf EN 912) entspricht der alte Dübeltyp B nach ÖNORM B 4100-2. Auch bei diesen beiden Dübeltypen sind die Abmessungen identisch, daher eignet sich eine Vergleichsbetrachtung besonders gut.

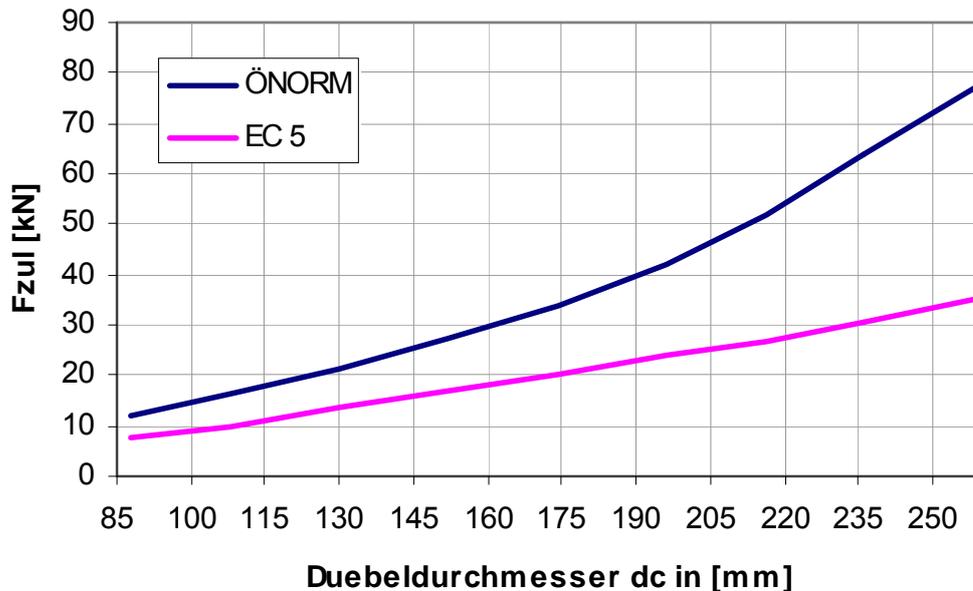


Abb. 36: Zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel $0-30^\circ$ zur Faserrichtung

d_c	ÖNORM	EC 5	Abweichung
mm	kN	kN	%
88	12	7,8	34,7
108	16,5	9,9	40,0
130	21,5	13,9	35,5
152	27,5	16,8	38,9
174	34	20,3	40,4
196	42	24,2	42,3
216	52	26,9	48,3
236	64	30,8	51,9
260	78	35,6	54,4

Tab. 31: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$

Die Werte für die zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge für den Winkel $\alpha = 0 - 30^\circ$ zur Faserrichtung des Holzes nach EC 5 liegen im Durchschnitt um **43 %** unter den Werten nach ÖNORM bei Einhaltung der Mindestgrenzen sämtlicher Holzbreiten und -dicken sowie Mindestabstände.

d _c	ÖNORM				EC 5				
	a	b	ed//	A _{erf}	t ₁	t ₂	b	a _{3,t}	A _{erf}
mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ²
88	50	120	160	384	25	40	115	135	311
108	50	140	200	560	30	45	140	165	462
130	60	160	240	768	35	55	170	195	663
152	60	180	280	1008	35	60	200	230	920
174	80	200	320	1280	40	65	230	265	1219
196	80	220	360	1584	45	70	255	295	1505
216	80	240	400	1920	45	75	280	325	1820
236	80	260	440	2288	55	85	310	355	2201
260	80	280	480	2688	60	95	340	390	2652

Tab. 32: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp A5

6.3 Dübeltyp C1

Dem neuen Dübeltypen C1 nach EC 5 (basierend auf EN 912) entspricht die kreisrunde Ausführung des alten Dübeltypen C nach ÖNORM B 4100-2. Lediglich beim kleinsten vorhandenen Dübeldurchmesser gibt es eine minimale Abweichung von 2mm (siehe Tab. 33), ansonsten decken sich die übrigen Abmessungen der beiden Dübeltypen.

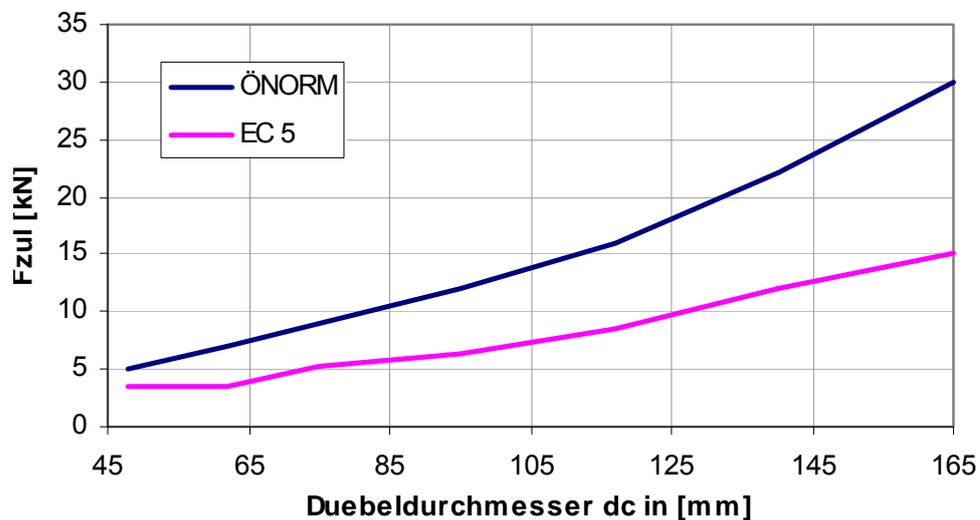


Abb. 37: Zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel $0-30^\circ$ zur Faserrichtung

d_c	ÖNORM	EC 5	Abweichung
<i>mm</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>%</i>
48/50	5	3,5	30,3
62	7	3,6	49,0
75	9	5,1	42,8
95	12	6,4	46,5
117	16	8,5	46,9
140	22	12,1	45,2
165	30	15,1	49,5

Tab. 33: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Typ C1

Die Werte für die zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge für den Winkel $\alpha = 0 - 30^\circ$ zur Faserrichtung des Holzes nach EC 5 liegen im Durchschnitt um **44 %** unter den Werten nach ÖNORM bei Einhaltung der Mindestgrenzen sämtlicher Holzbreiten und –dicken sowie Mindestabstände.

d_c	ÖNORM				EC 5				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ed//</i>	A_{erf}	t_1	t_2	<i>b</i>	$a_{3,t}$	A_{erf}
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm²</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm²</i>
48/50	40	100	120	240	20	35	65	75	98
62	40	100	120	240	25	40	80	95	152
75	50	100	140	280	30	45	100	115	230
95	50	120	140	336	35	50	125	145	363
117	80	150	170	510	40	60	155	175	543
140	80	170	200	680	45	70	185	210	777
165	80	190	230	874	50	80	215	250	1075

Tab. 34: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp C1

6.4 Dübeltyp C5

Dem neuen Dübeltypen C5 nach EC 5 (basierend auf EN 912) entspricht die quadratische Ausführung des alten Dübeltypen C nach ÖNORM B 4100-2. Die Abmessungen beider Dübeltypen sind gleich.

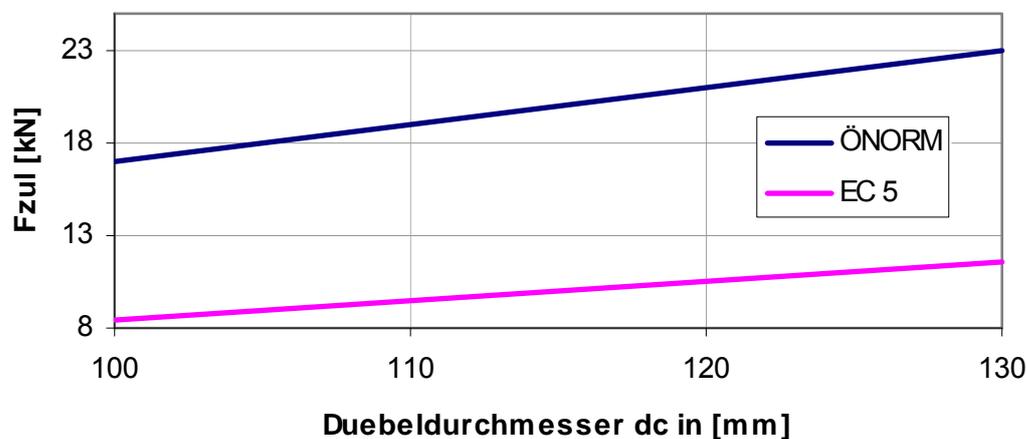


Abb. 38: Zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel $0-30^\circ$ zur Faserrichtung

d_c	ÖNORM	EC 5	Abweichung
<i>mm</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>%</i>
100	17	8,46	50,2
130	23	11,57	49,7

Tab. 35: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$

Die Werte für die zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge für den Winkel $\alpha = 0 - 30^\circ$ zur Faserrichtung des Holzes nach EC 5 liegen im Durchschnitt um **50 %** unter den Werten nach ÖNORM bei Einhaltung der Mindestgrenzen sämtlicher Holzbreiten und -dicken sowie Mindestabstände.

d_c	ÖNORM				EC 5				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ed//</i>	A_{erf}	t_1	t_2	<i>b</i>	$a_{3,t}$	A_{erf}
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	cm^2	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	cm^2
100	60	130	170	442	30	40	130	150	390
130	60	160	200	640	30	60	170	195	663

Tab. 36: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp C5

6.5 Dübeltyp C10

Dem neuen Dübeltypen C10 nach EC 5 (basierend auf EN 912) entspricht die zweiseitige Ausführung des alten Dübeltypen D (System GEKA) nach ÖNORM B 4100-2. Die Abmessungen beider Dübeltypen sind gleich.

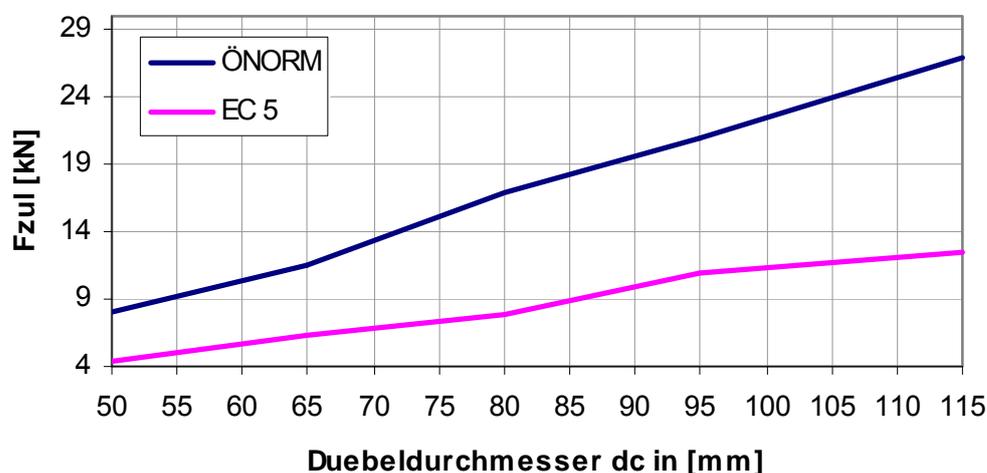


Abb. 39: Zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel 0-30° zur Faserrichtung

d _c	ÖNORM	EC 5	Abweichung
mm	kN	kN	%
50	8	4,4	44,8
65	11,5	6,3	45,6
80	17	7,8	53,9
95	21	10,9	48,2
115	27	12,4	54,1

Tab. 37: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$

Die Werte für die zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge für den Winkel $\alpha = 0 - 30^\circ$ zur Faserrichtung des Holzes nach EC 5 liegen im Durchschnitt um **49 %** unter den Werten nach ÖNORM bei Einhaltung der Mindestgrenzen sämtlicher Holzbreiten und -dicken sowie Mindestabstände.

d _c	ÖNORM				EC 5				
	a	b	ed//	A _{erf}	t ₁	t ₂	b	a _{3,t}	A _{erf}
mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ²
50	40	100	120	240	35	60	65	100	130
65	40	100	140	280	35	60	85	130	221
80	50	110	170	374	35	60	105	160	336
95	60	120	200	480	40	65	125	190	475
115	60	140	230	644	40	70	150	230	690

Tab. 38: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp C10

7. Leistungsfähigkeit von Dübeln nach EC 5

7.1 Annahmen für die Leistungsberechnung

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, wie hoch die mögliche charakteristische Übertragungskraft einer Dübelverbindung maximal betragen kann, wenn hinsichtlich Kraftübertragung ideale Randbedingungen herrschen d.h. die Eingangsparameter so gewählt werden, dass möglichst keine Abminderungen zufolge Einflussgrößen auftreten.

Für nachfolgende Berechnungen wird ein einfacher zweischnittiger Zuglaschenstoß untersucht, dessen Eingangsparameter so gewählt werden, sodass sämtliche Modifikationsbeiwerte k_i 1 betragen.

Die so ermittelte maximale Übertragungskraft der Verbindung [kN], welche im Folgenden auch als "Leistung" bezeichnet wird, soll der dazugehörigen mindesterforderlichen Holzfläche A_{erf} , also jener vorzuhaltenden Fläche, welche allein für die Verbindungsherstellung frei gehalten werden muss, gegenübergestellt werden um einerseits:

- hinsichtlich der übertragbaren Kraft und damit der Leistungsfähigkeit der einzelnen Dübeltypen eine Vergleichbarkeit untereinander zu gewährleisten und
- um hinsichtlich wirtschaftlicher Überlegungen (große Leistung bedeutet kleinere Holzabmessungen) einen geeigneten aussagekräftigen Kennwert für die Wahl des geeigneten Dübels zu erhalten

Dieser Quotient $F_{v,0,Rk} / A_{\text{erf}}$ wird im Folgenden als die spezifische charakteristische Übertragungskraft $F_{v,Rk}'$ eines Dübels besonderer Bauart je Scherfuge bezeichnet.

Die Annahmen lassen sich für folgende Berechnung wie folgt zusammenfassen:

- Der Kraft-Faser-Winkel α der betrachteten Verbindung beträgt 0° (Zuglaschenstoß)
- die mittlere Rohdichte wird mit $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$ gewählt

- Da lediglich die spezifische Übertragungskraft (Leistungsfähigkeit) eines Dübels berechnet wird, soll die erforderliche Holzfläche ein Minimum betragen. Daher wird mit nur einem Dübel je Scherfuge des Zuglaschenstoßes gerechnet. Beiwert k_a ergibt sich somit zu 1.
- Der Modifikationsbeiwert k_4 ergibt sich aufgrund der gewählten Art der Verbindung ebenso zu 1.
- Die Mindestbreiten der Seiten- und Mittelhölzer sowie der Abstand zum beanspruchten Hirnholze (Vorholzlänge) ergeben sich aus den Mindestrandabständen nach Tab. 1a für Einlass- und Einpressdübeln und wurden auf jeweils volle 5 mm aufgerundet.
- Der Bolzenanteil $F_{v,Rk}$ (charakteristische Tragfähigkeit des zugehörigen Bolzens nach Abschnitt 8.5 in [1]) der zulässigen Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge bei einer Verbindung mit Scheibendübeln mit Zähnen (Dübeltyp C1, C5 und C10) wurde aus [11], Tabelle 11.6 entnommen.
- Für die Schraubenbolzen zur Sicherung der Dübelverbindung wurde Stahlgüte S 235 mit einer charakteristischen Bruchfestigkeit von $f_{uk} = 360 \text{ N/mm}^2$ gewählt.

7.2 Leistungsfähigkeit von Einlassdübeln

Im Folgenden werden Tabellen mit maximal möglichen Übertragungskräften je Dübel und Scherfuge eines Zuglaschenstoßes für die Dübeltypen A1 und A5 angegeben

7.2.1 Dübeltyp A1

d_c	h_c	$F_{v,0,Rk}$	t_1	t_2	b	$a_{3,t}$	A_{erf}	$F_{v,Rk}'$
mm	mm	kN	mm	mm	mm	mm	cm ²	kN/cm ²
65	30	20,96	45	75	78	130	203	0,103
80	30	28,62	45	75	96	160	307	0,093
95	30	37,04	45	75	114	190	433	0,086
126	30	56,57	45	75	151	252	762	0,074
128	45	57,93	68	113	154	256	786	0,074
160	45	80,95	68	113	192	320	1229	0,066
190	45	104,76	68	113	228	380	1733	0,060

Tab. 39: Maximal übertragbare charakteristische Kraft je Dübel und Scherfuge bei optimalen Holzabmessungen mit Angabe der erforderlichen Holzfläche für Dübeltyp A1

7.2.2 Dübeltyp A5

d_c	h_c	$F_{v,0,Rk}$	t_1	t_2	b	$a_{3,t}$	A_{erf}	$F_{v,Rk}'$
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>kN</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm²</i>	<i>kN/cm²</i>
88	20	31,68	30	50	106	176	372	0,085
108	24	44,89	36	60	130	216	560	0,080
130	27	59,29	41	68	156	260	811	0,073
152	30	74,96	45	75	182	304	1109	0,068
174	34	91,81	51	85	209	348	1453	0,063
196	36	109,76	54	90	235	392	1844	0,060
216	40	126,98	60	100	259	432	2239	0,057
236	45	145,02	68	113	283	472	2673	0,054
260	50	167,69	75	125	312	520	3245	0,052

Tab. 40: Maximal übertragbare charakteristische Kraft je Dübel und Scherfuge bei optimalen Holzabmessungen mit Angabe der erforderlichen Holzfläche für Dübeltyp A5

7.3 Leistungsfähigkeit von Einpressdübeln

Um die volle Tragfähigkeit einer Einpressdübelverbindung (Typ C) ausnutzen zu können, reichen die optimalen Holzdicken einer Verbindung nach Typ A und B nicht mehr aus. Die Seiten- und Mittelholzdicken müssen nun den erforderlichen Minstdicken $t_{1,req}$ und $t_{2,req}$ der dazugehörigen Bolzenverbindung nach [12] Tab. 11.1 angepasst werden, da sich die Tragfähigkeit einer Einpressdübelverbindung aus den Kraftanteilen des Dübels $F_{v,0,Rk}$ sowie des dazugehörigen mittragenden Bolzens $F_{v,Rk}$ zusammensetzt.

7.3.1 Dübeltyp C1

d_c	h_c	d	$F_{v,0,Rk}$	$F_{v,Rk}$	F_{max}	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	b	$a_{3,t}$	A_{erf}	$F_{v,Rk}'$
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm²</i>	<i>kN/cm²</i>
50	13	M 12	7,27	6,92	14,19	59	49	60	75	90	0,158
62	16	M 12	9,07	6,92	15,99	59	49	74	93	138	0,116
75	19,5	M 16	13,3	11,35	24,65	76	63	90	113	203	0,122
95	24	M 16	14,97	11,35	26,32	76	63	114	143	325	0,081
117	30	M 20	20,77	16,55	37,32	94	78	140	176	493	0,076
140	31	M 24	27,26	22,41	49,67	111	92	168	210	706	0,070
165	33	M 24	31,97	22,41	54,38	111	92	198	248	980	0,055

Tab. 41: Maximal übertragbare charakteristische Kraft je Dübel und Scherfuge bei optimalen Holzabmessungen mit Angabe der erforderlichen Holzfläche für Dübeltyp C1

7.3.2 Dübeltyp C5

d	h_c	d	$F_{v,0,Rk}$	$F_{v,Rk}$	F_{max}	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	b	$a_{3,t}$	A_{erf}	$F_{v,Rk}'$
mm	mm	mm	kN	kN	kN	mm	mm	mm	mm	cm ²	kN/cm ²
100	16	M 20	19,2	16,55	35,75	94	78	120	150	360	0,099
130	20	M 24	26,27	22,41	48,68	111	92	156	195	608	0,080

Tab. 42: Maximal übertragbare charakteristische Kraft je Dübel und Scherfuge bei optimalen Holzabmessungen mit Angabe der erforderlichen Holzfläche für Dübeltyp C5

7.3.3 Dübeltyp C10

d_c	h_c	d	$F_{v,0,Rk}$	$F_{v,Rk}$	F_{max}	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$	b	$a_{3,t}$	A_{erf}	$F_{v,Rk}'$
mm	mm	mm	kN	kN	kN	mm	mm	mm	mm	cm ²	kN/cm ²
50	27	M 12	7,27	9,54	16,81	59	68	60	100	120	0,140
65	27	M 16	10,78	12,16	22,94	76	68	78	130	203	0,113
80	27	M 20	14,72	16,55	31,27	94	78	96	160	307	0,102
95	27	M 24	19,05	22,41	41,46	111	92	114	190	433	0,096
115	27	M 24	24,71	22,41	47,12	111	92	138	230	635	0,074

Tab. 43: Maximal übertragbare charakteristische Kraft je Dübel und Scherfuge bei optimalen Holzabmessungen mit Angabe der erforderlichen Holzfläche für Dübeltyp C10

7.4 Vergleichstabellen

7.4.1 Leistungsfähigkeit nach Dübeltypen

Dübeltyp	d_c mm	h_c mm	$F_{v,0,Rk}$ kN	A_{erf} cm ²	$F_{v,Rk}'$ kN/cm ²
A1	65	30	20,96	203	0,103
	80	30	28,62	307	0,093
	95	30	37,04	433	0,086
	126	30	56,57	762	0,074
	128	45	57,93	786	0,074
	160	45	80,95	1229	0,066
	190	45	104,76	1733	0,060
A5	88	20	31,68	372	0,085
	108	24	44,89	560	0,080
	130	27	59,29	811	0,073
	152	30	74,96	1109	0,068
	174	34	91,81	1453	0,063
	196	36	109,76	1844	0,060
	216	40	126,98	2239	0,057
	236	45	145,02	2673	0,054
260	50	167,69	3245	0,052	
C1	50	13	14,19	90	0,158
	62	16	15,99	138	0,116
	75	19,5	24,65	203	0,122
	95	24	26,32	325	0,081
	117	30	37,32	493	0,076
	140	31	49,67	706	0,070
	165	33	54,38	980	0,055
C5	100	16	35,75	360	0,099
	130	20	48,68	608	0,080
C10	50	27	16,81	120	0,140
	65	27	22,94	203	0,113
	80	27	31,27	307	0,102
	95	27	41,46	433	0,096
	115	27	47,12	635	0,074

Tab. 44: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach Dübelgruppen geordnet

7.4.2 Leistungsfähigkeit nach maximaler Übertragungskraft

Dübeltyp	d_c mm	h_c mm	$F_{v,0,Rk}$ kN	A_{erf} cm ²	$F_{v,Rk}'$ kN/cm ²
C1	50	13	14,19	90	0,158
C1	62	16	15,99	138	0,116
C10	50	27	16,81	120	0,140
A1	65	30	20,96	203	0,103
C10	65	27	22,94	203	0,113
C1	75	19,5	24,65	203	0,122
C1	95	24	26,32	325	0,081
A1	80	30	28,62	307	0,093
C10	80	27	31,27	307	0,102
A5	88	20	31,68	372	0,085
C5	100	16	35,75	360	0,099
A1	95	30	37,04	433	0,086
C1	117	30	37,32	493	0,076
C10	95	27	41,46	433	0,096
A5	108	24	44,89	560	0,080
C10	115	27	47,12	635	0,074
C5	130	20	48,68	608	0,080
C1	140	31	49,67	706	0,070
C1	165	33	54,38	980	0,055
A1	126	30	56,57	762	0,074
A1	128	45	57,93	786	0,074
A5	130	27	59,29	811	0,073
A5	152	30	74,96	1109	0,068
A1	160	45	80,95	1229	0,066
A5	174	34	91,81	1453	0,063
A1	190	45	104,76	1733	0,060
A5	196	36	109,76	1844	0,060
A5	216	40	126,98	2239	0,057
A5	236	45	145,02	2673	0,054
A5	260	50	167,69	3245	0,052

Tab. 45: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach maximal übertragbare charakteristische Kraft je Dübel und Scherfuge geordnet

7.4.3 Leistungsfähigkeit nach erforderlicher Holzfläche

Dübeltyp	d_c <i>mm</i>	h_c <i>mm</i>	$F_{v,0,Rk}$ <i>kN</i>	A_{erf} <i>cm²</i>	$F_{v,Rk}'$ <i>kN/cm²</i>
C1	50	13	14,19	90	0,158
C10	50	27	16,81	120	0,140
C1	62	16	15,99	138	0,116
C1	75	19,5	24,65	203	0,122
A1	65	30	20,96	203	0,103
C10	65	27	22,94	203	0,113
A1	80	30	28,62	307	0,093
C10	80	27	31,27	307	0,102
C1	95	24	26,32	325	0,081
C5	100	16	35,75	360	0,099
A5	88	20	31,68	372	0,085
A1	95	30	37,04	433	0,086
C10	95	27	41,46	433	0,096
C1	117	30	37,32	493	0,076
A5	108	24	44,89	560	0,080
C5	130	20	48,68	608	0,080
C10	115	27	47,12	635	0,074
C1	140	31	49,67	706	0,070
A1	126	30	56,57	762	0,074
A1	128	45	57,93	786	0,074
A5	130	27	59,29	811	0,073
C1	165	33	54,38	980	0,055
A5	152	30	74,96	1109	0,068
A1	160	45	80,95	1229	0,066
A5	174	34	91,81	1453	0,063
A1	190	45	104,76	1733	0,060
A5	196	36	109,76	1844	0,060
A5	216	40	126,98	2239	0,057
A5	236	45	145,02	2673	0,054
A5	260	50	167,69	3245	0,052

Tab. 46: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach erforderlicher Holzfläche A_{erf} geordnet

7.4.4 Leistungsfähigkeit nach spezifischer Übertragungskraft

Dübeltyp	d_c mm	h_c mm	$F_{v,0,Rk}$ kN	A_{erf} cm ²	$F_{v,Rk}'$ kN/cm ²
A5	260	50	167,69	3245	0,052
A5	236	45	145,02	2673	0,054
C1	165	33	54,38	980	0,055
A5	216	40	126,98	2239	0,057
A5	196	36	109,76	1844	0,060
A1	190	45	104,76	1733	0,060
A5	174	34	91,81	1453	0,063
A1	160	45	80,95	1229	0,066
A5	152	30	74,96	1109	0,068
C1	140	31	49,67	706	0,070
A5	130	27	59,29	811	0,073
A1	128	45	57,93	786	0,074
C10	115	27	47,12	635	0,074
A1	126	30	56,57	762	0,074
C1	117	30	37,32	493	0,076
C5	130	20	48,68	608	0,080
A5	108	24	44,89	560	0,080
C1	95	24	26,32	325	0,081
A5	88	20	31,68	372	0,085
A1	95	30	37,04	433	0,086
A1	80	30	28,62	307	0,093
C10	95	27	41,46	433	0,096
C5	100	16	35,75	360	0,099
C10	80	27	31,27	307	0,102
A1	65	30	20,96	203	0,103
C10	65	27	22,94	203	0,113
C1	62	16	15,99	138	0,116
C1	75	19,5	24,65	203	0,122
C10	50	27	16,81	120	0,140
C1	50	13	14,19	90	0,158

Tab. 47: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach spezifische übertragbare Kraft je Dübel und Scherfuge $F_{v,Rk}'$ geordnet

8. Schlussbemerkung

Nicht nur aufgrund des Überganges vom alten deterministischen auf das neue semiprobabilistische Sicherheitskonzept kann der neue Eurocode mit einigen wesentlichen Neuerungen aufwarten.

Während in der ÖNORM B 4100-2 mit Hilfe einer einzigen Tabelle und einigen wenigen Formeln bei vorgegebenen zu wählenden Holzabmessungen und Bolzendurchmesser die Tragfähigkeit eines Dübels zu ermitteln war, stellt der EC 5 eine ganze Reihe von Formeln zur Verfügung, welche es erlauben die Tragfähigkeit durch Variation der Eingangsparameter und damit der Modifikationsbeiwerte k_i genau zu steuern um damit die gewünschte charakteristische Tragfähigkeit je Dübel und Scherfuge den Erfordernissen der jeweiligen Verbindungsart und den Rahmenbedingungen wie Holzfeuchte, Nutzungsbedingungen, etc. anzupassen.

Weiters haben die Vergleichsrechnungen in Abschnitt 6 gezeigt, dass die Werte der Tragfähigkeit des EC 5 bei Einhaltung der Mindestholzabmessungen durchgehend im Schnitt 40-50 % unter den Werten nach ÖNORM liegen.

Dies liegt darin begründet, dass die charakteristischen Werte der Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge nach EC 5 aufgrund der Modifikations- und Teilsicherheitsbeiwerte um fast 60% abgemindert werden müssen. Eine Vergleichbarkeit ist daher schwierig, da die für den Vergleich herangezogenen Normen wie eingangs erwähnt, auf unterschiedlichen Sicherheitskonzepten beruhen.

Dabei liegen die Mindestholzabmessungen nach EC 5 teilweise sogar unter den Werten nach ÖNORM, was bedeutet, dass die Bemessung nach Eurocode weitaus wirtschaftlicher ist, da die Dübelverbindung eine höhere Übertragungskraft bei gleichzeitig geringerer erforderlicher Holzabmessung erzielt.

Mit der Bemessung nach EC 5 bekommt man also insgesamt eine leistungsfähigere, weil wirtschaftlichere Dübelverbindung heraus, was an der genaueren Steuerung der Eingangsparameter liegt.

Abschnitt 5 hat gezeigt, dass der Bemessungsansatz nach EC 5 zwar einen eindeutig komplizierter anmutenden Formelapparat als die ÖNORM mit sich bringt, im Endeffekt aber die Tragfähigkeit und Belastbarkeit einer Dübelverbindung rechnerisch durch die einfachen mathematischen Formeln ausreichend genau erfasst und damit eine exakte Steuerung der Tragfähigkeit durch Variation der Einflussparameter zulässt.

Was aus den Versuchen, welche den Bemessungsformeln nach EC5 zugrunde liegen außerdem hervorgeht, ist dass bei Verbindungen mit Einpressdübel die Abmessungen der zu verbindenden Hölzer und des Dübels sowie die Tragfähigkeit des Bolzens die wichtigsten Einflussgrößen auf deren Tragfähigkeit sind.

Weiters hängt die Steifigkeit der Verbindung, welche für die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit nach Eurocode von großer Relevanz ist, vor allem vom Dübeldurchmesser und der Rohdichte des Holzes ab.

Einpressdübelverbindungen versagen meist durch Versagen der Lochleibungsfläche des Holzes unter den Dübelzähnen und dem Bolzen. Bei Zugverbindungen mit kleinen Abständen zum Hirnholzende tritt jedoch oft ein Spalten oder Ausscheren des Holzes auf. Aus diesem Grund werden im EC 5 ausreichend große Rand- und Zwischenabstände, welche in Abhängigkeit zum Kraft-Faser-Winkel stehen, vorgesehen, um ein vorzeitiges Versagen zu verhindern.

Zugbeanspruchte Verbindungen mit Einlassdübeln versagen in aller Regel durch ein Abscheren des Holzes vor dem Dübel falls nicht durch große Abstände zum beanspruchten Holzrand Lochleibungsversagen maßgebend wird. Bei Verbindungen mit Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung von etwa 30° bis 150° versagt meist das auf Querkraft beanspruchte Holz durch Aufspalten. Wegen dieses spröden Versagensmechanismus und des Anfangsschlupfs des Bolzens kann ein Zusammenwirken zwischen Einlassdübel und Bolzen nicht in Rechnung gestellt werden.

Einlassdübelverbindungen, die auf Druck beansprucht werden, weisen meist eine Kombination von Lochleibungs- und Spaltversagen auf.

Die in Abschnitt 7 angestellte Leistungsberechnung ergibt, dass innerhalb einer Dübelgruppe (A,B,C,D) jener Dübel mit dem kleinsten Durchmesser d_c die höchste spezifische Übertragungskraft aufweist, da mit steigendem Dübeldurchmesser d_c auch die erforderliche Vorholzlänge wächst, da der Abstand des Dübels zum beanspruchten Hirnholze direkt proportional mit dem Dübeldurchmesser in Zusammenhang steht.

Von den 5 betrachteten Dübeltypen A1, A5, C1, C5, C10 nach EC 5 welche das Äquivalent zu den entsprechenden Dübeltypen A, B, C und D nach der alten ÖNORM B4100-2 darstellen, hat sich im Zuge der Leistungsberechnung gezeigt, dass der Dübeltyp A5 bei idealen Randbedingungen eine maximal mögliche übertragbare (charakteristische) Kraft von etwa 168 kN erreicht. Damit liegt dieser Dübeltyp im Vergleich zu den anderen betrachteten Dübeltypen hinsichtlich der Maximalkraft an der Spitze. Typ A5 weist gleichzeitig auch den größten Durchmesser mit $d_c = 260$ mm auf.

Auch hinsichtlich Platzverbrauch A_{erf} am Holzverbindungsknoten erreicht Dübeltyp A5 aufgrund des größten vorhandenen Dübeldurchmessers d_c erwartungsgemäß den Maximalwert von 3245 cm^2 und schneidet damit im direkten Leistungsvergleich mit den anderen untersuchten Dübeltypen am schlechtesten ab, da seine spezifischen übertragbare Kraft $F_{v,RK}'$ mit $0,05 \text{ kN/cm}^2$ ein Minimum erreicht.

Am anderen Ende der Skala und damit am leistungsstärksten liegt der kreisrunde Einpressdübeltyp C1 mit einem Dübeldurchmesser von $d_c = 50$ mm und einer spezifischen übertragbaren Kraft $F_{v,RK}' = 0,16 \text{ kN/cm}^2$

Die quadratische Ausführung des Einpressdübels (Typ C5) liegt dagegen im Mittelfeld mit $F_{v,RK}' = 0,08 \text{ kN/cm}^2$ bei einer Seitenabmessung von $d = 130$ mm.

Man kann also sagen, dass Dübeltypen mit großen Dübeldurchmessern für die Übertragung von großen Kräften geeignet sind, verbrauchen aber auch den meisten Platz am Knoten und sind daher unwirtschaftlich. Mehrere Dübeltypen mit kleinem Durchmesser hingegen (hintereinander angeordnet und vorzugsweise in kreisrunder Ausführung) können die selben Kräfte übertragen, verbrauchen aber weitaus weniger Holzfläche und eignen sich daher am besten für ein wirtschaftliches Konstruieren.

9. Anhang

9.1 Literaturverzeichnis

- [1] ÖNORM EN 1995-1-1; Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Ausgabe: 2008-04
- [2] ÖNORM B 4100-2; Holzbau – Holztragwerke; Teil 2: Berechnung und Ausführung; Ausgabe: 2004-03-01
- [3] ÖNORM EN 912; Holzverbindungsmitel; Spezifikationen für Dübel besonderer Bauart für Holz; Ausgabe: 1999-12-01
- [4] DIN 1052-2; Holzbauwerke; Teil 2: Mechanische Verbindungen; Ausgabe: 1988-04
- [5] ÖNORM EN 338; Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen
- [6] Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzbau (SAH): Ingenieurholzbau – Verbindungen und Verbindungsmittel; 18.Fortbildungskurs der SAH 5./6.November 1986
- [7] Rug, W.; Mönck, W.: Holzbau – Bemessung und Konstruktion; 15. Auflage; Huss – Medien GmbH, Verlag Bauwesen; Berlin; 2008
- [8] Görgel, M.: Bemessung im Holzbau; Band 2: Verbindungen und Verbindungsmittel; Bauverlag GmbH; Wiesbaden und Berlin; 3.Auflage; 1989
- [9] Gerner, M.: Entwicklung der Holzverbindungen; Fraunhofer IRB Verlag; 2000
- [10] Blaß, H.J.; Görlacher, R.; Steck, G.: Holzbauwerke nach Eurocode 5; STEP 1: Bemessung und Baustoffe; Fachverlag Holz der ARGE Holz e.V., Düsseldorf; 1995
- [11] Kress, F.: Der Zimmerpolier – ein Fachbuch für Zimmerleute, Techniker, Architekten aus allen Gebieten des Holzbaues; Otto Maier Verlag; Ravensburg; 1939

- [12] Neuhaus, H.: Ingenieurholzbau – Grundlagen, Bemessung, Nachweise, Beispiele; Vieweg + Teubner; GWV Fachverlage GmbH; Wiesbaden; 2009
- [13] Pirnbacher, G.: Tragfähigkeit Dübel besonderer Bauart und sonstiger mechanischer Verbindungsmittel; Eurocode-Seminar 2009, Einheit 12, TU Graz; 2009
- [14] Scholten, J.A.: Timber-Connector Joints - Their Strength and Design; Technical Bulletin No. 865; USDA Forest Service, Washington. D.C., USA; 1944
- [15] Hirashima, Y.: Lateral resistance of timber connector joints parallel to grain direction; Proceedings of the International Engineering Conference, Vol. 1: 254-261, Tokyo; 1990
- [16] Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Schlager, M.: Strength and stiffness of ring- and shear-plate connections; 1994
- [17] Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Schlager, M.: Characteristic strength of tooth-plate connector joints; 1993
- [18] Hilson, B.O.: The behaviour of softwoods loaded in compression parallel to the grain and supported against lateral movement. Journal of the Inst. of Wood Science 4 (4); 1969
- [19] Hilson, B.O.: The ultimate strength of timber joints with splil-ring connectors when loaded parallel to the grain. Journal of the Inst. of Wood Science 4 (11); 1969
- [20] Kuipers, J.; Vermeyden, P.: Research on timber joints in the Netherlands; Rapport 4-64-15; Onderzoek v-7; Stevin-Laboratorium, Technische Hogeschool Delft, Niederlande; 1964

9.2 Internetquellen

- /1/ http://www.fh-bielefeld.de/filemanager/download/7919/Leporello-2_2009-10.pdf
- /2/ http://www.informationsdienst-holz.de/elearning/Holzbau-Kurs_Script_V1.2/page_35.htm
- /3/ http://www.pcae.de/main/progs/details/holz2008/holz73/stoesse/holz_stoesse_allgemeines.htm
- /4/ <http://www.gastroguss.de/de/downloads/katalogappel.pdf>
- /5/ http://www.bts-europe.de/holzverbinder/4127_holzverbinder.html

9.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Experimentelle Last-Verschiebungskurven [15]	9
Abb. 2a: Ansicht eines Küblerdübels	12
Abb. 2b: Grund- und Aufriss eines Küblerdübels [11].....	12
Abb. 2c: Grund- und Aufriss eines Tuchscherer-Ringdübels [11].....	12
Abb. 2d: Appel – Ringkeildübel /3/.....	13
Abb. 2e: Wellblechscheibe [11].....	13
Abb. 2f: Hirnholzdübel [11].....	13
Abb. 2g: 2-teiliger Ringdübel [11].....	13
Abb. 2h: Spiraldübel aus gewickeltem Bandeisen [11]	14
Abb. 2i: Jacksondübel [11].....	14
Abb. 2j: Kippdübel [11].....	14
Abb. 2k: Tellerdübel [11]	14
Abb. 2l: Krallendübel [11].....	14
Abb. 2m: Alligatordübel [11].....	14
Abb. 3a: Zusammengesetzter Balken mittels Zimmermannsdübeln [7].....	16
Abb. 3b: Komponenten einer Zimmermannsdübelverbindung	16
Abb. 4a: Zweiseitiger Einlassdübel	17
Abb. 4b: Einseitige Einlassdübel.....	17
Abb. 4c: Einlassdübel in einer Holz-Holz-Verbindung.....	17
Abb. 4.1a: Einseitiger Einpressdübel in Stahl-Holz-Verbindung	18
Abb. 4.1b: Einseitiger Einpressdübel	18
Abb. 4.1c: Einseitiger Einpressdübel in Holz-Holz-Verbindung	18
Abb. 4.1d: Zweiseitiger Einpressdübel [10].....	18
Abb. 5a: Typ A zweiseitig [8].....	20
Abb. 5b: Typ A einseitig	20
Abb. 5c: Ansicht von Typ A einseitig (unten) und zweiseitig (oben)	20
Abb. 6a: Typ B	21
Abb. 6b: Ansicht von Typ B.....	21

Abb. 7a: Ansicht Typ C zweiseitig und rechteckig	22
Abb. 7b: Ansicht Typ C einseitig und rund	22
Abb. 7c: Typ C zweiseitig und rechteckig	22
Abb. 7d: Typ C einseitig rund.....	22
Abb. 7e: Ansicht Typ C einseitig rund	22
Abb. 7f: Ansicht Typ C zweiseitig rund.....	22
Abb. 7g: Typ C einseitig rund.....	23
Abb. 7h: Typ C zweiseitig rund	23
Abb. 8a: Typ D zweiseitig.....	23
Abb. 8b: Typ D einseitig	23
Abb. 8c: Ansicht Typ D ein- und zweiseitig	23
Abb. 9a: Ansichten des einseitigen Typs E.....	24
Abb. 9b: Typ E zweiseitig.....	24
Abb. 9c: Typ E einseitig	24
Abb. 10a: Typ A1	26
Abb. 10b: Typ A2	26
Abb. 10c: Typ A3.....	26
Abb. 10d: Typ A4	27
Abb. 10e: Typ A5	27
Abb. 10f: Typ A6	27
Abb. 11a: Typ B1	27
Abb. 11b: Typ B2	27
Abb. 11c: Typ B3.....	28
Abb. 11d: Typ B4	28
Abb. 12a: Typ C2	28
Abb. 12b: Typ C4	28
Abb. 12c: Typ C7	29
Abb. 12d: Typ C9	29
Abb. 13a: Typ C1	29

Abb. 13b: Typ C3	29
Abb. 13c: Typ C5	29
Abb. 13d: Typ C6	29
Abb. 13e: Typ C8	29
Abb. 14a: Typ C10	30
Abb. 14b: Typ C11	30
Abb. 15a: Bohrgestell mit Ringdübelwerkzeug	32
Abb. 15b: Freihändiges Bohren von Dübellöchern	32
Abb. 16a: Bohren	33
Abb. 16b: Fräsen.....	33
Abb. 16c: Einlegen	33
Abb. 16d: Anziehen und Sichern.....	33
Abb. 16.1: Einpressdübelverbindung vor dem Zusammenpressen	34
Abb. 16.2: Einpressdübel im eingepressten Zustand mit Bauschraube.....	35
Abb. 17a: Bohren	36
Abb. 17b: Einschlagen	36
Abb. 17c: Zusammenlegen	36
Abb. 16a: Pressen.....	36
Abb. 18a: Anschluss eines Flachstahles mit einseitigen Einpressdübeln.....	37
Abb. 18b: Anschluss einer Diagonalen mit 2 einseitigen Einpressdübeln	37
Abb. 19a: Knotenpunkt eines Fachwerkes.....	37
Abb. 19b: Holz – Holz – Verbindung mit doppelseitigem Einpressdübel	37
Abb. 20: Spannungen in einer Einlassdübelverbindung	40
Abb. 21: Scherversagen im Mittel- und Seitenholz einer auf Zug beanspruchten Einlassdübelverbindung [10].....	41
Abb. 22: Spaltversagen in unter 60° zur Faser beanspruchten Einlassdübelverbindungen [10].....	42
Abb. 23: Kombiniertes Lochleibungs-Spalt-Versagen einer auf Druck beanspruchten Einlassdübelverbindung	43
Abb. 24: Lochleibungsversagen des Holzes	54

Abb. 24a: Definition der Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart /1/....	64
Abb. 24b: Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart in Abhängigkeit vom Kraft-Faser-Winkel α [12].....	65
Abb. 25: Sicherung einer Einpressdübelverbindung durch Sondernägel nach [7]....	67
Abb. 26: Mindestdübelabstände bei Queranschlüssen [8].....	72
Abb. 27: Abminderung der Tragfähigkeit pro Dübel und Scherfuge in Abhängigkeit von Krafrichtung α und dem Dübeldurchmesser d_c (Dübeltyp A1).....	77
Abb. 28: Verlauf des Modifikationsbeiwertes k_3 in Abhängigkeit von der Rohdichte nach Holzklassen gestaffelt	78
Abb. 29: Definition von Seitenholz t_1 , Mittelholz t_2 sowie Einbindetiefe h_e einer Verbindung mit Ring- und Scheibendübeln besonderer Bauart [1].....	79
Abb. 30: Steigerung der charakteristischen Tragfähigkeit in Faserrichtung $F_{v,0,k}$ in % in Abhängigkeit vom Dübeldurchmesser d_c	82
Abb. 30a: Dübeltyp A1 nach EN 912 [3]	89
Abb. 30b: Ansicht des Dübeltyps A1 /4/.....	89
Abb. 31a: Dübeltyp A5 nach EN 912 [3]	90
Abb. 31b: Ansicht des Dübeltyps A5.....	90
Abb. 32a: Dübeltyp C1 ohne inneren Zahnring nach EN 912 [3].....	92
Abb. 32c: Dübeltyp C1 mit innerem Zahnring nach EN 912 [3]	92
Abb. 32b: Ansicht des Dübeltyps C1 ohne inneren Zahnring	92
Abb. 32d: Ansicht des Dübeltyps C1 mit innerem Zahnring.....	92
Abb. 33a: Dübeltyp C5 nach EN 912 [3]	94
Abb. 33b: Ansicht des Dübeltyps C5 /3/.....	94
Abb. 34a: Dübeltyp C10 nach EN 912 [3]	95
Abb. 34b: Ansichten des Dübeltyps C10 nach System GEKA.....	95
Abb. 35: F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel 0-30° zur Faserrichtung.....	97
Abb. 36: F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel 0-30° zur Faserrichtung.....	99
Abb. 37: F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel 0-30° zur Faserrichtung.....	100
Abb. 38: F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel 0-30° zur Faserrichtung.....	102
Abb. 39: Zulässige Übertragungskraft je Dübel und Scherfuge F_{zul} in Abhängigkeit von d_c für Winkel 0-30° zur Faserrichtung.....	103

9.4 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gegenüberstellung der Dübeltypen nach neuer Norm mit älteren Normen..	31
Tab.1a: Mindestdübelabstände für Dübel besonderer Bauart nach [1].....	64
Tab.2: Effektive Dübelanzahl nach [4]	66
Tab. 3: Maße der Scheiben für Dübelverbindungen nach [4]	67
Tab.4: Bemessungstabelle für Dübeltyp A und B nach DIN 1052 alt Teil 2 [8].....	68
Tab.5: Bemessungstabelle für Dübeltyp C nach DIN 1052 alt Teil 2 [8]	69
Tab.6: Bemessungstabelle für Dübeltyp D und E nach DIN 1052 alt Teil 2 [8].....	70
Tab.7: Dübelabstände nach DIN 1052 alt Teil 2 [8]	71
Tab. 8: Bemessungstabelle für Dübeltyp A und B [2]	74
Tab. 9: Bemessungstabelle für Dübeltyp C [2].....	75
Tab. 10: Bemessungstabelle für Dübeltyp D [2].....	76
Tab. 10a: Abminderung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von α und d_c	77
Tab. 11a: k_3 in Abhängigkeit von der Rohdichte [5]	78
Tab. 11b: k_3 in Abhängigkeit von der Rohdichte [5]	78
Tab. 12: Mindest- und optimale Dicken t_1, t_2 in Abhkg. von der Einbindetiefe h_e	79
Tab. 13: Beiwert k_1 in Abhängigkeit von t_1/t_2 und der Einbindetiefe h_e des Dübels...	80
Tab. 14: Modifikationsbeiwert k_2 in Abhängigkeit von Dübeldurchmesser d_c und dem Mindestdübelabstand $a_{3,t}$	81
Tab. 15: Steigerung der charakteristischen Tragfähigkeit in Faserrichtung $F_{v,0,k}$ in % in Abhängigkeit vom Dübeldurchmesser d_c	82
Tab. 15a: Wirksame Dübelanzahl n_{ef} in Abhängigkeit von Dübelanzahl n und dem Kraft-Faser-Winkel α	83
Tab. 16: $a_{3,t}$ [mm] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C1-C9	85
Tab. 17: $a_{3,t}$ [mm] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C10, C11	85
Tab. 18: k_2 [-] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C1-C9	86
Tab. 19: k_2 [-] in Abhängigkeit von d und d_c für Dübeltypen C10, C11.....	86
Tab. 20: Bemessungsbehelf für Dübeltyp A1.....	88
Tab. 21 Maße des Dübeltyps A1 in [mm] nach EN 912 [3].....	89
Tab. 22: Bemessungsbehelf für Dübeltyp A5.....	90

Tab. 23: Bemessungsbehelf für Dübeltyp C1	91
Tab. 24: Maße des Dübeltyps C1 in [mm] nach EN 912 [3].....	92
Tab. 25: Bemessungsbehelf für Dübeltyp C5	93
Tab. 26: Maße des Dübeltyps C5 in [mm] nach EN 912 [3].....	93
Tab. 27: Bemessungsbehelf für Dübeltyp C10	94
Tab. 28: Maße des Dübeltyps C10 in [mm] nach EN 912 [3].....	95
Tab. 29: Vergleich von F_{zul} und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Typ A1	97
Tab. 30: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp A1	98
Tab. 31: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$	99
Tab. 32: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp A5...	100
Tab. 33: Vergleich von F_{zul} und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Typ C1	101
Tab. 34: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp C1 ..	101
Tab. 35: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$	102
Tab. 36: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp C5 ..	102
Tab. 37: Vergleich von F_{zul} in [kN] und Abweichung in [%] bei $\alpha = 0-30^\circ$	103
Tab. 38: Vergleich der Mindestholzabmessungen bei $\alpha = 0-30^\circ$ für Dübeltyp C10	103
Tab. 39: Maximal übertragbare Kraft je Dübel und Scherfuge für Dübeltyp A1	105
Tab. 40: Maximal übertragbare Kraft je Dübel und Scherfuge für Dübeltyp A5	106
Tab. 41: Maximal übertragbare Kraft je Dübel und Scherfuge für Dübeltyp C1.....	106
Tab. 42: Maximal übertragbare Kraft je Dübel und Scherfuge für Dübeltyp C5.....	107
Tab. 43: Maximal übertragbare Kraft je Dübel und Scherfuge für Dübeltyp C10....	107
Tab. 44: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach Dübelgruppen geordnet.....	108
Tab. 45: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach $F_{v,0,Rk}$ geordnet.....	109
Tab. 46: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach A_{eff} geordnet	110
Tab. 47: Leistungsfähigkeit von Dübeltypen nach $F_{v,Rk}'$ geordnet.....	111