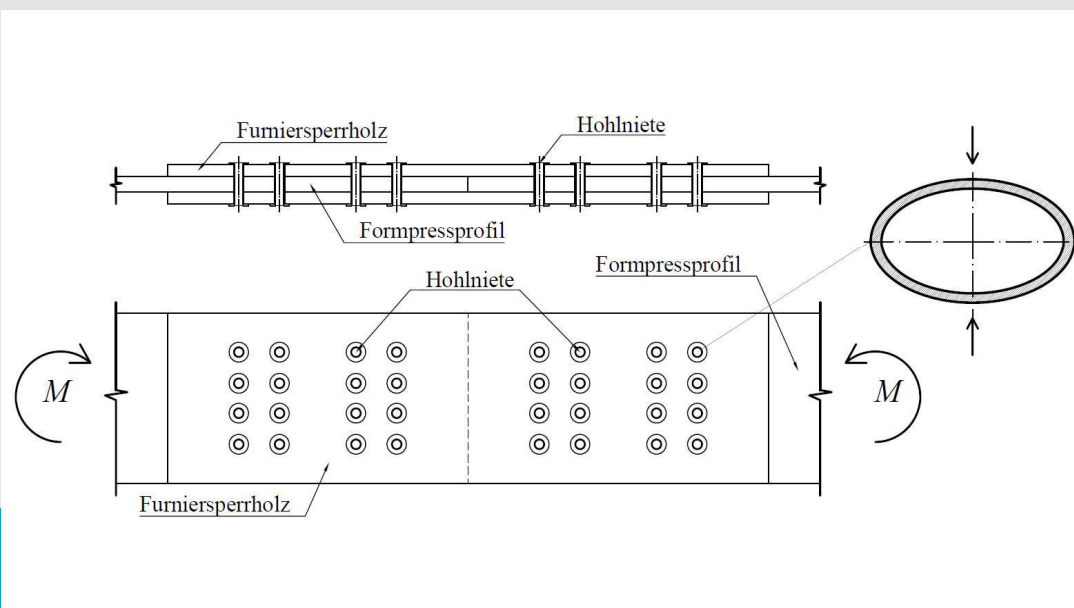


Analyse der Möglichkeiten des Einsatzes von Nietverbindungen im konstruktiven Holzbau



M-4-04/2018

Robert Pittini
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz



Robert Pittini, BSc

Analyse der Möglichkeiten des Einsatzes von Nietverbindungen im konstruktiven Holzbau

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

Eingereicht an der
Technischen Universität Graz

Betreuer
Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr.techn. Reinhard Brandner
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Graz, März 2018

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

Ich bedanke mich bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer, der mit seinen Vorlesungen und der tollen Projektwoche maßgeblich mein Interesse am Holzbau geweckt hat.

Ein großer Dank gilt Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr.techn. Reinhard Brandner für seine kompetente Betreuung während der Masterarbeit, seine Rücksicht auf meinen Halbtagsjob und die Möglichkeit der Fernbetreuung.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dipl.-Ing. Bernd Laubreyter, der es mir ermöglicht hat, bereits während meines Studiums durch eine Halbtagsanstellung Praxiserfahrung zu sammeln und mir in der letzten Phase der Masterarbeit die Möglichkeit geboten hat mich völlig auf diese zu konzentrieren.

Meinem Vater danke ich für die finanzielle und mentale Unterstützung und dass er bereits sehr früh mein Interesse an Holz geweckt hat.

Ein großes danke gilt meiner Mutter, die mir sowohl finanziell, als auch mit ihrem Rat während dem gesamten Studium zur Seite gestanden hat.

Abschließend geht mein größter und herzlichster Dank an meine Partnerin Carina, die mich meine gesamte Studienzeit begleitet, und besonders in der Schlussphase mit viel Geduld und Verständnis unterstützt hat.

Kurzfassung

Da in den europäischen Wäldern der Laubholzbestand im Gegensatz zum Nadelholzbestand wächst, wird nach einer effizienten Verwendung von Laubholz im konstruktiven Holzbau gesucht. Großes Potential bieten Formpressprofile aus Hartlaubholz. Diese werden aus verklebten Schäl furnieren zu einer mehrdimensionalen Form gepresst. Deren größter Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen Produkten aus Hartlaubholz ist eine höhere Tragfähigkeit bei gleichem Materialeinsatz.

Nach einer eingehenden Untersuchung der vorhandenen Verbindungsmittel im konstruktiven Holzbau, betreffend ihrer Eignung zur Fügung dieser nur 15 – 30 mm starken Profile und Darlegung der Potentiale der einzelnen Verbindungsmitteltypen, wird das weitere Augenmerk auf Nietverbindungen gelegt. Hierzu wird auf Grundlage einer umfassenden Recherche auf die unterschiedlichen zur Fügung von Metallwerkstoffen möglichen Nietverbindungen eingegangen. Dabei werden die Ausführung, Applikation, möglichen Materialien, Vor- und Nachteile, Kennwerte und das Einsatzgebiet der verschiedenen Niettypen näher betrachtet.

Die Recherche zu altem Wissen über das Fügen von Holzprodukten mit Nieten im historischen Holzboots- und Holzflugzeugbau, unter Berücksichtigung moderner Anwendungen wie Fassadenkonstruktionen und verfügbarer wissenschaftlicher Arbeiten, bildet die Grundlage zu einer ersten Potentialabschätzung verschiedener Nietanschlüsse in Verbindung mit diesen innovativen Hartholzprofilen. Aus den Ergebnissen der Potentialabschätzung hinsichtlich der Anzahl und der Größe der Niete zur Sicherstellung eines möglichst hohen Wirkungsgrades und Duktilität der Verbindung werden abschließend verschiedene Ausführungsvarianten der Niete angeführt, welche bereits im Herstellungswerk oder bei der Montage auf der Baustelle zum Einsatz kommen können.

Abstract

As the stock of deciduous timber species is growing in the European forests, which is in contrast to the stock of coniferous timber species, an efficient use of hardwood in structural timber constructions is sought. Great potential is offered by moulded profiles made of hardwood. These profiles are pressed from bonded peeled veneers into a multi-dimensional shape. Compared to conventional structural hardwood products, their biggest advantage is a higher load capacity at same material usage.

After a detailed analysis of the existing types of fasteners, currently applied in timber engineering, regarding their individual potential and suitability for joining these only 15 – 30 mm thick profiles, further attention is given to riveted joints. For this purpose and based on a comprehensive research, the various rivet joints that can be used to join metal materials are discussed. The design, application, possible materials, advantages and disadvantages, characteristic values and the field of application of the various types of rivets are examined in detail.

Collecting and summarizing past knowledge on joining wood / timber components with rivets, as done in historical wooden boat and airplane constructions, taking into account also modern applications like facade constructions and available scientific work on rivet applications in timber engineering formed the basis for conducting a first analysis on the potential of rivet joints in conjunction with these innovative moulded hardwood profiles. On the basis of this study on the principal potential of rivets for the envisaged purpose, in regard to the number and size of the rivets to ensure the highest possible efficiency and ductility of the connection various possibilities for types, design and execution of rivets are listed, which are intended to be applied already at the manufacturing plant or during assembling on the construction site.

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1: EINLEITUNG	1
1-1 ZIELSETZUNG	1
1-2 DER HOLZVORRAT IN ÖSTERREICH	1
1-2.1 Auswirkungen des globalen Klimawandels in Österreich.....	3
1-3 DER HOLZVORRAT IN EUROPA	4
1-4 HOLZARTEN IM KONSTRUKTIVEN HOLZBAU.....	4
KAPITEL 2: HARTLAUBHOLZPRODUKTE	5
2-1 ALLGEMEINES	5
2-2 BRETTSCHICHTHOLZ (BSH)	6
2-3 FURNIERSCHICHTHOLZ	7
2-4 FURNIERSPERRHOLZ	8
2-5 FORMPRESSPROFILE.....	8
KAPITEL 3: VERBINDUNGSTECHNIK IM HOLZBAU	10
3-1 ALLGEMEINES	10
3-2 ANFORDERUNGEN.....	11
3-3 STIFTFÖRMIGE VERBINDUNGSMITTEL	11
3-3.1 Beanspruchung vorwiegend auf Abscheren	11
3-3.2 Beanspruchung vorwiegend auf Herausziehen.....	13
3-4 FLÄCHENFÖRMIGE VERBINDUNGSMITTEL.....	13
3-5 SONSTIGE VERBINDUNGEN	15
3-6 FAZIT	16
KAPITEL 4: NIETVERBINDUNGEN	17
4-1 ALLGEMEINES	17
4-1.1 Definition.....	17
4-1.2 Einleitung	17
4-2 MATERIALIEN DER FÜGETEILE	18
4-3 MATERIALIEN DER NIETE	18
KAPITEL 5: NIETVERBINDUNGEN IM STAHLBAU	19
5-1 ALLGEMEINES	19
5-2 NIETE MIT BEIDSEITIGEM ZUGANG	20
5-2.1 Nieten mit Vorbohren der Fügeteile.....	20
5-2.1.1 Allgemeines.....	20
5-2.1.2 Vollniet.....	20
5-2.1.3 Halbhohnniet.....	23
5-2.1.4 Hohnniet.....	24

5-2.1.5	Schließbringniet.....	25
5-2.2	Nieten ohne Vorbohren der Füge­teile.....	26
5-2.2.1	Stanzniet mit vollem Schaft.....	26
5-2.2.2	Stanzniet mit hohlem Schaft.....	28
5-2.2.3	Clinchniet.....	29
5-2.2.4	Durchsetzfügen.....	30
5-3	NIETE MIT EINSEITIGEM ZUGANG.....	31
5-3.1	Allgemeines.....	31
5-3.2	Nieten mit Vorbohren der Füge­teile.....	31
5-3.2.1	Zugdornniet.....	31
5-3.2.2	Hammerschlag-Blindniet.....	33
5-3.2.3	Spreiz-Blindniet.....	34
5-3.2.4	Presslaschenniet.....	35
5-3.2.5	Becherniet.....	35
5-3.2.6	Rillierter Blindniet.....	36
5-3.2.7	Durchziehniet.....	37
5-3.2.8	Der demontierbare Durchziehniet.....	37
5-3.2.9	Sprengniet.....	38
KAPITEL 6: NIETVERBINDUNGEN IM HOLZBAU.....		39
6-1	EINLEITUNG.....	39
6-2	HOLZFLUGZEUGBAU.....	39
6-2.1	Allgemeines.....	39
6-2.2	Lochleibungsfestigkeit.....	41
6-2.3	Mindestabstände der Nietachsen.....	42
6-2.4	Spaltung des Holzes.....	44
6-2.5	Fließen des Verbindungsmittels.....	46
6-2.6	Abscheren des Verbindungsmittels.....	48
6-3	HOLZSCHIFFBAU.....	49
6-4	HOLZFASSADENBAU.....	50
6-4.1	Allgemeines.....	50
6-4.2	Befestigung mit Blindnieten.....	50
6-4.3	Befestigung mit Hinterschnitt-Plattenankern.....	51
6-5	INGENIEURHOLZBAU.....	52
KAPITEL 7: POTENZIALABSCHÄTZUNG.....		58
7-1	STUDIENOBJEKTE.....	58
7-1.1	Holz-Holz Zuglaschenstoß.....	58
7-1.2	Zuglaschenstoß mit innenliegendem Stahlblech.....	59

7-1.3	Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen	60
7-1.4	Holz-Holz Momentenstoß	60
7-2	NOTWENDIGE NACHWEISE.....	62
7-2.1	A: Lochleibungsversagen	63
7-2.2	B: Scherbruch	70
7-2.3	C: Nettobruch	73
7-2.4	D: Spaltung des Holzes	73
7-2.5	E: Fließen des Verbindungsmittels.....	74
7-2.6	F: Durchziehen des Nietkopfes.....	77
7-2.7	G: Abscheren des Verbindungsmittels	77
7-2.8	Seileffekt.....	77
7-2.9	Wirksame Verbindungsmittelanzahl n_{ef}	78
7-3	ZUSAMMENSTELLUNG.....	79
7-4	NACHWEISFÜHRUNG.....	83
7-4.1	Holz-Holz Verbindung	83
7-4.1.1	Niete mit Kreisvollquerschnitt.....	83
7-4.1.2	Niete mit Kreishohlquerschnitt.....	86
7-4.2	Verbindung mit innenliegendem Stahlblech	89
7-4.2.1	Niete mit Kreisvollquerschnitt.....	89
7-4.2.2	Niete mit Kreishohlquerschnitt.....	92
7-4.3	Verbindung mit außenliegenden Stahlblechen	94
7-4.3.1	Niete mit Kreisvollquerschnitt.....	94
7-4.3.2	Niete mit Kreishohlquerschnitt.....	99
7-4.4	Momentenstoß	103
7-4.4.1	Niete mit Kreishohlquerschnitt.....	103
7-4.4.2	Niete mit Kreisvollquerschnitt.....	105
7-5	FAZIT	106
KAPITEL 8: AUSFÜHRUNGSVARIANTEN DER NIETE		108
8-1	ALLGEMEINES	108
8-2	HOHLNIET	109
8-3	DURCHZIEHNIET	109
8-4	SCHLIEßRINGNIET	110
KAPITEL 9: SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK.....		111
ANHANG A VERZEICHNISSE		I
A-1	Literaturverzeichnis	I
A-2	Abbildungsverzeichnis	IV
A-3	Tabellenverzeichnis	VII

KAPITEL 1: EINLEITUNG

1-1 ZIELSETZUNG

In Mitteleuropa ist der Vorrat an Laubholz stark zunehmend, der Anteil an Nadelholz, im Besonderen der Fichte, abnehmend. Die Holzwirtschaft ist folglich gezwungen sich zunehmend mit einer stärkeren Verwendung von Laubholz auseinanderzusetzen. Eine Möglichkeit die Vielfalt und das hohe mechanische Potenzial zerstreut poriger Hartlaubhölzer zu nutzen wird unter anderem in Produkten aus Schäl furnieren gesehen. Die dabei und in Analogie zum Stahlbau angedachten dünnwandigen ebenen oder mehrdimensional geformten Profile stellen allerdings eine neue Herausforderung an die Verbindungstechnik dar. Übliche großvolumige Querschnitte, wie unter anderem bei Vollholz, Brettschichtholz und Brettsperrholz, sind nicht gegeben; es ist vielmehr mit Profilstärken von 15 – 30 mm zu rechnen. Eine Möglichkeit diese dünnwandigen Profile miteinander leistungsfähig zu verbinden und zusätzlich eine ausreichende Duktilität im Anschluss sicherzustellen wird im Einsatz von primär auf Abscheren beanspruchten und in Analogie zum Stahlbau entwickelten Nietverbindungen gesehen. Ziel und Inhalt dieser Arbeit ist somit die Aufarbeitung des Stands des Wissens zu Nietverbindungen im Stahlbau, die Recherche von Niet- bzw. vergleichbaren Verbindungen in konstruktiven Anwendungen von Holz, sowie die Darstellung der Möglichkeiten und theoretische Betrachtungen zur möglichen Übertragbarkeit dieser Technologie aus dem Stahlbau auf Anschlüsse für die angesprochenen dünnwandigen (Form)Profile im Holzbau.

1-2 DER HOLZVORRAT IN ÖSTERREICH

Seit Beginn der Erhebungen der Waldnutzungen in Österreich durch das BFW (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) im Jahre 1961 ist eine starke Zunahme der Nutzung der heimischen Wälder zu verzeichnen. Vor allem die Wälder der Forstbetriebe und Bundesforste werden heute sehr umfassend genutzt. Dies liegt einerseits am guten Holzpreis in den letzten Jahren und der Nutzung von Biomasse für Verfeuerungsanlagen, andererseits auch an den Sturmkatastrophen im letzten Jahrzehnt und der bewusst wirtschaftlichen Betrachtung des Waldes als Rohstoffproduzent.

Die Waldfläche in Österreich ist bezogen auf ihre Gesamtfläche im Zeitraum von 1961 – 2010 von 44 % auf 47,6 % gestiegen. Das bedeutet einen Waldflächenzuwachs von 300.000 ha. Dieser Zuwachs wird einerseits künstlich durch Neuaufforstungen, andererseits durch den natürlichen Waldzuwachs an den Waldrandgebieten hin zu nicht oder nicht mehr bewirtschaftetem Land herbeigeführt.

Dieser Zuwachs betrifft aber nicht alle Baumarten gleichermaßen. Besonders die Fichte aber auch die Weißkiefer weisen im Gegensatz zum allgemeinen Trend abnehmende Vorratsmengen auf. Der starke Rückgang ist unter anderem auch auf Windwurfkatastrophen in den Jahren 2007 und 2008 zurückzuführen. Der Bestand an Rotbuche und Hartlaubholz im Allgemeinen nimmt dafür stark zu (BFW, Russ und Büchsenmeister, 2011).

Abbildungen 1.1 und 1.2 sind aus vorliegenden Daten des BMLFUW aus dem Waldbericht des Jahres 2015 erstellt worden und zeigen diese Tendenz.

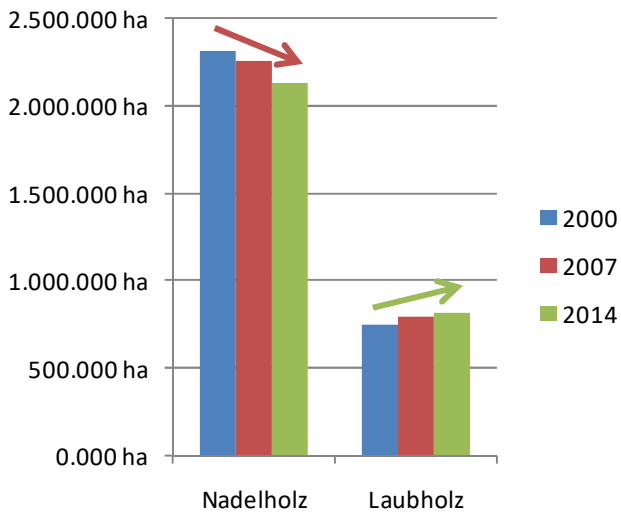


Abbildung 1.1: Veränderung der Waldflächen von Nadel- und Laubholz (BMLFUW, 2015)

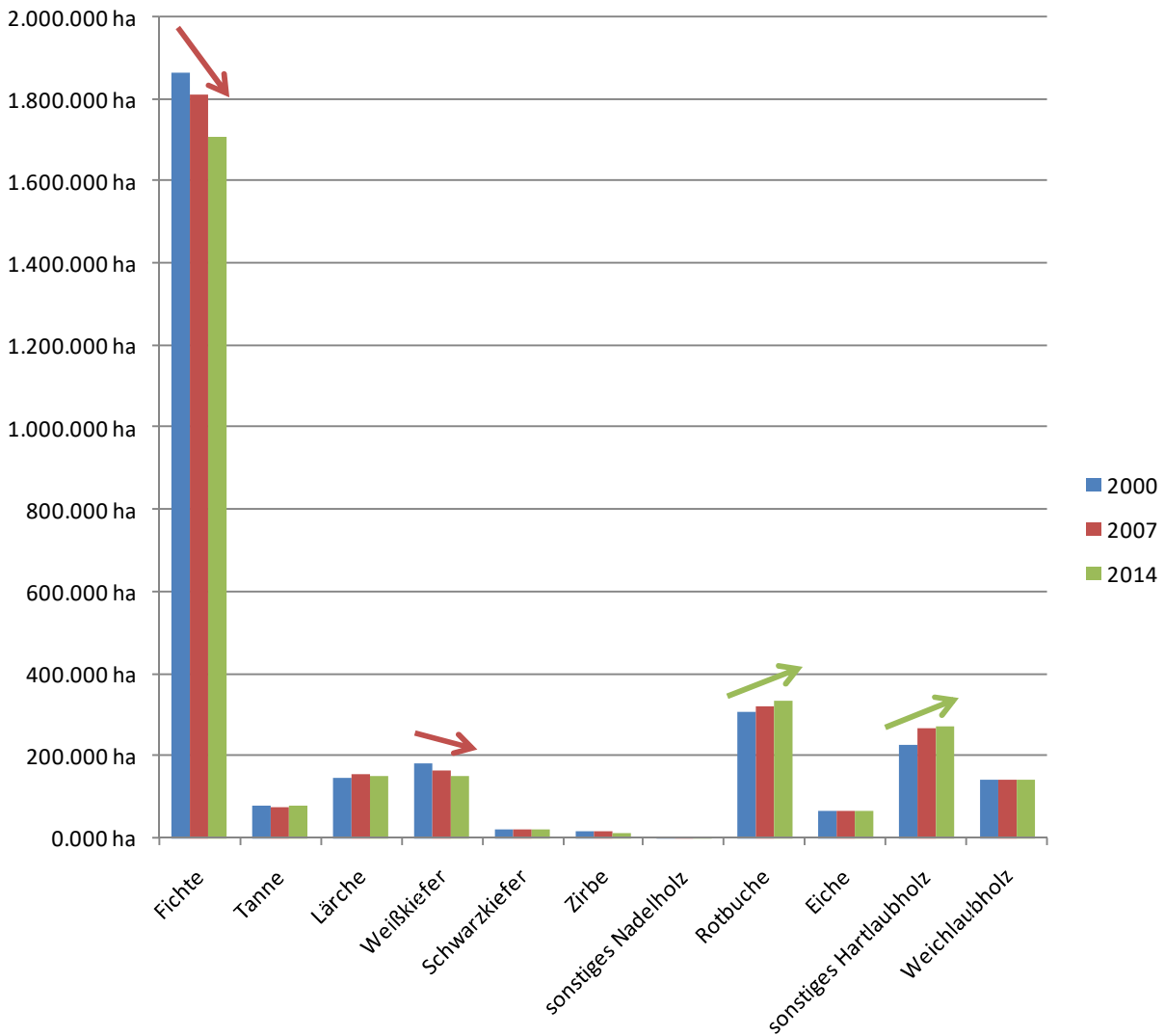


Abbildung 1.2: Veränderung der Waldflächen der einzelnen Baumarten (BMLFUW, 2015)

Es gibt mehrere Gründe hierfür: Einerseits ist der Rückgang von Nadelholz auf den Klimawandel und die Reaktion der Forstwirtschaft darauf zurückzuführen, andererseits legen die Forst- bzw. Waldwirtschaftsbetriebe größeres Augenmerk auf Biodiversität. Der Wirtschaftswald mit Fichtenreinbeständen weicht naturnäheren Mischwäldern. Bei einem Befall durch den Fichtenborkenkäfer in einem Mischwald sind beispielsweise nur die Nadelholzarten, vorzugsweise die Fichte, betroffen. Die Möglichkeiten für eine Epidemie-artige Vermehrung dieses Schädlings werden zudem deutlich eingeschränkt.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen topografischen Gebiete in Österreich gibt es auch unterschiedlichste Formen eines naturnahen Waldes, dies je nach Höhenlage, Bodenzusammensetzung und Klima. Diese Formen werden Waldgesellschaften genannt. Aus Abbildung 1.3 geht hervor, dass große Teile des österreichischen Ertragswaldes natürlicherweise Fichtenreinbestände beziehungsweise Mischbestände mit einem Anteil der Fichte sind. Jedoch bedingt die intensive Nutzung der heimischen Wälder als Wirtschaftswald, insbesondere Wälder mit Fichtenreinbeständen, ein Fehlen vieler Zielbaumarten (BFW, Hauk, 2011).

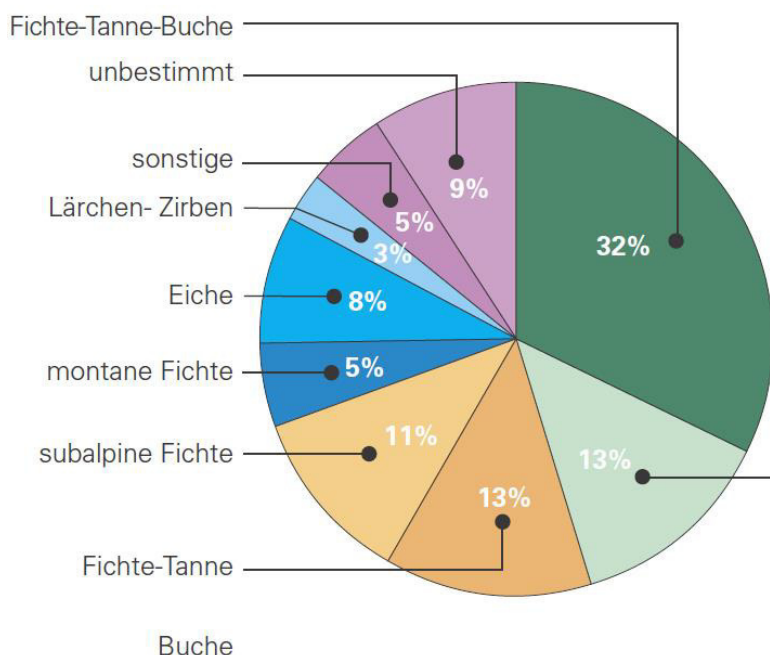


Abbildung 1.3: Potenziell natürliche Waldgesellschaften im Ertragswald (BFW, Hauk, 2011)

1-2.1 AUSWIRKUNGEN DES GLOBALEN KLIMAWANDELS IN ÖSTERREICH

Aufgrund der ansteigenden Temperaturen können in höher liegenden Bereichen wie Bergwäldern, deren Produktivität maßgebend von der kurzen Vegetationszeit begrenzt wird, mittelfristig höhere Zuwachsraten erwartet werden, da sich die Vegetationsperioden verlängern. Jedoch ist auch mit einem Anstieg der Schädlinge, im Sinne der Ausbildung von zusätzlichen Generationen innerhalb der Vegetationsperiode, zu rechnen, wodurch sich dieser Vorteil verringert bzw. nur durch entsprechende Bewirtschaftungsformen zu halten ist.

Im Flachland und inneralpinen Becken ist mit häufigeren Trockenperioden zu rechnen, welche die Bestände anfälliger für Schädlingsbefall machen wodurch deren Produktivität sinkt. Vielen Schädlingen, darunter der Fichtenborkenkäfer, wird dadurch das Potential geboten sich aufgrund der höheren Temperaturen weiter auszubreiten oder in ein anderes Gebiet zu ziehen. Das Territorium der Fichte wird sich aufgrund der erhöhten Gefährdungen in Folge des Klimawandels verkleinern. Die höheren Temperaturen führen in tieferen Lagen zu Trockenstress und vermehrter Krankheit. Laubhölzer wie beispielsweise die Buche oder Eiche aber auch die Nadelholzart Douglasie kommen besser mit längeren

Trockenperioden zurecht.

In Zukunft wird sich der Niederschlag während der Vegetationszeit verringern und in die Wintermonate verlagern. Des Weiteren ist zu erwarten, dass die Wetterbedingungen extremer werden, wodurch der Windwurf aufgrund von Stürmen, Gewitter und Hagel in Zukunft zunehmen wird (BFW, 2014; Lexer, et al., 2014).

1-3 DER HOLZVORRAT IN EUROPA

Etwa 70 % der Wälder in Europa werden von zwei oder mehr Baumarten dominiert. Die restlichen 30 % bestehen zum Großteil aus einer Baumart, vorwiegend Nadelbäume. Diese Gebiete mit nur einer dominanten Baumart haben sich in den letzten 15 Jahren zu Gunsten naturnaher Mischwälder kontinuierlich im Anteil verringert. Eine große Mehrheit der Länder (mehr als 90 %) hat spezifische Ziele in Bezug auf die Biodiversität (Forest Europe, 2015).

In der Schweiz besteht der Bestandswald zu einem Drittel aus Laubbäumen. Im Mittelland der Schweiz ist sogar die Hälfte des Bestandes Laubholz, Tendenz steigend. In der Schweiz wachsen jedes Jahr 3,5 Mio. m³ Laubholz nach. Davon werden 2,5 Mio. m³ geerntet und zum größten Teil zur Energiegewinnung verbrannt (Conzetti, 2014).

1-4 HOLZARTEN IM KONSTRUKTIVEN HOLZBAU

Von den Laubhölzern können gegenwärtig aufgrund der vorliegenden Stamm- bzw. Blochqualität nur 1 – 2 % für die Möbel- und Furnierindustrie genutzt werden. Der Rest wird für den Bau von Paletten, die Papierindustrie oder die Energiegewinnung verwendet. Für solche Verwendungen ist kein guter Preis für Laubholz zu erzielen und es verbleibt meist im Wald. Dies ist insofern bedauerlich, da einigen Laubholzarten sehr hohe mechanische Kenngrößen, sowohl Festigkeiten als auch Steifigkeiten, zugeschrieben werden.

Aus diesen Gründen ist es durchaus erstrebenswert auch andere Holzarten als Nadelhölzer im Bauwesen in entsprechender Breite und Masse einzusetzen. Vor allem im konstruktiven Bereich sind große Volumen möglich. Somit hätte die Waldwirtschaft neben dem Nadelholz auch andere, für die Bauwirtschaft relevante wirtschaftliche Bereiche zur Verfügung. Dafür ist es notwendig Bauprodukte auf den Markt zu bringen, welche eine vergleichbare Wirtschaftlichkeit wie herkömmliche Holzprodukte des konstruktiven Holzbaues aus Nadelholz oder andere Vorzüge, wie beispielsweise eine ansprechende Ästhetik, aufweisen.

Im folgenden Kapitel 2 sind bereits am Markt etablierte aber auch in der Forschung befindliche Produkte aufgelistet (Leeb und Hübner, 2006).

KAPITEL 2: HARTLAUBHOLZPRODUKTE

2-1 ALLGEMEINES

Hartlaubholz bietet viele Vorteile im Vergleich zu Nadelholz. Hartlaubholz besitzt eine höhere Festigkeit und eine höhere Rohdichte als die meisten Nadelhölzer. Die höheren mechanischen Kenngrößen ermöglichen schlankere Bauteile was bei großen Beanspruchungen, wie in Folge großer Spannweiten oder mehrstöckigen Gebäuden zu erwarten und wo Nadelholz unverhältnismäßig große Querschnitte voraussetzt, verbunden mit einer im Vergleich zu mineralischen Baustoffen durchaus sehr geringen Wichte Hartlaubholz (-produkte) durchaus als Alternative zu Stahl oder Stahlbeton attraktiv machen kann. Die höhere Rohdichte von Hartlaubholz im Vergleich zu üblichen Nadelhölzern führt auch im Bereich der Anschlüsse zu geringerem Stahleinsatz, üblicherweise in Form von stiftförmigen Verbindungsmitteln. Es ist bei Hartlaubholzprodukten oftmals so, dass bei Einsatz von herkömmlichen Verbindungen die Dimensionierung der Anschlüsse maßgebend für die Größe des Querschnittes ist. Laut der neuen Holzbau AG / Lungern (CH) wird für herkömmliche Stabdübelverbindungen bei Eschenbrettschichtholz ein Wirkungsgrad bezogen auf den Bruttoquerschnitt von ca. 65% erreicht (Oberer, 2012; Schmidt, et al, 2014).

Am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz (TU Graz, AT) wurden Berechnungen zu dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Anschlusslösungen unter Zug parallel zur Faser für verschiedene Holzprodukte aufgestellt. Für Anschlüsse mit Stabdübel auf Abscheren und Schraubverbindungen auf Herausziehen in Kombination mit seitlichen Blechen ist unabhängig vom Holzprodukt bei ausreichender Verbindungsmittelanzahl der Netto-Querschnitt des Holzes maßgebend. Die Schwächung des Bauteils durch die Verbindungsmittel führt daher direkt zur Ausnutzung des Brutto-Querschnitts und liegt laut Köberl (2017) bei bis zu 72 %. Um jedoch diesen Wirkungsgrad bei leistungsstarken Hartlaubholzprodukten wie BauBuche GL70 zu erreichen, ist es im Vergleich zu BSH aus Fichte bei einem Anschluss mit gleichen Verbindungsmitteldurchmessern notwendig, ca. 2,5 – 3 mal so viele Verbindungsmittel vorzusehen, wodurch auch der Anschlusspunkt in Richtung der Stablängsachse die 2,5 – 3-fache Länge aufweist.

Schrauben, Bleche oder Gewindestangen, die in das Hirnholz eingeschraubt bzw. eingeklebt werden, haben den Nachteil, dass aufgrund des vorgegeben Holzquerschnittes und der Mindestabstände nach gegenwärtigem Stand der Technik nur eine begrenzte Anzahl an Verbindungsmitteln appliziert werden können. Bei hochleistungsfähigen Bauprodukten wie BauBuche GL70 ist das Versagen des Verbindungsmittels der die Tragfähigkeit des Anschlusses begrenzende Faktor. Im besten Fall ist bei BauBuche mit eingeklebten Gewindestangen ein Ausnutzungsgrad des Brutto-Querschnitts von 41 % zu erreichen. Im Vergleich dazu ist bei Fichten BSH mit eingeklebten Gewindestangen der Netto-Querschnittsnachweis maßgebend, woraus eine Ausnutzung des Brutto-Querschnittes von 94 % resultiert (Köberl, 2017).

Für einen effizienten Einsatz von Hartlaubholzprodukten ist es daher auch notwendig die Art der Verbindungsmittel entsprechend der Eigenschaften dieser Produkte gegebenenfalls zu adaptieren oder neu zu entwickeln.

Das Erscheinungsbild von Hartlaubholzoberflächen unterscheidet sich von Nadelholzoberflächen hinsichtlich der Maserung, des Astbildes und der Farbe. Dies bietet die Möglichkeit für tragende Holzbauteile im Sichtbereich neue Akzente zu setzen.

Als Nachteil wird bei Hartlaubholz die Krummschäftigkeit der Stämme gesehen. Diese mindert die mögliche Ausbeute. Diesen Nachteil kann durch den Einsatz von verklebten Produkten, wie es bei

statisch relevanten Bauteilen im konstruktiven Holzbau auch bei Nadelholz längst üblich ist, begegnet werden (Schickhofer, 2006; Oberer, 2012; Schmidt, et al, 2014).

Heute wird aufgrund der Verfügbarkeit meist Buche und Eiche zur Herstellung von Hartlaubholzprodukten verwendet. In der Schweiz ist auch die Esche in Verwendung. Für Birkenholz und Edelkastanie gibt es ebenfalls europäisch technische Bewertungen und Zulassungen (Schickhofer, 2006; Oberer, 2012; Schmidt, et al, 2014; OIB, 2015a).

2-2 BRETTSCHICHTHOLZ (BSH)

Brettschichtholz (BSH) aus Hartlaubholz wird meist aus Buche und Eiche hergestellt. Die Neue Holzbau AG / Lungern (CH) beispielsweise produziert BSH aus 26 mm dicken Buchenholzlamellen. Somit ist der Aufbau dem Brettschichtholz aus Nadelholz sehr ähnlich. Diese Produkte werden dann eingesetzt wenn die Tragfähigkeit eines Nadelholzträgers nicht mehr ausreicht, besonders schlanke Bauteile oder die Laubholzoberfläche dezidiert gewünscht werden. Mit der Ausführung als Laubholz kann die Dimension des Trägerquerschnittes um bis zu 50 % geringer ausfallen. Wie oben bereits erwähnt ist bei diesem Produkt mit herkömmlichen Verbindungsmitteln meist der Nachweis des Anschlusses für die Größe des Querschnittes bestimmend. Bessere Ausnutzungsgrade werden beispielsweise mit eingeklebten metrischen Gewindestangen erreicht. Die Volumeneinsparungen beim Bau mit Hartlaubholz werden in den Kosten nicht tragend, da zum Beispiel Eschenholz im Einbau dreimal so teuer ist wie Fichtenholz (Oberer, 2012; Conzetti, 2014).

Aufgrund der höheren Kosten des Laubholzes werden oft Lamellen aus Hartlaubholz mit Lamellen aus Nadelholz kombiniert. Die Lamellen aus Hartlaubholz werden nur in den stark beanspruchten Teilen des Querschnittes, wie der Biegezugzone in Feldmitte, der Anschlusszone im Knotenbereich oder der Querdruckzone im Auflagerbereich, eingesetzt. Abbildung 2.1 zeigt BSH-Träger kombiniert aus Fichten- und Eschenholz. Letzteres wurde in höher beanspruchten Abschnitten des Bauteils eingesetzt.

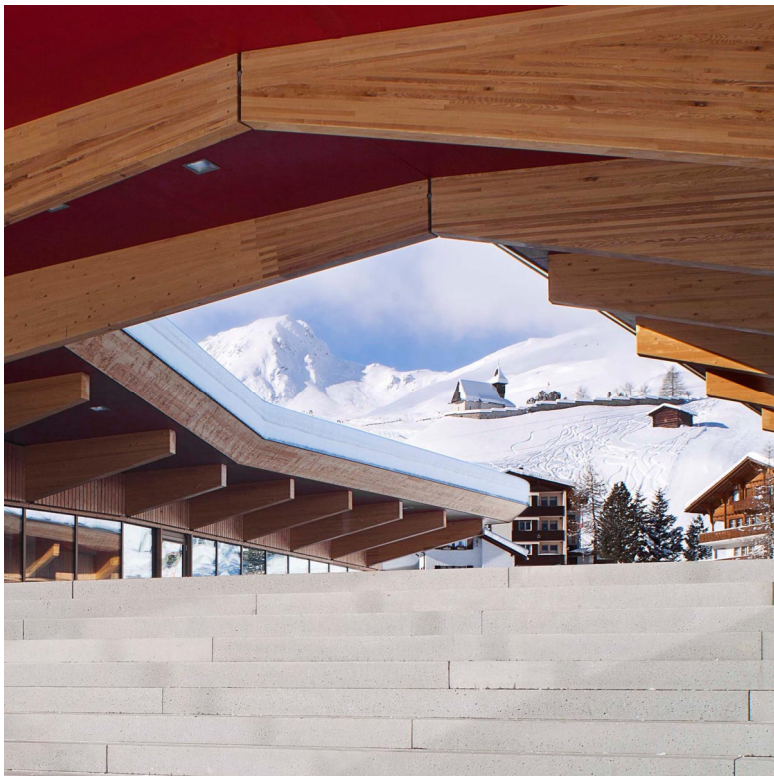


Abbildung 2.1: BSH aus Fichte kombiniert mit Esche (Maskarade, 2017)

2-3 FURNIERSCHICHTHOLZ

Die Abbildung 2.2 zeigt den Produktionsablauf für Furnierschichtholz am Beispiel der BauBuche. Die Buche wird gekocht entrindet und danach rotierend geschält. Somit wird die Ausbeute, auch in Hinblick auf die erhöhte Krümmfähigkeit von Laubholz, optimiert. Diese ca. 3 mm starken Schälffurniere werden dann getrocknet und anschließend sortiert. Dann werden die einzelnen Furnierlagen zu etwa 40 mm starken Platten verklebt und gepresst. Bei dem Produkt Furnierschichtholz werden diese Platten ähnlich dem Brettschichtholz als Lamellen zur gewünschten Höhe gestapelt und verklebt. Dabei sind im Allgemeinen alle Furnierlagen in eine Richtung orientiert. Die daraus resultierende hohe Anzahl aus Einzelfurnieren führt zu einer sehr starken Homogenisierung in den Produktkenngrößen. Mit der Ausführung als Laubholz kann die Dimension des Trägerquerschnittes bis zu 65 % geringer ausfallen (Schmidt, et al, 2014).

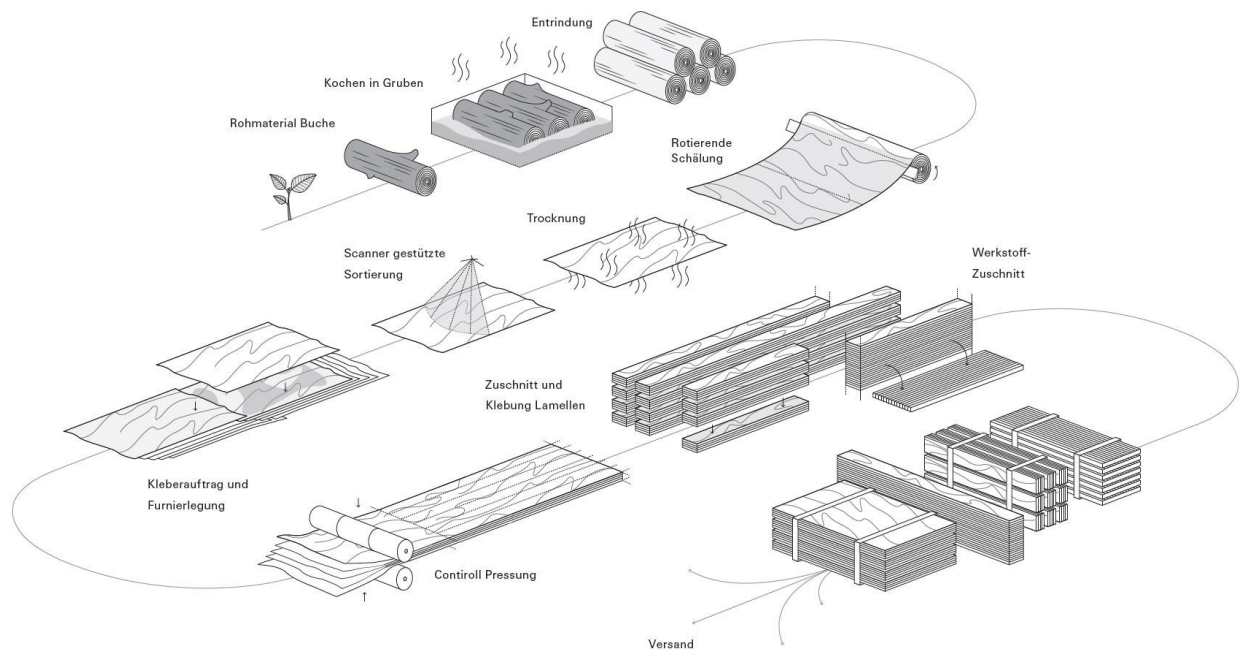


Abbildung 2.2: Produktionsweg der BauBuche (Pollmeier, 2016)

Der Pollmeier Träger BauBuche GL70 besitzt aufgrund seiner starken Homogenisierung je nach Beanspruchungsart zwei bis dreimal so gute Festigkeitskennwerte wie herkömmliches BSH. FSH aus Buche kann gemäß ETA-14/0354 (2015) eine charakteristische Biegezugfestigkeit von 70 N/mm² erreichen (OIB, 2015b; Blaß und Streib, 2017). Abbildung 2.3 zeigt den Aufbau eines BauBuche GL70 Trägers, bestehend aus 3 mm starken Furnierlagen.



Abbildung 2.3: Träger aus BauBuche GL70 (Pollmeier, 2016)

2-4 FURNIERSPERRHOLZ

Furniersperrholz, auch FU oder Furnierplatte genannt, siehe Abbildung 2.4, wird aus kreuzweise verklebten ca. 3 mm starken Schäl furnieren hergestellt. Üblich ist für Produkte im konstruktiven Holzbaubereich ein Anteil der Querlagen von ca. 20 %, höhere Anteile bis rd. 50 % sind möglich. Der Produktionsablauf ist bis zur Verklebung ident mit der Produktion von Furnierschichtholz. Durch den Einsatz von Querlagen ist für eine Furniersperrholzplatte eine zweiachsige Lastableitung grundsätzlich, aber nur sehr unausgeprägt, möglich. Die Querlagen dienen primär der Erhöhung des Schubwiderstandes und der Dimensionsstabilisierung des Querschnittes da das Quellen / Schwinden in der Plattenebene stark eingeschränkt und in beiden Richtungen homogenisiert wird.

Üblich sind Plattenstärken von 20 – 80 mm, eine Länge von bis zu 35 m und eine Breite von ca. 1,80 m. Die Platten werden für flächige lastabtragende Bauteile wie Wandscheiben oder Deckenplatten in Kombination mit Trägern und Stützen eingesetzt (Pollmeier, 2016).



Abbildung 2.4: Platte aus BauBuche Q (Pollmeier, 2016)

2-5 FORMPRESSPROFILE

Ein neuer Forschungsschwerpunkt am Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz ist Formpressprofilen aus Schäl furnieren gewidmet. Formpressprofile bestehen meist aus 8 – 10 verklebten Schäl furnierlagen und sind 15 – 30 mm dick. Der Anteil der Querlagen liegt je nach Aufbau bei 20 – 25 %. Durch diesen Aufbau und die daraus resultierende Homogenisierung des Produktes sind die Streuungen der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften klein.

Zur Optimierung des Querschnittes ist es aufgrund der geringen Bauteilstärke möglich ähnlich wie beim

Stahlbau durch Formpressverfahren beanspruchungsoptimierte zweidimensionale Profile zu fertigen. Eine Trapezform bietet dabei den Vorteil eines hohen Trägheitsmomentes bei geringer Querschnittsfläche und einem daraus folgendem geringeren Materialbedarf im Vergleich zu herkömmlichen zweidimensionalen Platten. Die Prototypen dieses Bauproduktes, überwiegend aus Buchenholz furnier bestehend, konnten mit einer handelsüblichen Furnierpresse und einer Negativform, die mit einer CNC-Fräse gefertigt wurde, hergestellt werden. Die Furnierlagen wurden mit Melaminharzkleber und Härter untereinander verklebt. Die Bildung von Rissen während des Pressvorganges der Furniersperrholzplatten, resultierend aus dem hohen Reibungswiderstand zwischen der Form und dem Profil, konnten durch eine Schicht Biegekunststoff zwischen der Form und dem Profil ausgeschlossen werden. Die Formstabilität des Trapezprofils wird durch ausreichende Querlagen sichergestellt. Erste Versuche ergaben einen optimalen Anteil der Querlagen von 20 %.

Abbildung 2.5 zeigt trapezförmige Formpressprofile mit einer Höhe von 150 mm im sogenannten Holz-Holz-Verbund mit einer Deckplatte aus Buchensperrholz, mit denen man unter großer Materialersparnis unter anderem weitgespannte Decken- und Dachkonstruktionen herstellen kann. Die Trapezprofile könnten auch mit anderen Holzbauprodukten oder Materialien wie Metall, Beton oder Kunststoff im Verbund eingesetzt werden. Dieses Produkt bietet das größte Potenzial zur wirtschaftlichen und ressourcenschonenden Verwendung von Hartlaubholz, welches sonst meist aufgrund des höheren Preises bei konventionellen Produkten ausscheidet (Loik, 2015).



Abbildung 2.5: Formpressprofil mit Deckplatte aus Buchensperrholz (Loik, 2015)

KAPITEL 3: VERBINDUNGSTECHNIK IM HOLZBAU

3-1 ALLGEMEINES

In diesem Kapitel sollen die Verbindungen im konstruktiven Holzbau, die dem Stand des Wissens bzw. der Technik entsprechen, angeführt werden und hinsichtlich ihrer Eignung für die Verbindung von Formpressprofilen aus Hartlaubholz furnier bzw. zur Anbindung an andere Bauelemente und Baumaterialien überprüft werden. Dazu ist es notwendig ein entsprechendes Anforderungsprofil für die Verbindung zu definieren. Es wird nicht auf jeden Punkt dieses Profils bei den einzelnen Verbindungsmitteln eingegangen, sondern abhängig vom Verbindungsmitteltyp Augenmerk auf maßgebliche Kriterien gelegt. Stahlformteile allgemein und Systemverbinder im Speziellen bieten aufgrund ihres Einsatzes in Kombination mit Nägeln, Schrauben etc. die gleichen Vor- bzw. Nachteile wie die entsprechenden folgend besprochenen einzelnen Verbindungsmittel.

Beginnend mit zimmermannsmäßigen Holzverbindungen ist festzuhalten, dass diese immer einen ausreichend starken Querschnitt bedingen um Zapfen, Verblattungen etc. ausbilden zu können. Daher werden diese aufgrund der sehr geringen Bauteilstärken bei den angestrebten Formpressprofilen in diesem Kapitel nicht näher behandelt.

Nachfolgend eine mögliche Gliederung der ingenieurmäßigen Verbindungstypen im Ingenieurholzbau (Abbildung 3.1).

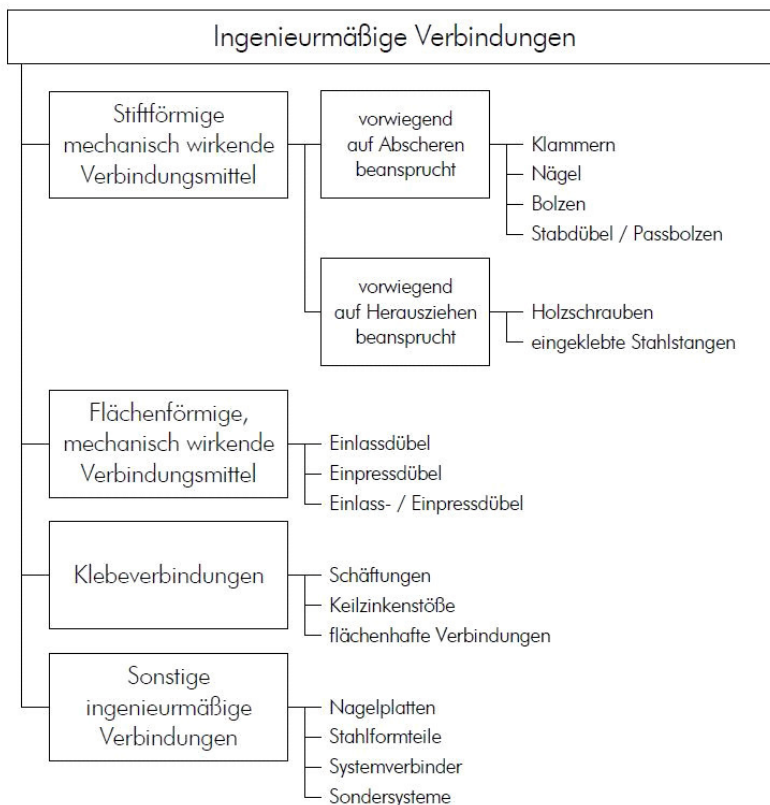


Abbildung 3.1: Gliederung der ingenieurmäßigen Verbindungen im Holzbau (Schickhofer, 2009)

3-2 ANFORDERUNGEN

An die Anschlüsse im Holzbau werden unterschiedliche Anforderungen gestellt, die die verschiedenen Verbindungsmittel unterschiedlich gut erfüllen. Als allgemeine und wesentliche Anforderungen gelten (i) eine hohe Tragfähigkeit, (ii) eine hohe Steifigkeit sowie (iii) eine hohe Duktilität. Im Folgenden eine Übersicht und kurze Diskussion einzelner Teilaspekte (Leijten, 1998; Schickhofer, 2009):

- Der Wirkungsgrad einer Verbindung gibt an wie hoch die Belastbarkeit eines Anschlusses bezogen auf den Brutto- (ungeschwächten) bzw. Nettoquerschnitt (geschwächten Querschnitt) des Bauteils ohne Verbindungsmittel ist. Dieser ist im Idealfall und bezogen auf den Netto-Querschnitt gleich 1,0, praktisch jedoch im Allgemeinen zwischen 0,5 und 0,9. Die Einflüsse von Temperatur, Feuchtigkeit und Langzeitbeanspruchung sollen im Vergleich zu Materialkennwerten und -abmessungen geringere Auswirkungen auf die Belastbarkeit einer Verbindung haben.
- Die Steifigkeit einer Verbindung beeinflusst maßgeblich die Gesamtverformung eines Tragwerks; eine hohe Steifigkeit ist daher anzustreben. Zudem gilt: Je kleiner das Lochspiel einer Verbindung ist, desto kleiner ist der Schlupf und somit können bei Wechselbeanspruchungen die Belastungen früher von den Verbindungen übernommen und weitergeleitet werden.
- Da Holz im Allgemeinen ein sprödes Versagen aufweist ist ein duktileres Verhalten in den Verbindungsmitteln erwünscht, um so durch Verformungen im Bereich der Anschlüsse Kräfte prinzipiell auf andere Knoten bzw. Tragwerksbereiche mit noch ausreichendem Resttragvermögen umlagern zu können. Dafür ist allerdings auch eine entsprechende konstruktive Ausführung des Tragwerkes erforderlich um ein Umlagerungspotenzial überhaupt zu schaffen. Durch ausreichende Duktilität in der Gesamtstruktur ist ein mögliches Versagen dieser früher erkennbar bzw. kann lokalen Überbeanspruchungen entsprechend konstruktiv begegnet werden.
- Der Brandschutz sollte mit geringem Aufwand sichergestellt sein. Hierfür gilt allgemein eine verdeckte Verbindungstechnik als vorteilhaft.
- Die Herstellung der Verbindung sollte leicht maschinell bereits bei Abbund im Werk oder vor Ort auf der Baustelle durchführbar sein.
- Das Quellen und Schwinden von Holz sollte keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit und Steifigkeit der Verbindung haben.
- Die einzuhaltenden Mindestzwischen- bzw. Randabstände der Verbindungsmittel sollten möglichst klein sein. Dies kann bei Bauteilen deren Dimensionen maßgeblich vom Anschlussknoten abhängen, wie beispielsweise einem Fachwerkzuggurt, zu kleineren Abmessungen des Querschnitts führen.
- Desto einfacher die Planung und Konstruktion eines Anschlusses ist, desto besser.
- Bautoleranzen sollten in der Ausbildung des Anschlusses berücksichtigt werden.
- Die Verbindung sollte auch im Sichtbereich aufgrund ihres Aussehens akzeptiert werden.
- Ist die Verbindung kostenintensiver als eine für das jeweilige Anwendungsgebiet bereits etablierte Verbindung, sollten sich diese Mehrkosten beispielsweise durch Einsparungen beim Material Holz ausgleichen.

Nachfolgend werden die bereits vorhandenen Verbindungsmittel hinsichtlich der oben angeführten Anforderungen im Einsatz bei dünnwandigen Profilen untersucht.

3-3 STIFFFÖRMIGE VERBINDUNGSMITTEL

3-3.1 BEANSPRUCHUNG VORWIEGEND AUF ABSCHEREN

Bei einem Anschluss mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, die vorwiegend auf Abscheren beansprucht werden, wird die einwirkende Belastung über Lochleibung der Fügeiteile und eine Biegebeanspruchung der Verbindungsmittel weitergeleitet. Zwei Kennwerte sind maßgeblich für die Bemessung der Verbindung: Das Fließmoment des Stiftes und die Lochleibungsfestigkeit des jeweiligen Holzbauteiles welches durch den Stift penetriert wird. Eine optimierte Verbindung versagt durch eine Kombination aus Lochleibungsversagen und Fließen des Verbindungsmittels. Dadurch werden die einzelnen Komponenten der Verbindung ideal ausgenutzt und eine ausreichende Duktilität der Verbindung ist gewährleistet

(Schickhofer, 2009).

Bei Furniersperrholz aus Laubholz wird der Einfluss der Krafrichtung auf die Lochleibungsfestigkeit einerseits aufgrund der etwas geringeren Anisotropie von Laubholz im Vergleich zu Nadelholz (Schickhofer, 2009), andererseits aufgrund der Anteile an Querlagen kleiner. Die erhöhte Rohdichte bei Hartlaubholz wirkt sich günstig auf die Bemessung der Lochleibungsfestigkeit aus, jedoch reduziert die geringe Querschnittsdicke bei Formpressprofilen den Lochleibungswiderstand erheblich.

Die stiftförmigen Verbindungsmittel mit einer Beanspruchung vorwiegend auf Abscheren gliedern sich wie folgt:

- Stabdübel
- Passbolzen
- Bolzen
- Nägel
- Klammern

Stabdübel, wie in Abbildung 3.2 gezeigt, sind glatte zylindrische Metallstifte, aus Draht gezogen und gefertigt, und werden in Holz vorgebohrte Löcher ohne Lochspiel eingetrieben. Sie werden durch Reibung am Herausfallen gehindert (Schickhofer, 2009). Der Zusammenhalt einer Verbindung mit Stabdübeln kann aufgrund des geringen Bauteilquerschnitts bei Formpressprofilen nicht garantiert werden, somit scheidet dieses Verbindungsmittel für dünnwandige Profile aus.

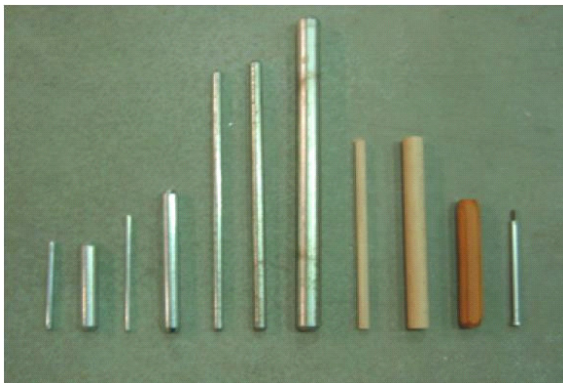


Abbildung 3.2: Stabdübel (Schickhofer, 2009)

Bolzen und Passbolzen, dargestellt in Abbildung 3.3, besitzen im Vergleich zu den Stabdübeln an den Enden ein Gewinde und können mit Kopf und Mutter, unterlegt mit Unterlegscheiben, angezogen werden (Schickhofer, 2009). Somit ist eine Lagesicherheit im Vergleich zu Stabdübeln gewährleistet. Die Applikation dieser Verbindungsmittel ist jedoch aufwendig und als effiziente Verbindung zur Fügung von Formpressprofilen nicht zielführend. Daher sind alternative Möglichkeiten zur Herstellung einer solchen Scher-Lochleibungsverbindung zu finden.



Abbildung 3.3: Passbolzen mit Unterlegscheiben (Schickhofer, 2009)

Für Nagelverbindungen ist aufgrund der erhöhten Spaltgefahr ohne Vorbohren eine Mindeststärke des zu fügenden Bauteils notwendig. Diese hängt vom Nageldurchmesser ab. Des Weiteren sind die Hartlaubhölzer Eiche und Buche immer vorzubohren (Schickhofer, 2009; Blaß und Streib, 2017). Dies macht die Verbindung in der Herstellung aufwendig und unwirtschaftlich.

Für Klammern ist mindestens eine Einbindetiefe von $14 d$ erforderlich. Für eine übliche Drahtdicke von 1,55 mm bedeutet dies eine notwendige Einbindetiefe von 22 mm (Schickhofer, 2009). Dies ist bei Profilstärken unter 25 mm nicht mehr möglich. Außerdem ist bei derart dünnen Drähten eine Vielzahl an Klammern notwendig um eine leistungsstarke Verbindung herzustellen, wodurch nur Verbindungen im untergeordneten Bereich möglich sind

3-3.2 BEANSPRUCHUNG VORWIEGEND AUF HERAUSZIEHEN

Verbindungsmittel die vorwiegend auf Herausziehen beansprucht werden sind in Abbildung 3.4 angeführt. Bei diesen Verbindungsmitteln ist im Allgemeinen die Verankerungslänge im jeweiligen Holzbauteil entscheidend. Dies trifft auf Holzschrauben wie auf eingeklebte Gewindestangen gleichermaßen zu. Die Verankerungslänge in axialer Richtung ist ausreichend, jedoch begrenzen die Mindestabstände der Verbindungsmittel zum Rand den Durchmesser des Verbindungsmittels. Für Gewindestangen, die mit GSA-Kleber appliziert werden, sind Mindestrandabstände von $1,875 d$ einzuhalten. Bei Formpressprofilen mit 15 mm Stärke bedeutet dies einen maximalen Durchmesser der Gewindestange von 4 mm. Für Schrauben sind je nach Zulassung Mindestrandabstände von $2,5 d$ erforderlich, woraus ein maximaler Schraubendurchmesser von 3 mm resultiert. Selbst bei exakter Einhaltung der Mindestabstände für die Aufteilung der Verbindungsmittel über die Profilbreite, woraus ein enormer Verbindungsmittelaufwand resultiert, ist, wie bereits in Kapitel 2-1 besprochen, kein großer Wirkungsgrad der Verbindung zu erwarten (Köberl, 2017; DIBt, 2017).



Abbildung 3.4: links: Holzschrauben, rechts: Gewindestangen (Schickhofer, 2009)

Holzschrauben und eingeklebte Gewindestangen könnten als auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel eingesetzt werden, jedoch sind sie nicht auf solche Beanspruchungen optimiert. Holzschrauben ohne Vorbohren in Hartlaubholz zu schrauben führt zu einer hohen Spaltwirkung des Holzes. Für einen effizienten Einsatz von Schrauben auf Abscheren ist es notwendig die vorhandenen Produkte für den Einsatz zur Fügung von Formpressprofilen zu adaptieren. Dazu ist es nötig das Spalten des Holzes ohne Vorbohren durch geeigneten Gewindeaufbau und Schraubvorgang zu verhindern, eventuell den Scherquerschnitt der Schraube durch einen glatten Schaft in der Scherfuge zu vergrößern und die Lagesicherheit der Schraube durch das Gewinde der Schraube zu gewährleisten. Diese und weitere notwendige Untersuchungen sollen nicht Teil dieser Masterarbeit sein.

3-4 FLÄCHENFÖRMIGE VERBINDUNGSMITTEL

Einlassdübel

Die Herstellung einer Verbindung mit Einlassdübeln ist sehr aufwendig. Zuerst muss die Ausnehmung für

den Dübel in die zu verbindenden Holzbauteile gefräst werden. Dann wird der Dübel, wie in Abbildung 3.5 dargestellt, eingesetzt und die Verbindung mit einem Schraubenbolzen fixiert. Für Einlassdübel ist eine Mindestholzdicke von der 2,25-fachen Einlasstiefe notwendig. Dies bedeutet bei herkömmlichen Dübeln dieser Bauart eine Mindestholzdicke von 34 mm (Schickhofer, 2009).



Abbildung 3.5: Einlassdübel (Schickhofer, 2009)

Einpressdübel

Wird der Dübel in das Holz eingepresst spricht man von einem Einpressdübel, wie in Abbildung 3.6 gezeigt. Es gibt herkömmliche Einpressdübel die für geringe Profilstärken ausgelegt sind (Schickhofer, 2009). Aufgrund der erhöhten Spaltgefahr bei Hartlaubhölzern und der hohen Rohdichte ist es fragwürdig, ob eine Versetzung von Einpressdübeln in Formpressprofilen möglich ist.



Abbildung 3.6: Einpressdübel (Schickhofer, 2009)

Klebeverbindungen

Im Allgemeinen versagen Klebeverbindungen spröde. Da Holz ebenfalls spröde versagt und nur durch eine gewisse Nachgiebigkeit im Bereich entsprechend ausgeführter Verbindungen Duktilität generiert, ist bei reinen Klebeverbindungen ein Umlagerungspotenzial bei lokaler Überbeanspruchung nicht gegeben, sowie ein Versagen der Gesamtkonstruktion nicht vorhersehbar und somit für den Bauingenieur kritisch zu sehen.

Holzinhaltstoffe, wie Fette, Harze, Öle etc., haben im Allgemeinen große Auswirkungen auf die Verklebungseigenschaften. Liegt der Gehalt an Inhaltsstoffen über 5 %, ist es üblicherweise notwendig das Holz vor der Verklebung zu behandeln. In Tabelle 3.1 sind übliche Holzarten hinsichtlich ihrer Eignung zur Verklebung eingeteilt. Besonders die Buche, für die Herstellung von Formpressprofilen interessant, sticht durch eine nur bedingte Verklebbarkeit heraus. Auch andere mögliche Holzarten für Formpressprofile wie Birke, Eiche und Esche sind schwer zu verkleben. Je nach Holzart und Kleber ist es notwendig die Fügeile für die Verklebung penibel vorzubereiten.

Tabelle 3.1: Klebbarkeit verschiedener Holzarten (Zeppenfeld, 1991)

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Aspe	Erle ⁴⁾	Esche	Buche
Kastanie	Linde ^{1), 4)}	Kirschbaum ^{1), 2)}	Birke
Pappel	Nußbaum ^{1), 2)}	Ahorn	Hickory ²⁾
Weide	Ulme / Rüter	Eiche	
Ulme / Rüter	Douglasie	Nußbaum	
Tanne ⁴⁾	Western Hemlock ³⁾	Platane ^{1), 2)}	
Sitkafichte	Kiefer ^{3), 4)}	Zypresse	
sehr gut verklebbar viele Klebstoffarten / Technologien verwendbar	gut verklebbar einige Klebstoffarten / Technologien verwendbar	befriedigend verklebbar Klebstoffarten hoher Qualität u. geeigneter, kontrollierter Technologie	bedingt verklebbar ausgewählte Klebstoffarten hoher Qualität u. geeigneter, streng kontrollierter Technologie

- 1) bei Neigung zu „verhungerten Fugen“ sind tierische oder gefüllte Klebstoffe zu verwenden
- 2) duroplastische Klebstoffe empfohlen
- 3) thermoplastische Klebstoffe empfohlen
- 4) Holzinhaltsstoffe (Fette, Wachse, Harze, Öle, etc.), ihre jahreszeitliche Veränderung & Konzentration beachten

Verklebungen sind nur mit erhöhtem Aufwand vor Ort herstellbar und erst nach vollständiger und unter definierten Prozessbedingungen erfolgter Aushärtung belastbar.

Gängige, kostengünstige Klebstoffe wie PVAc-Leime oder UF-Harze haben den Nachteil, dass sie meist nicht wasser- und wärmeresistent sind und teilweise umweltschädliche Stoffe während der Nutzungsdauer ausdiffundieren (Schickhofer, 2006 u. 2009; Brandner, 2017).

3-5 SONSTIGE VERBINDUNGEN

Nagelplattensysteme

Übliche Nagelplattensysteme, wie in Abbildung 3.7 angeführt, benötigen eine Mindest-Einbindetiefe von 30 mm (DIBt, 2016). Des Weiteren ist es aufgrund der erhöhten Spaltgefahr bei Hartlaubhölzern und der hohen Rohdichte grundsätzlich zu prüfen, ob es möglich ist Nagelplattensysteme in Formpressprofilen zu versetzen.

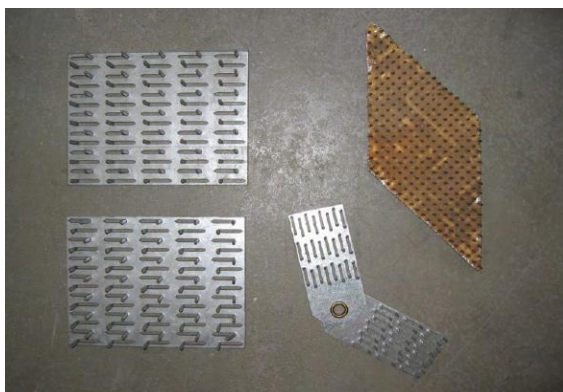


Abbildung 3.7: Nagelplattensysteme (Schickhofer, 2009)

Eingeklebte Metallbleche

Am Institut für Holzbau und Holztechnologie an der TU Graz wurden erste Versuche mit perforierten eingeklebten Metallblechen in Furnierschichtholz durchgeführt. Die Perforierung der Bleche dient zur Verbesserung des Verbundes und Vermeidung eines spröden Versagens der Verbindung. Zur Verhinderung eines Verdrehens der Klebstoffkeile im Bereich der Perforierungen und der daraus folgenden Aufspaltwirkung wurden Bohrstabdübel als Quersugsicherung verwendet. Diese Verbindung bietet ein großes Potenzial zur Fügung von Formpressprofilen, muss aber durch weitere Entwicklungsarbeit optimiert werden (Jelec, 2016; Virgolini, 2017).

Diese Verbindung ist nur mit erhöhtem Aufwand vor Ort herstellbar und erst nach vollständiger und unter definierten Prozessbedingungen erfolgter Aushärtung des Klebstoffes belastbar.

3-6 FAZIT

In Formpressprofilen können aufgrund der geringen Profilstärke nur eine begrenzte Anzahl an Verbindungsmitteln, die axial beansprucht werden, appliziert werden. Mindestabstände ermöglichen bei stiftförmigen Verbindungsmitteln nur eine einreihige Anordnung der Verbindungsmittel mit sehr geringen Durchmessern von etwa 3 – 8 mm. Hier ist kein hoher Wirkungsgrad der Verbindung zu erwarten. Verklebungen versagen spröde und sind daher für den alleinigen Einsatz ohne entsprechende Adaptierung im tragenden Holzbau eher kritisch zu sehen. Eine mögliche Art der Verbindung, die axial beansprucht wird, bieten die eingeklebten Metallbleche, die so dimensioniert werden können, dass im Falle eines Versagens ein Fließen des Bleches eintritt und somit ein duktiler Verhalten der Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sichergestellt ist. Diese Art der Verbindung benötigt noch weitere Forschungsarbeit zur Optimierung des Wirkungsgrades und der Ausführung.

Verbindungsmittel, die auf Abscheren beansprucht werden, können in beliebiger Anzahl unter Einhaltung der Mindestabstände angeordnet werden und somit einen hohen Wirkungsgrad der Verbindung erreichen, der im Grenzfall nur von der Schwächung des Querschnittes der Formpressprofile durch die Verbindungsmittel begrenzt wird. Die geringe Stärke der Formpressprofile erfordert eine Lagesicherung der Verbindungsmittel. Verbindungen mit Bolzen und Passbolzen können einen hohen Wirkungsgrad der Verbindung erreichen, bieten jedoch aufgrund ihrer aufwändigen Applikation nur ein geringes Potenzial für eine wirtschaftliche Verbindungslösung. Daher werden im Zuge dieser Arbeit Verbindungen aus dem Stahlbau, mit Augenmerk auf die Nietverbindungen, die hinsichtlich ihrer Tragwirkung Passbolzen sehr ähnlich sind, auf ihre Anwendbarkeit im Holzbau überprüft.

KAPITEL 4: NIETVERBINDUNGEN

4-1 ALLGEMEINES

4-1.1 DEFINITION

“Nieten gehört nach DIN 8593-0 (2003b) zu den Fertigungsverfahren Fügen, wobei der Formschluss durch Umformen erreicht wird.” (Wittel, et al., 2011)

In Abbildung 4.1 ist zur besseren Übersicht die Gliederung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 (2003a) ersichtlich. Die Kraft- und Formschlüssigkeit wird bei Nietverbindungen durch Umformen des Niets und / oder der Füge­teile erreicht.

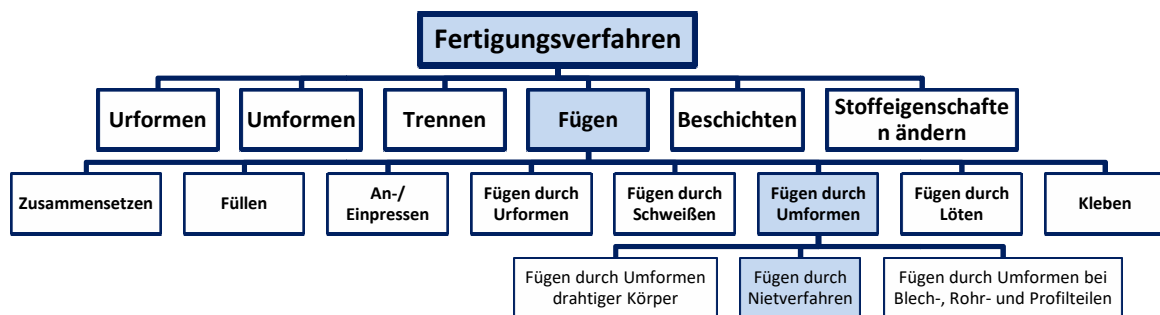


Abbildung 4.1: Einordnung der Nietverfahren nach DIN 8580 (2003a)

4-1.2 EINLEITUNG

Nietverbindungen zählen hinsichtlich ihrer Tragwirkung wie in Abbildung 4.2 ersichtlich, angelehnt an die Einteilung von Schraubverbindungen, im Allgemeinen zu den Scher-Lochleibungs-Passverbindungen (Künne, 2001).

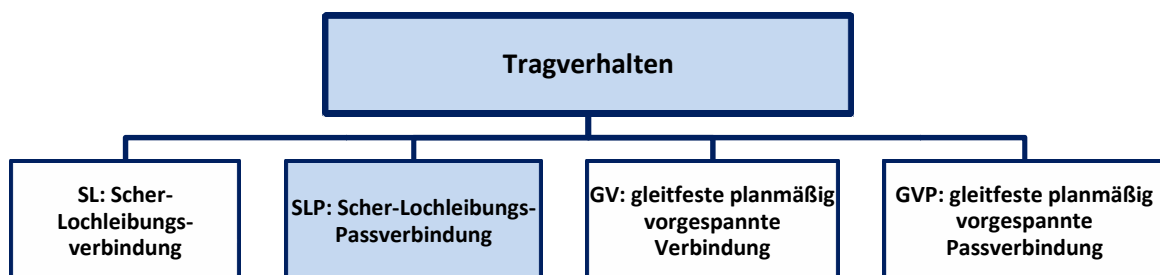


Abbildung 4.2: Tragverhalten von Schraubverbindungen (Unterweger, 2011)

Somit wird eine Nietverbindung auf Abscheren des Niets und auf Lochleibung der vernieteten Materialien bemessen. Eine Zugbeanspruchung eines Niets sollte vermieden werden. Der Großteil der Verbindungen ist nicht lösbar und die Füge­teile sind somit nur durch eine Beschädigung dieser oder der Nietverbindung wieder trennbar. Die Verbindungen verhalten sich bei hohen Beanspruchungen duktil, da

sie ein hohes Verformungsvermögen durch Setzen besitzen und versagen somit nicht ohne Vorankündigung in Form ausgeprägter Verformungen.

Es ist kein Stumpfstoß, wie zum Beispiel beim Schweißen, möglich. Für diese Anschlüsse sind immer Überlappungen der Füge­teile oder Laschen notwendig. Werden diese Anschlüsse einschnittig ausgeführt entstehen dadurch Zusatzbiegemomente und eine asymmetrische Beanspruchung der Lochleibung.

Die Nietverbindungen haben auch heute noch eine weite Verbreitung im Bereich des Metallleichtbaus und des Metallflugzeugbaus.

Hierfür sprechen unterschiedliche Gründe (Wittel, et al., 2011; Rossmann, 2017):

- Im Flugzeugbau bietet der Niet den Vorteil, dass die Qualitätssicherung der Verbindungen aufgrund der einfachen Kontrolle zuverlässig durchzuführen ist. Für dynamische Beanspruchungen, wie sie in der Luftfahrt vorkommen, sind Nietverbindungen die beste Lösung. Da 70 % der Ermüdungsschäden von der Lochleibung ausgehen, wird in Kombination mit einer Vorspannung der Niete die Belastung der Lochleibung verringert, mehr Last über Reibung abgetragen und somit die Lebensdauer der Verbindung verlängert. Konventionell wird dies durch Vorwärmen der Vollniete erreicht, die nach dem Setzen durch Abkühlung eine Vorspannung initiieren. Heute wird die Klemmwirkung häufig mit Schließringbolzen erreicht.
- Im Leichtbau ist es oft nicht möglich die Füge­teile durch Schweißen oder Verkleben zu verbinden. Durch Schweißen kann sich das Material verziehen oder die Festigkeit negativ beeinflussen. Teilweise werden im Leichtbau Aluminiumlegierungen eingesetzt, die schweißgeeignet sind. Bei Hybridkonstruktionen, wo unterschiedliche Materialien wie faserverstärkter Kunststoff und Metall kombiniert werden und diese in weiterer Folge hohen Betriebstemperaturen ausgesetzt werden, können Verklebungen nicht bzw. nur bedingt durchgeführt werden. In diesen Fällen wird auf hoch automatisierte Nietverfahren zurückgegriffen.

4-2 MATERIALIEN DER FÜGE­TEILE

Ein Vorteil der Nietverbindungen ist es, dass unterschiedliche Materialien miteinander verbunden werden können. Diese sind unter anderem Bleche, Kunststoffteile, Leder, Baumwollstoffe und Holz.

Bei weichen Materialien wie Filz, Gummi oder Leder ist ein Ausreißen des Materials denkbar. Werden solche Materialien gefügt sind oft Niete mit Flachköpfen in Verwendung. Durch den großen Kopf werden Spitzenspannungen verringert und die Belastung auf eine größere Fläche verteilt.

Bei Holz muss ein erhöhtes Lochspiel durch Toleranzen in der Fertigung im Vergleich zum Metallbau in Kauf genommen werden. Wird Holz gefügt ist das Quellen und Schwinden des Materials zu berücksichtigen. Dazu ist es notwendig diese Verformungen durch die Verbindung aufnehmen zu können und eine Lockerung der Verbindung auszuschließen. Durch Vorkompression im viskoelastischen Bereich kann eine Vorspannung erreicht werden. Auch Nietverbindungen mit einer Möglichkeit sie später nachziehen zu können, um Lockerungen durch Belastungen oder Schwindverhalten zu kompensieren, wären denkbar (Wittel, et al., 2011; Würth, 2016).

4-3 MATERIALIEN DER NIETE

Das Material des Nietes sollte auf die Materialien der Füge­teile abgestimmt sein. Im Stahlbau ist vor allem auf elektrochemische Korrosion durch falsche Kombination der Metalle, zu achten. Stark unterschiedliche Wärmedehnzahlen der Baustoffe oder das Quell- und Schwindverhalten von Holz können zur Lockerung bzw. Versagen der Verbindung führen. Der Nietwerkstoff muss aufgrund seiner Verarbeitbarkeit fließfähig sein. Übliche Materialien für Niete sind Stahl, Kupfer, Kupfer-Zink-Legierungen, Messing, Aluminium und Aluminiumlegierungen sowie Kunststoffe (Wittel, et al., 2011).

KAPITEL 5: NIETVERBINDUNGEN IM STAHLBAU

5-1 ALLGEMEINES

Diese Aufzählung der möglichen Nietverbindungen im Stahlbau stellt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll einen Überblick über die wichtigsten und für diese Arbeit relevantesten Verbindungen geben. Nietformen wie die Zapfenniete unterscheiden sich in ihrer Fügeweise nicht von hier behandelten Verbindungen und werden daher nicht näher betrachtet.

Im Stahlbau werden, wo dies möglich ist, die Nietverbindungen durch Schweiß- und Schraubverbindungen ersetzt, da Nietverbindungen meist mit einem höheren Personalaufwand verbunden und somit oftmals unwirtschaftlich sind. Jedoch ist vor allem im Flugzeug- und Leichtbau im Allgemeinen die Kombination von automatisierter maschineller Fertigung und modernen Nietverbindungen durchaus üblich. Im Maschinen- und Gerätebau werden Niete dort eingesetzt wo kein Schweißen möglich ist oder die Bauteile nur geringen Belastungen ausgesetzt sind.

Für Nietverbindungen gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten diese zu gliedern. Für diese Arbeit wurden die Niete, wie in Abbildung 5.1 angeführt, nach ihrer konstruktiven Ausführung gegliedert und weiter nach der Ausführung ihres Nietschaftes unterteilt (Wittel, et al., 2011).

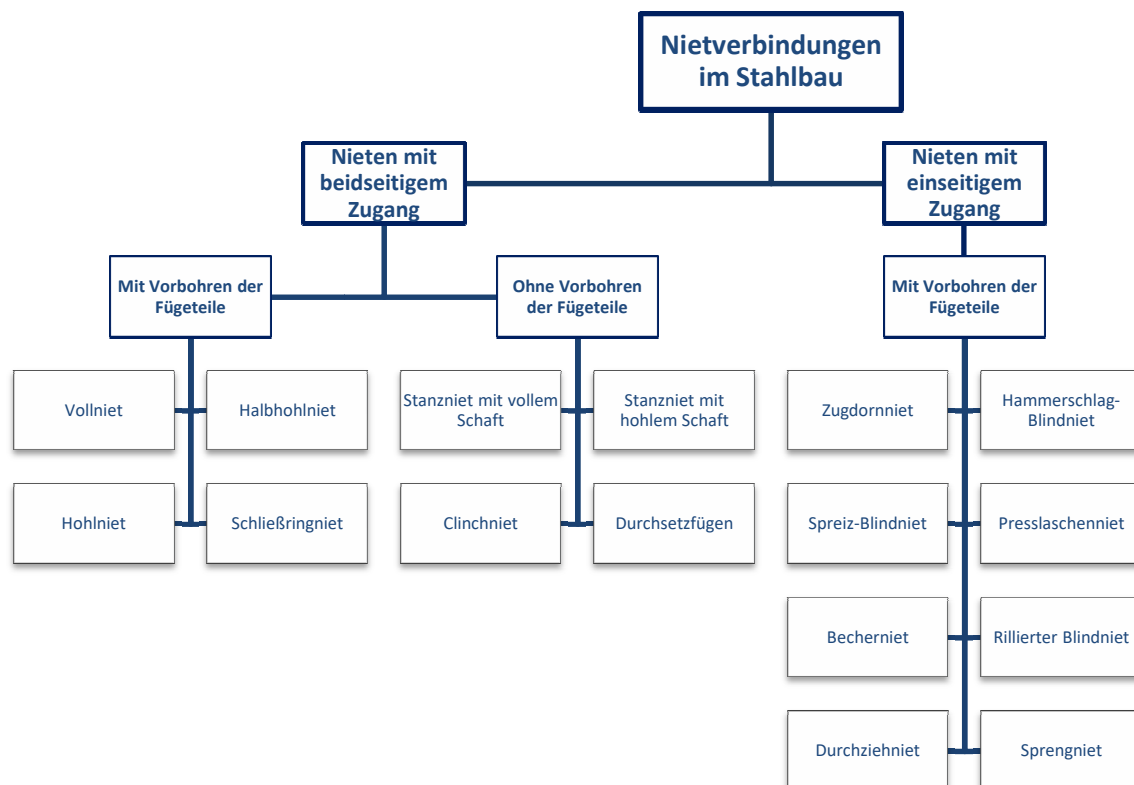


Abbildung 5.1: Gliederung Nietverbindungen

Die in diesem Kapitel tabellierten Kennwerte der einzelnen Niettypen bilden die Tragfähigkeit des Niets bis zum Bruch ab. Im Maschinenbau werden diese Tragfähigkeiten durch Sicherheitsbeiwerte zur Berücksichtigung des Materials, der Schadensfolge, dem Inspektionsintervall, dynamischer

Beanspruchungen etc. reduziert (Wittel, et al., 2011). Da durch entsprechende Stichprobenprüfungen laut ÖNORM EN ISO 3269 (2000) und ÖNORM ISO 2859-1 (1997) zumindest bei 98,5 % der Niete diese Tragfähigkeiten garantiert werden sollen, können diese Kennwerte für die Anwendung im Hochbau als charakteristische Kennwerte herangezogen werden.

5-2 NIETE MIT BEIDSEITIGEM ZUGANG

5-2.1 NIETEN MIT VORBOHREN DER FÜGETEILE

5-2.1.1 Allgemeines

Die Bohrlöcher werden nach dem Bohren entgratet und auf beiden Seiten gebrochen. Somit wird ein Nachfließen des Nietwerkstoffes in die Bohrung ermöglicht und die Kerbwirkung auf den Niet vermindert (Wittel, et al., 2011).

5-2.1.2 Vollniet

Der Vollniet besteht vor der Verarbeitung aus einem vollem Schaft und einem Setzkopf. Nach der Vorbereitung der Bohrlöcher, wie unter Punkt 5-2.1.1 beschrieben, wird der Vollniet durch das Bohrloch gesteckt und von der anderen Seite der Schließkopf gebildet. Dieser kann auf unterschiedliche Weise hergestellt werden:

- Mit Niethammer schlagen,
- mit einer Nietpresse pressen.

Der Setzvorgang eines Vollnietes mit einer Nietpresse und die einzelnen Bestandteile werden in Abbildung 5.2 gezeigt.

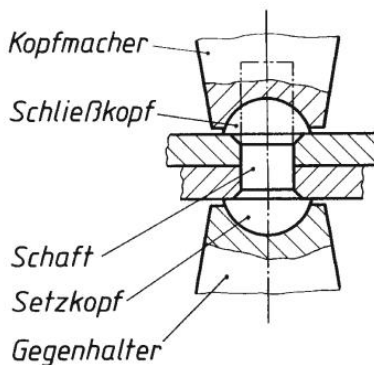


Abbildung 5.2: Herstellung einer Vollnietverbindung (Wittel, et al., 2011)

Vollniete sind mit einem genormten Schaftdurchmesser zwischen 1 und 36 mm erhältlich. Die Niete können warm oder kalt verarbeitet werden. Ab einem Durchmesser von 10 mm wird der Schließkopf im warmen Zustand geschlagen. Durch die Schrumpfung des Nietes aufgrund der Abkühlung nach dem Setzvorgang wird eine Vorspannung in der Verbindung erzeugt. Allfällige zusätzliche Widerstände der Verbindung durch Reibung werden jedoch nicht angesetzt, da diese nicht garantiert werden können.

Der Vollniet ist im Stahlbau weitestgehend von Schraub- und Schweißverbindungen abgelöst worden und beschränkt sich heute nur mehr auf spezielle Anwendungen wie historische Sanierungen von Nietanschlüssen.

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit einer Nietverbindung muss einerseits die Lochleibungstragfähigkeit nachgewiesen werden, andererseits die Tragfähigkeit des Niets. Die Niettragfähigkeit wird wie folgt nachgewiesen (Wittel, et al., 2011):

$$\tau_{a,d} = \frac{F_{a,d}}{n \cdot s \cdot A} \leq f_{v,riv,d} \quad (5.1)$$

mit:

$\tau_{a,d}$ Schubspannung durch Abscheren in N/mm²

$F_{a,d}$ zu übertragende Abscherkomponente der Nietverbindung in N

n Anzahl der Niete

s Anzahl der Scherfugen

A Querschnittsfläche des Niets in mm²

$f_{v,riv,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit durch Abscheren abhängig vom Nietmaterial in N/mm²

Im Holzbau können Vollniete im Vergleich zum Stahlbau nur so stark vorgewärmt werden, dass es zu keinem örtlichen Ansengen des Holzes im Bereich des Bohrloches kommt was die Verbindung in Folge unbrauchbar machen würde. Daher ist die Möglichkeit einer Vorspannung bei dieser Verbindung für den Einsatz im Holzbau nur sehr begrenzt gegeben. Des Weiteren ist es notwendig sehr leicht formbare Materialien für die Niete zu verwenden, um auch bei größeren Durchmessern einen Schließkopf bilden zu können.

Für den Einsatz im Holzbau spricht die Toleranz bei der Herstellung des Bohrloches. Spannungsspitzen in den Lochrändern können durch Ausbildung eines Flachrundkopfes verringert werden.

Die Ausführung einer Nietverbindung mit Vollniete ist jedoch sehr aufwendig und daher heutzutage unwirtschaftlich. Des Weiteren bietet der Vollniet aufgrund seiner gedungenen Form kaum Verformungspotenzial.

Halbrundniet

Die üblichste Form des Vollnietes ist der Halbrundniet, siehe Abbildung 5.3. Durch die Ausbildung seines Kopfes ist eine hohe Vorspannung durch die Abkühlung des Niets möglich. Er findet im Stahlbau, Behälterbau, Kesselbau, Leichtmetallbau und der Blechbearbeitung Anwendung (Wittel, et al., 2011; Schlecht, 2015).

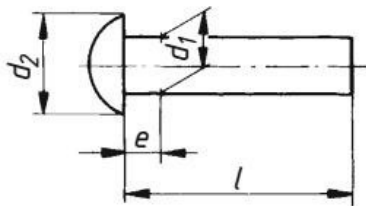


Abbildung 5.3: Vollniet mit Halbrundkopf (Wittel, et al., 2011)

Senkniet

Ist es notwendig, dass die Oberfläche der Verbindung eben sein muss wird ein Vollniet mit Senkkopf, wie in Abbildung 5.4 dargestellt, verwendet. Der Nachteil der Verbindung liegt in der geringeren Belastbarkeit und der geringeren Vorspannkraft im Vergleich zu Halbrundnieten. Übliche Einsatzgebiete sind der Stahlbau, Behälterbau, Kesselbau, Leichtmetallbau und die Blechbearbeitung (Wittel, et al., 2011; Schlecht, 2015).

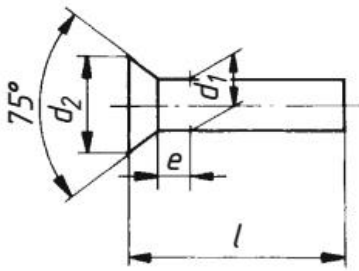


Abbildung 5.4: Vollniet mit Senkkopf (Wittel, et al., 2011)

Linsenniet

- Der Linsenniet wird zur Befestigung von Leisten, Beschlägen, Trittlflächen, Laufgängen und anderen Produkten im Sichtbereich benutzt. Der Vorteil dieses Nietkopfes ist die gefällige Optik, eine griffige Oberfläche bei Trittlflächen und Laufgängen und die daraus resultierende geringere Unfallgefahr. In Abbildung 5.5 ist ein Linsenniet dargestellt (Wittel, et al., 2011).

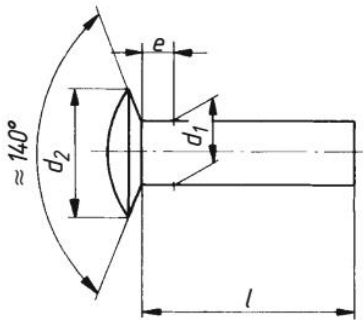


Abbildung 5.5: Vollniet mit Linsenkopf (Wittel, et al., 2011)

Flachrundniet

Der Flachrundniet wird im Karosserie- und Flugzeugbau sowie zur Befestigung von Beschlägen und zur Verbindung von Feinblechen, Kunststoffen und Pappe eingesetzt. Durch die große Kopfform ist die Pressung unter dem Kopf geringer als bei herkömmlichen Nietköpfen. In Abbildung 5.6 ist der große Kopf im Vergleich zu herkömmlichen Vollnieten ersichtlich (Wittel, et al., 2011; Schlecht, 2015).

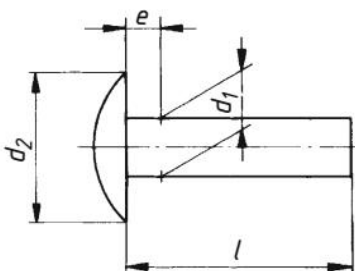


Abbildung 5.6: Vollniet mit Flachrundkopf (Wittel, et al., 2011)

Flachsenkiet

Der Flachsenkiet, wie in Abbildung 5.7 dargestellt, wird auch Riemenniet genannt, da er vor allem für weiche Materialien wie Riemen und Gurte aus Gewebe, Leder und Kunststoff verwendet wird, da das Ausreißen der sensiblen Füge­teile verhindert wird (Wittel, et al., 2011).

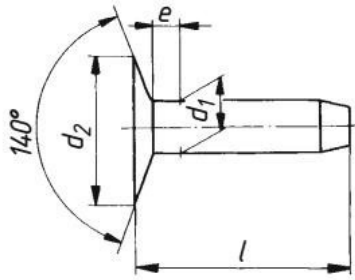


Abbildung 5.7: Vollniet mit Flachsenkkopf (Wittel, et al., 2011)

5-2.1.3 Halbhohnniet

Im Vergleich zum Vollniet wird bei diesem Niet der Schaft angebohrt. Der Halbhohnniet wird durch die vorgebohrten Fügeteile gesteckt und auf der anderen Seite wird der angebohrte Schaftteil mit einem Dorn gespreizt oder umgebördelt. Übliche Schaftdurchmesser des Halbhohnnietes liegen zwischen 1,6 und 20 mm. Er wird bei empfindlichen Fügeteilen eingesetzt und ist besonders wirtschaftlich durch den Einsatz von Nietmaschinen. Die Ermittlung der Tragfähigkeit einer Nietverbindung mit Halbhohnniete erfolgt analog der Berechnung bei Vollnieten. Die Ausführungsformen des Halbhohnnietes sind in Abbildung 5.8 ersichtlich (Wittel, et al., 2011).

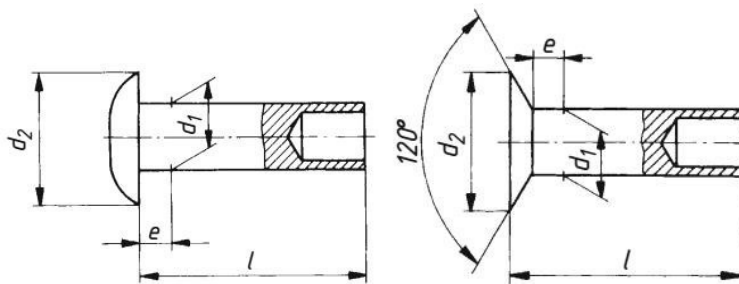


Abbildung 5.8: Halbhohnniet: mit Flachrundkopf (links) bzw. mit Senkkopf (rechts) (Wittel, et al., 2011)

Eine Automatisierung im Nietprozess ist denkbar. Durch eine Ausbildung als Flachrundkopf und das gespreizte Schaftende wird das Material auf Querdruck geschont. Der Halbhohnniet bietet aufgrund seiner gedrungeneren Form kaum Verformungspotenzial, somit sind Spannungsspitzen im Bereich der Bohrlochränder möglich.

Halbhohnniete mit Nietstift

Diese Art der Halbhohnniete wird auch Nietstift genannt. Sie bestehen aus einem Stahlzylinder, der auf beiden Seiten angebohrt oder angesenkt ist (Abbildung 5.9 links). Der Nietstift wird durch das Bohrloch geführt und zur Lagesicherung auf beiden Seiten aufgetrieben. Daher ist bei dieser Verbindung nur eine Abscherbelastung möglich. Der Nietstift wird unter anderem bei großen Klemmlängen, wie zur Verbindung zweier Rohre (Abbildung 5.9 rechts) eingesetzt (Wittel, et al., 2011).

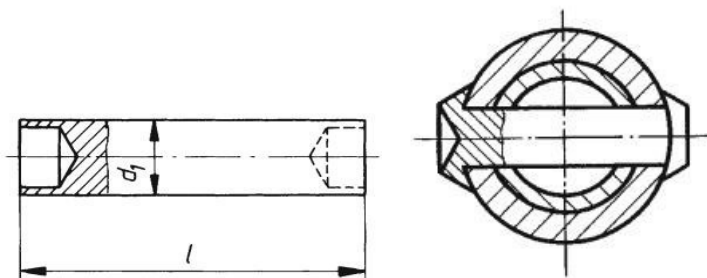


Abbildung 5.9: Halbhohnniet mit angebohrtem Nietstift vor (links) und nach dem Fügen (rechts) (Wittel, et al. 2011)

5-2.1.4 Hohlriet

Der Hohlriet besteht im Vergleich zum Vollriet aus einem hohlen Schaft; der Setzvorgang ist dem des Vollriets ähnlich. Der Hohlriet wird durch die Bohrlöcher der Füge­teile geführt und anschließend wird der Schließkopf unter Verwendung des überstehenden Teils mit einer Nietpresse oder einem umlaufendem Rollenpaar geformt. Bei Durchmessern bis 35 mm besteht auch die Möglichkeit den Schließkopf durch Taumeln zu bilden. Dabei wird mit einem aus der senkrechten Achse ausgelenkten Nietwerkzeug der Schließkopf gebildet. Diese Methode hat aufgrund ihrer vielen Vorteile breite Anwendung im Maschinen- und Gerätebau gefunden. Das Nietmaterial hat Zeit sich plastisch zu Verformen, wodurch Anrisse, Strukturveränderungen und Aufhärtungen vermieden werden. Die Bildung des Schließkopfes kann mit einfachen Mitteln und schnell erfolgen (Wittel, et al., 2011).

Im Stahlbau sind Schaftdurchmesser von 1,5 – 10 mm üblich. Für den Einsatz im Holzbau ist es durchaus denkbar größere Durchmesser des Hohlriets einzusetzen. Dies vergrößert die Lochleibungsfläche und verringert somit die Spannungen im Fügema­terial. Auch Spitzenspannungen werden durch die Nachgiebigkeit des Hohlriets im Vergleich zu Vollrieten verringert. Durch die Nachgiebigkeit des Hohlriets verhält sich die Verbindung duktil und somit vorhersehbarer. Eine automatisierte Applikation ist bei dieser Verbindung möglich.

Einteiliger Hohlriet

Der einteilige Hohlriet (Abbildung 5.10) wird auch Rohrriet genannt und ist die gebräuchlichste Hohlrietform. Der einteilige Hohlriet hat den Vorteil, dass das Bohrloch auch nach dem Setzen der Verbindung offen bleibt und beispielsweise zur Durchführung von Leitungen genutzt werden kann. Er wird im Bereich der Elektrotechnik oder dem Blechbau und zur Verbindung von hohlen Bauteilen verwendet. Er eignet sich besonders gut zum Fügen weicher Materialien, wie Leder, Karton und Kunststoff, weil zur Bildung des Schließkopfes nur geringe Kräfte erforderlich sind (Wittel, et al., 2011).

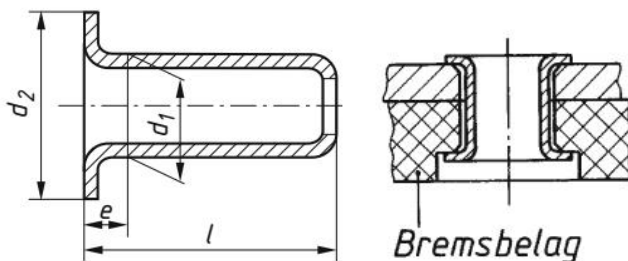


Abbildung 5.10: Rohrriet vor (links) und nach der Applikation (rechts) (Wittel, et al., 2011)

Zweiteiliger offener Hohlriet

Beim zweiteiligen offenen Hohlriet werden zwei hohle Nietteile von beiden Seiten in das Bohrloch geführt und ineinandergesteckt (Abbildung 5.11). Dabei bleibt nach dem Fügen das Bohrloch offen. Er dient zur Verbindung von Bauteilen, die keinen großen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Es können auch unterschiedliche Werkstoffe miteinander verbunden werden, wie Metalle mit Kunststoff, Leder oder Hartpapier (Wittel, et al., 2011).

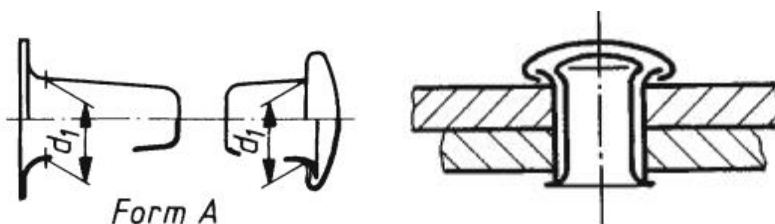


Abbildung 5.11: Zweiteiliger offener Hohlriet vor (links) und nach der Applikation (rechts) (Wittel, et al., 2011)

Zweiteiliger geschlossener Hohniet

Der zweiteilige geschlossene Hohniet entspricht in Bezug auf die Verarbeitung und Einsetzbarkeit dem zweiteiligen offenen Hohniet, nur dass die Nietköpfe geschlossen sind und somit kein offenes Loch nach dem Setzen der Verbindung verbleibt. Abbildung 5.12 zeigt die beiden Teile des Nietes (Wittel, et al., 2011).

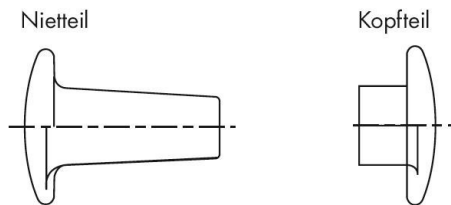


Abbildung 5.12: Zweiteiliger geschlossener Hohniet (Würth, 2016)

5-2.1.5 Schließringniet

Wie in Abbildung 5.13 ersichtlich, besteht der Schließringniet oder Schließringbolzen aus zwei Teilen, dem Bolzen und dem Schließring. Der Bolzen wird von der einen Seite durch die zu verbindenden Bauteile gesteckt. Von der anderen Seite wird der Schließring mit einem Setzwerkzeug an die Bauteile angepresst. Im Bereich der Schließrillen kommt es zur plastischen Verformung des Schließringes, wodurch eine kraft- und formschlüssige Verbindung hergestellt wird. Die resultierende Zugkraft wird vom Zugteil des Bolzens übernommen. Schließlich bricht der Bolzen an der Sollbruchstelle kontrolliert ab. Somit ist sichergestellt, dass immer mit gleicher Kraft genietet wird. Dadurch ist, wie bei vorgespannten Schrauben oder warm geschlagenen Nieten, eine Vorspannung in der Verbindung vorhanden. Da der Bolzen selbst nicht umgeformt wird können für diesen auch höherfeste Materialien verwendet werden.

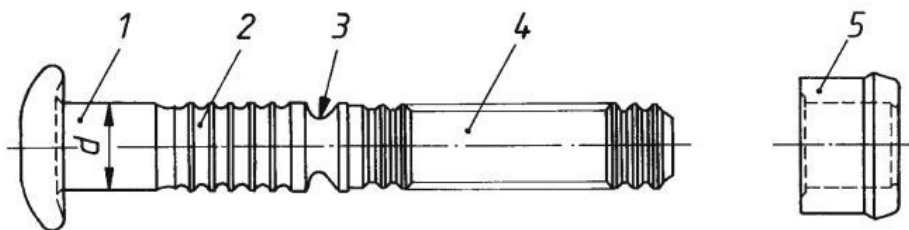


Abbildung 5.13: Niet mit Schließring: 1: glatter Schafteil, 2: Schließrillen, 3: Sollbruchstelle, 4: Zugteil, 5: Schließring (Wittel, et al., 2011)

Schließringniete werden vor allem im Containerbau, im Waggonbau und für die Herstellung von Transportgeräten eingesetzt. Wirtschaftlich ist die Verbindung durch ihren Setzvorgang, der in Abbildung 5.14 gezeigt wird. Dieser ist sehr einfach, schnell und sicher, daher werden für die Verarbeitung keine Fachkräfte und nur eine Person benötigt. Dadurch sind bis zu 1.500 Nietungen pro Stunde möglich. Durch die Vorspannung entsteht eine vibrations sichere Verbindung. Die Verbindung ähnelt von der Wirkungsweise warm geschlagenen Nieten und planmäßig vorgespannten Schrauben (Wittel, et al., 2011).

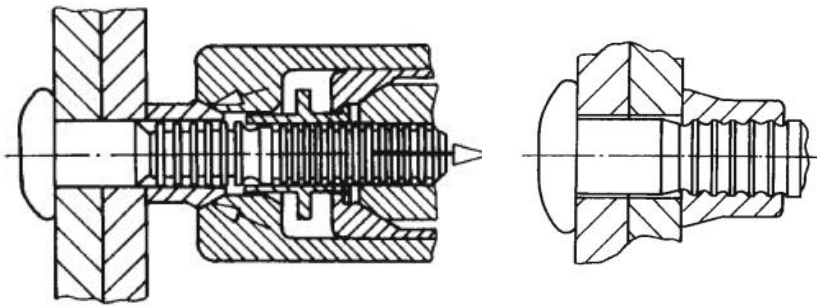


Abbildung 5.14: Schließringniet während (links) und nach dem Setzvorgang (rechts) (Wittel, et al., 2011)

In Tabelle 5.1 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines Schließringnietes von Titgemeyer aus Edelstahl mit einem Flachrundkopf angeführt.

Tabelle 5.1: Kenngrößen von Titgemeyer Schließringnieten (Titgemeyer, 2017)

Bolzenenn- durchmesser	Bohrloch- durchmesser	Klemmlängen- bereich	Scherzug- tragfähigkeit	Kopfzug- tragfähigkeit	Vorspannkraft
[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]
4,8	5,2	1,6 – 33,3	7,9	6,4	4,5
6,4	6,8	1,6 – 33,3	14,5	16,0	8,0
8,0	8,4	3,2 – 34,9	22,0	24,0	12,0
9,6	10,0	3,2 – 34,9	29,0	37,0	17,5

Die Sollbruchstelle kann einfach an die unterschiedlichsten Materialien und ihre Widerstandsfähigkeiten angepasst werden. Des Weiteren ist es denkbar das Nietende mit einem Gewinde auszustatten und so die Fügeiteile durch den Niet selbst vorzubohren. Wird der glatte Schaftteil konisch ausgebildet kann das Lochspiel trotz Toleranzen minimiert werden und eine Vorspannung der Fügeiteile in Querrichtung ausgebildet werden. Spitzenspannungen im Bereich des Lochrandes werden so reduziert und die Steifigkeit der Verbindung erhöht.

5-2.2 NIETEN OHNE VORBOHREN DER FÜGETEILE

5-2.2.1 Stanzniet mit vollem Schaft

Das Ausführen von Verbindungen mit Stanznieten bietet den Vorteil, dass kein Vorbohren notwendig ist. Der Applikationsvorgang ist in Abbildung 5.15 dargestellt. Die Fügeiteile werden eingerichtet, an der Unterseite durch die Matrize und an der Oberseite durch den Niederhalter fixiert. Dann wird der Vollniet vom Nietstempel durch die Fügeiteile gepresst. Der Niet schneidet sich selbst durch die Fügeiteile. Nach erfolgreichem Durchstanzen beider Fügeiteile wird die Matrize nach oben gegen das untere Fügeiteil gepresst und verformt dieses plastisch derart, dass eine Hinterschneidung im Bereich der Ringnut gebildet wird.

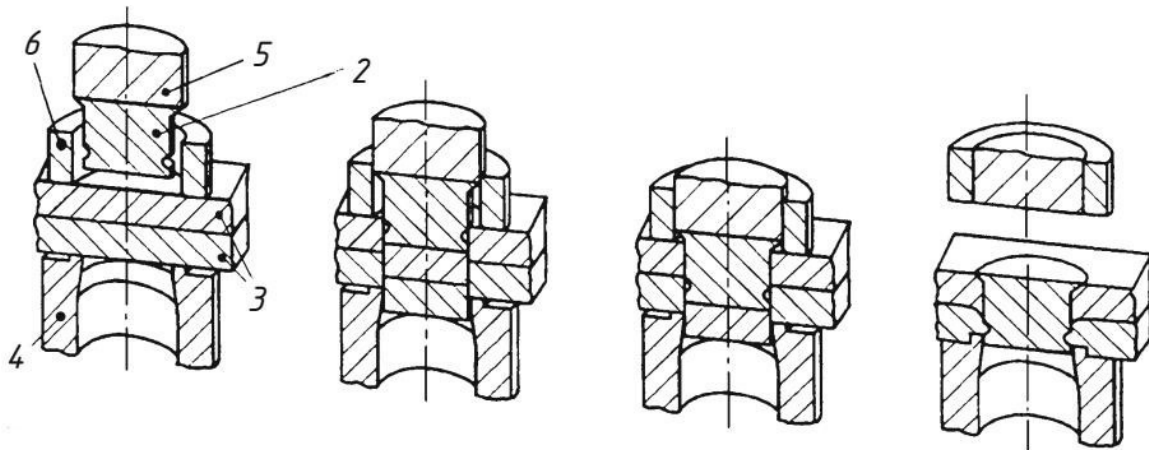


Abbildung 5.15: Stanznieten mit Vollniet: 2: Vollniet mit Ringnut, 3: Füge­teile, 4: Matrize, 5: Nietstempel, 6: Niederhalter (Wittel, et al., 2011)

Nach dem Fügen sind auf beiden Seiten keine überstehenden Verbindungselemente vorhanden und die Oberfläche somit eben. Da nur der matrizen­seitige Werkstoff plastisch verformt wird kann der stempelseitige Werkstoff auch aus einem nicht plastisch verformbaren Material bestehen.

Übliche Materialien für den Niet sind unterschiedliche Stähle. Als Fügema­terial dient Stahl, Aluminium aber auch faserverstärkter Kunststoff. Die Verbindung wird vor allem im Leichtbau verwendet. Stärken von ca. 2 mm sind für die zu fügenden Bauteile üblich. Der Durchmesser der Stanzniete beträgt 4 – 5 mm. Durch den einfachen Setzvorgang ist ein hoher Automatisierungsgrad möglich (Wittel, et al., 2011; Koerbitz, 2017).

In Tabelle 5.2 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel der Tuk-Rivet von Kerb Konus für unterschiedliche Materialien angeführt.

Tabelle 5.2: charakteristische Tragfähigkeiten für Stanzniete (Kerb Konus, 2017)

Material	Dicke oben [mm]	Dicke unten [mm]	Scherzug [kN]	Kopfzug [kN]	Schälzug [kN]
1,4016	1,5	1,5	5,4	2,5	1,3
1,4301	1,5	1,5	6,0	2,8	1,5
1,4003	2,0	2,0	6,8	3,7	2,2
1,4301	2,0	2,0	7,0	3,2	2,0
H260	1,5	1,5	3,5		1,2
H420	1,5	1,5	4,8		1,7
H340	2,0	2,0	5,8		2,1
H420	2,5	2,5	7,5		2,8
AlMg 3 / Al - DG	2,0	2,2	2,7		
Al Mg 3	2,0	2,0	2,6		
Bondal 1.4301	1,5	2,5	5,0	2,4	
H300	1,5	1,5	4,6	1,6	1,4
DC 04	1,5	1,5	3,5	1,4	1,1
AlMg5Mn	1,5	1,5	2,7	1,2	0,8
AC 120	1,5	1,5	2,6	1,2	0,8

Da ein plastisches Verformungsverhalten und ein homogenes Material für eine gleichmäßige Ausbildung der Niete über viele Setzyklen vorausgesetzt werden, ist eine Anwendung dieser Nietmethode im Holzbau schwer umsetzbar. Durch Quellen und Schwinden des Holzes ist eine Lockerung der Verbindung absehbar.

5-2.2.2 Stanzniet mit hohlem Schaft

Auch Stanzniete aus Halbhohlknoten benötigen kein Vorbohren. Das Stanzverfahren mit Halbhohlknoten ähnelt dem von Vollknoten und ist in Abbildung 5.16 dargestellt. Die Fügebauteile werden eingerichtet, an der Unterseite durch die Matrize und an der Oberseite durch den Niederhalter fixiert. Dann wird der Halbhohlknoten vom Nietstempel durch die Fügebauteile gepresst. Dabei ist nur ca. ein Viertel des Kraftaufwandes im Vergleich zum Stanzen mit Vollknoten nötig. Beim Stanzen mit hydraulischen Pressen entspricht das etwa einem Kraftaufwand für das Stanzen mit Hohlknoten von 50 kN. Der Niet schneidet sich selbst durch die Fügebauteile. Dabei wird der untere Fügebauteil nicht vollständig durchgestanzt, sondern nur plastisch verformt. Die Matrize stellt sicher, dass eine formschlüssige Verbindung gebildet wird. Sie kann je nach Erfordernis in unterschiedlichsten Formen ausgebildet sein.

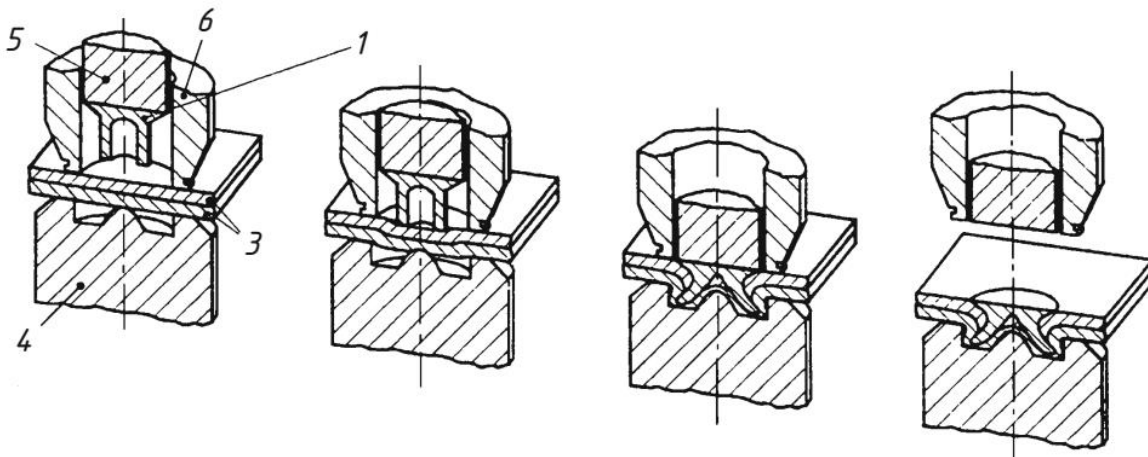


Abbildung 5.16: Stanznieten mit Halbhohlknoten: 1: Halbhohlknoten, 3: Fügebauteile, 4: Matrize, 5: Nietstempel, 6: Niederhalter (Wittel, et al., 2011)

Die matrizenseitige Oberfläche der Verbindungsstelle ist nach dem Setzen nicht eben, die Verbindung ist jedoch gas- und flüssigkeitsdicht, da das matrizenseitige Blech beim Setzvorgang nicht durchgestanzt wird. Der einfache Stanzvorgang bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten, ob durch Stanzen mit Handgeräten oder vollautomatisierten Stanzmaschinen für gleichzeitiges Setzen von mehreren Stanznieten.

Üblicherweise werden Stahl- und Aluminiumlegierungen verwendet. Die Gesamtstärke der beiden Fügebauteile können bei Stahl maximal 7 mm und bei Aluminium maximal 11 mm betragen. Der Durchmesser der Stanzniete liegt bei 3 – 5 mm (Wittel, et al., 2011).

In Tabelle 5.3 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Scherzugtragfähigkeiten das Beispiel der Böllhoff Stanzniete Rivset für übliche Materialien und Bauteildicken angeführt.

Tabelle 5.3: charakteristische Scherzugtragfähigkeit der Rivset Stanzniete (Böllhoff, 2017)

Werkstoff	Blechdicke stempelseitig (mm)	Werkstoff matrizen-seitig (mm)	Blechdicke matrizen-seitig (mm)	Nietabmessung (ø)	Scherzugfestigkeit (kN)
DC01	0,75	DC01	0,75	3	2,29
DC01	1,00	DC01	1,00	3	3,10
DC01	1,00	DC01	1,00	5	3,75
DC01	1,20	DC01	1,20	3	3,89
DC01	1,20	DC01	1,20	5	4,45
DC01	1,50	DC01	1,50	3	4,37
DC01	1,50	DC01	1,50	5	5,99
H320LA+ZE	1,00	H320LA+ZE	1,00	3	3,72
AlMg3	0,80	AlMg3	0,80	3	1,70
AlMg3	1,00	AlMg3	1,00	3	2,19
AlMg3	1,20	AlMg3	1,20	3	2,48
AlMg3	1,20	AlMg3	1,20	5	3,17
AlMg3	1,50	AlMg3	1,50	5	4,38
AlMg3	2,00	AlMg3	2,00	5	4,94
DC04	2,00	DC04	2,00	5	7,60
AlMg4,5Mn0,4	2,50	AlMg4,5Mn0,4	1,25	5	5,20
AlMg0,4Si1,2	1,20	AlMg0,4Si1,2	1,20	3	3,00
AlMg0,4Si1,2	1,20	AlMg0,4Si1,2	1,20	5	3,40
AlMg4,5Mn	1,15	AC300	2,00	5	3,20

Da ein plastisches Verformungsverhalten und ein homogenes Material für eine gleichmäßige Ausbildung der Niete über viele Setzzyklen vorausgesetzt werden, ist eine Anwendung dieser Nietmethode im Holzbau schwer umsetzbar. Durch Quellen und Schwinden des Holzes ist eine Lockerung der Verbindung absehbar.

5-2.2.3 Clinchniet

Der Setzvorgang entspricht weitestgehend dem vom Stanzen mit Halbhohl-nieten und ist in Abbildung 5.17 dargestellt. Der Niet selbst besteht nur aus einem einfachen Zylinder (TOX Pressotechnik, 2014).

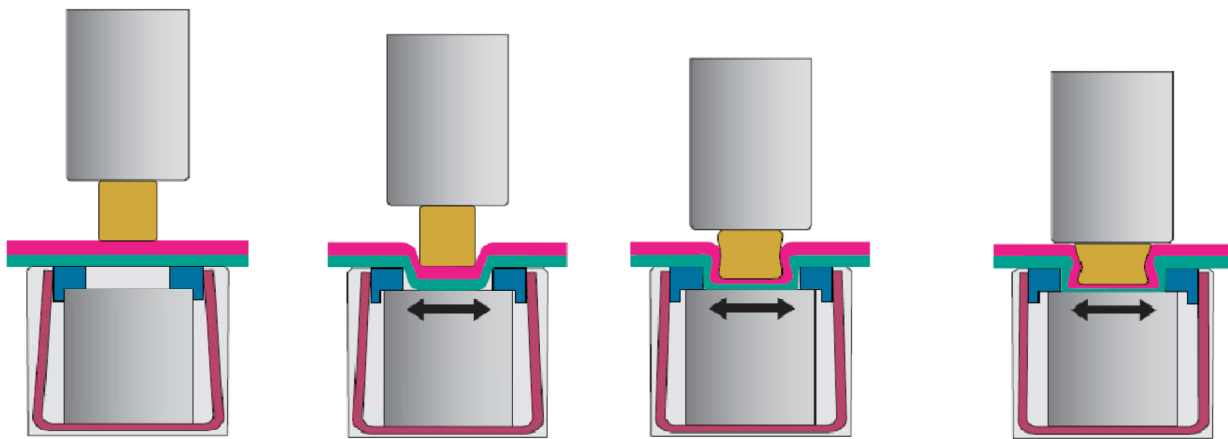


Abbildung 5.17: Prozessablauf beim Setzen eines Clinchnietes (TOX Pressotechnik, 2014)

Da ein plastisches Verformungsverhalten und ein homogenes Material für eine gleichmäßige Ausbildung der Niete über viele Setzzyklen vorausgesetzt werden, ist eine Anwendung dieser Nietmethode im Holzbau schwer umsetzbar. Durch Quellen und Schwinden des Holzes ist eine Lockerung der Verbindung absehbar.

5-2.2.4 Durchsetzfügen

Für den Begriff Durchsetzfügen wird umgangssprachlich auch das Wort Clinchen verwendet. Beim Durchsetzfügen wird gänzlich auf Verbindungselemente wie Niete verzichtet. Der Kraft- und Formschluss wird nur durch plastische Verformung der Fügeteile erreicht und setzt ausreichendes Fließvermögen dieser voraus. Geeignete Materialien sind weiche Stähle und Aluminiumlegierungen.

Beim Durchsetzfügen ohne Schneidanteil wird keines der beiden Fügeteile durchtrennt. Der Verformungsprozess ist in Abbildung 5.18 dargestellt. Zuerst werden die Fügeteile auf der Matrize positioniert, anschließend erfolgt das Durchsetzen durch Pressen des Stempels. Die Matrize stellt den Formschluss sicher und kann starr oder beweglich ausgebildet sein. Die Einsatzbereiche erstrecken sich über den ganzen Maschinenbau (Wittel, et al., 2011).

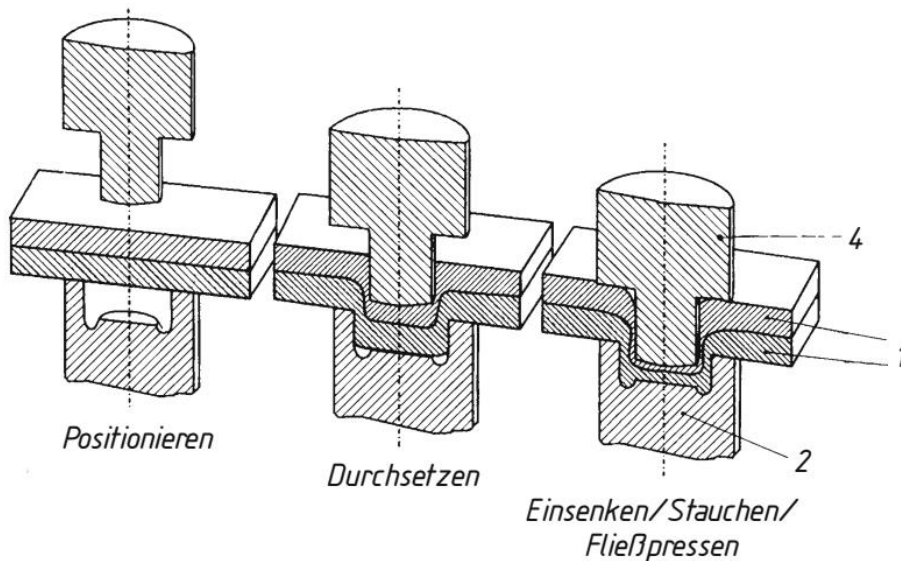


Abbildung 5.18: Einstufiges Durchsetzfügen ohne Schneidanteil mit starrer Matrize: 1: Fügeteile, 2: starre Matrize, 4: Stempel (Wittel, et al., 2011)

Ein Durchsetzfügen mit Schneidanteil, wie in Abbildung 5.19 gezeigt, ist dann nötig, wenn härtere Materialien verarbeitet werden. Dichtheit ist aufgrund des Schneidanteils nicht garantiert

(Wittel, et al., 2011).

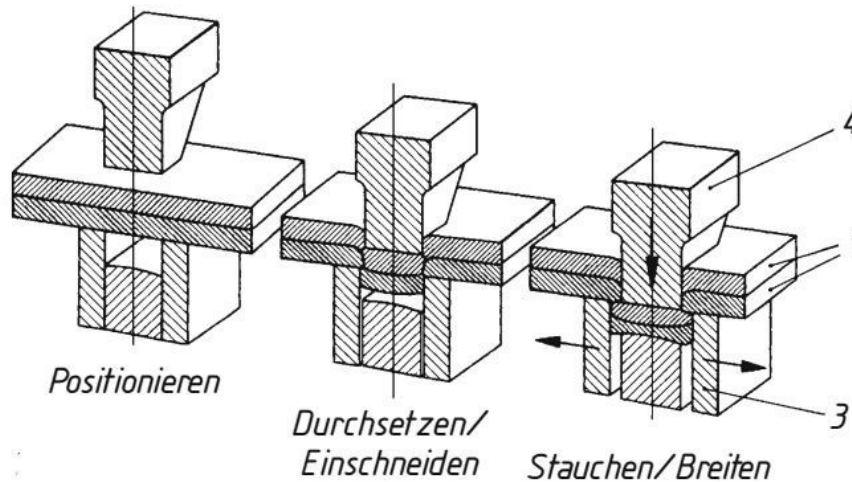


Abbildung 5.19: Einstufiges Durchsetzfügen mit Schneidanteil und beweglicher Matrize: 1: Fügebauteile, 2 bewegliche Matrize, 4: Stempel (Wittel, et al., 2011)

Aufgrund des geringen plastischen Verformungspotenzials von Holz ist Durchsetzfügen mit und ohne Schneidanteil bei Holzverbindungen auszuschließen, außer im Sinne einer großflächigen Fügung bereits während des Pressens von Formteilen.

Bei einer speziellen Form des Durchsetzfügens wird ein Fügebauteil vorgebohrt und anschließend der zweite Fügebauteil durch die Bohrung gepresst und plastisch verformt. Der Fügebauteil mit der Bohrung muss bei dieser Anwendung kein plastisches Verformungsvermögen besitzen (Wittel, et al., 2011).

Denkbar ist diese Form des Durchsetzfügens beim Herstellen von Holz-Metall Verbindungen. Dies mit dem Vorteil, dass kein zusätzliches Verbindungsmittel notwendig ist. Das Holz wird vorgebohrt und das Stahlblech plastisch verformt, sodass es durch die Bohrung gepresst und auf der anderen Seite einen Schließkopf bildet, ähnlich einer Ausführung als Hohl Niet. Das plastische Verformungsvermögen des Materials muss bei Schichtdicken der Holzprofile von 15 – 30 mm sehr groß sein. Der Schließkopf muss groß genug sein, um Verformungen des Holzes durch Quellen und Schwinden tolerieren zu können.

5-3 NIETE MIT EINSEITIGEM ZUGANG

5-3.1 ALLGEMEINES

Der Überbegriff für Niete mit einseitigem Zugang zur Verbindungsstelle lautet Blindniete. Jedoch wird unter diesem Begriff im allgemeinen Sprachgebrauch häufig der Zugdornniet verstanden. Diese Niete haben den Vorteil, dass Materialien verbunden werden können auch wenn nur eine Seite zugänglich ist.

5-3.2 NIETEN MIT VORBOHREN DER FÜGETEILE

5-3.2.1 Zugdornniet

Der Zugdornniet ist die üblichste Form der Blindniete und wird daher meist auch nur als Blindniet bezeichnet. Die Abbildung 5.20 zeigt die einzelnen Bestandteile des Zugdornnietes.

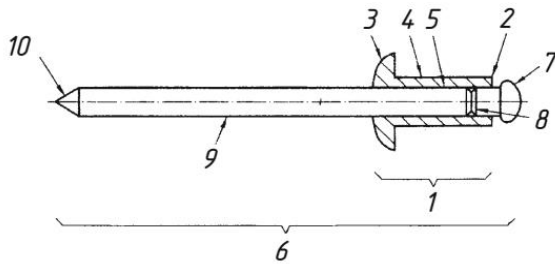


Abbildung 5.20: Elemente des Zugdornnietes: 1: Blindniethülse, 2: Schaftende, 3: Blindnietsetzkopf, 4: Blindnietenschaft, 5: Blindniethülsenbohrung, 6: Nietdorn, 7: Nietdornkopf, 8: Sollbruchstelle, 9: Nietdornschaft, 10: Nietdornende (Wittel, et al., 2011)

Der Applikationsvorgang umfasst die folgenden Arbeitsschritte: Zuerst wird ein Loch vorgebohrt, dann wird der Zugdornniet mit dem Nietdornkopf voran in das Loch gesetzt. Anschließend wird mit einem geeigneten Setzgerät, das mit einem Greif- und Zugmechanismus ausgestattet ist, der Blindnietdorn zurückgezogen. Dabei wird das Schaftende auf der nicht zugänglichen Seite der Verbindung so verformt, dass eine formschlüssige Verbindung hergestellt wird. Der Zugdorn besitzt eine Sollbruchstelle, der bei einer kontrollierten Zugkraft bricht und somit verhindert, dass die Fügемaterialien zu stark beansprucht werden. Abbildung 5.21 zeigt eine bereits hergestellte Verbindung.

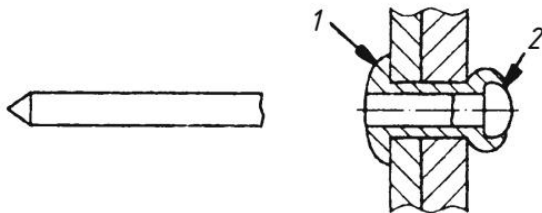


Abbildung 5.21: Zugdornniet nach der Applikation: 1: Blindnietsetzkopf, 2: Schließkopf (Wittel, et al., 2011)

Für die Niethülse werden Aluminium, Aluminiumlegierungen, Stahl, Kupfer, Nickel-Kupferlegierungen und Polyamid verwendet. Die Nietdorne sollten aus härterem Material als die jeweilige Niethülse gefertigt werden und bestehen üblicherweise aus Aluminiumlegierungen, Stahl und Bronze. Auch darf der Nietwerkstoff nicht zu hart sein um ein Durchziehen des Nietkopfes durch ein weiches Material wie Holz vor der Bildung des Schließkopfes zu vermeiden.

Blindniete mit Sollbruchdorn werden beispielsweise zur Fügung von hohlen Bauteilen, im Blechbau, Fahrzeugbau, Metallbau und für Aluminiumkonstruktionen eingesetzt. Zur Befestigung von Holzfassadenplatten auf entsprechender Unterkonstruktion werden Blindniete dann eingesetzt, wenn es nicht notwendig ist die Befestigung zu verbergen. Sie bieten außerdem den Vorteil, dass sie leicht zu verarbeiten sind. Wenn der Schließkopf nicht zugänglich ist, ist eine Prüfung der richtigen Schließkopfbildung nicht möglich. Dementsprechend ist das Verbindungssystem aus Fügeteilen und Niet entsprechend abzustimmen um eine zuverlässige Ausführung zu gewährleisten.

Genormte Zugdornniete haben einen Schaftenddurchmesser von 2,4 – 7,8 mm.

In Tabelle 5.4 sind die charakteristischen Tragfähigkeiten genormter Blindniete in [N] angeführt. Diese Kennwerte wurden über Scher- und Zugversuche laut ÖNORM EN ISO 14589 (2001) ermittelt. (Wittel, et al., 2011; Fundermax, 2015; Koerbitz, 2017; Rossmann, 2017).

Tabelle 5.4: charakteristische Tragfähigkeiten genormter Blindniete in [N] (Wittel, et al., 2011)

Werkstoff der Niethülse	DIN EN ISO	Mindestscherkräfte (einschnittig) darunter Mindestzugkräfte für Schaftdurchmesser d in mm							
		2,4	3	3,2	4	4,8	5	6	6,4
Reinaluminium (Al)	15975			460 540	720 760	1000 1400			
Aluminiumlegierung (AlA)	L ¹⁾ 15977	250 350	400 550	500 700	850 1200	1200 1700	1400 2000	2100 3000	2200 3150
	H 15978	350 550	550 850	750 1100	1250 1800	1800 2600	2150 3100	3200 4600	3400 4850
Aluminiumlegierung (AlA)	15981	250		500	850	1160			2050
	15982	350		670	1020	1420			2490
Stahl	15976			1150 1300	1700 1550	2400 2800			3600 4000
	15979 15980	650 700	950 1100	1100 1200	1700 2200	2900 3100	3100 4000	4300 4800	4900 5700
Kupfer (Cu)	16582		760	800	1500	2000			
	16583		950	1000	1800	2500			
nichtrostender austenitischer Stahl (A2)	15983		1800	1900	2700	4000	4700		
	15984		2200	2500	3500	5000	5800		
	16585			2000 2200	3000 3500	4000 4400			6000 8000
Nickel-Kupfer-Legierung (NiCu)	16584			1400 1900	2200 3000	3300 3700			5500 6800

¹⁾ Es sind zwei Festigkeitsklassen festgelegt: L (niedrig), H (hoch).

5-3.2.2 Hammerschlag-Blindniet

Der Hammerschlag-Blindniet wird auch Spreizniet genannt. Bei der Applikation, wie in Abbildung 5.22 ersichtlich, gilt folgendes Vorgehen:

- Zuerst werden die Fügeteile vorgebohrt. Je nach Erfordernis werden die Fügeteile an- oder durchgebohrt.
- Der Niet wird von einer Seite in das Bohrloch der zu fügenden Bauteile geführt.
- Dann wird mittels Hammer der Dorn eingeschlagen, der das gegenüberliegende Ende des Nietes, ähnlich einem Spreizdübel, aufweitet und somit bei einer Durchdringung der Fügeteile auf der anderen Seite den Schließkopf bildet. Durch eine Verdickung im Dorn kann dieser in der Hülse fixiert werden und das Loch verschließen. Wird der rückwärtige Bauteil nicht durchbohrt, wird der Schließkopf im Bauteil gebildet.

Diese Verbindung ist besonders gut bei Vibrationsbeanspruchungen geeignet. Der Hülsendurchmesser des Niets beträgt ca. 5 mm (Reca Norm, 2017; Koerbitz, 2017).

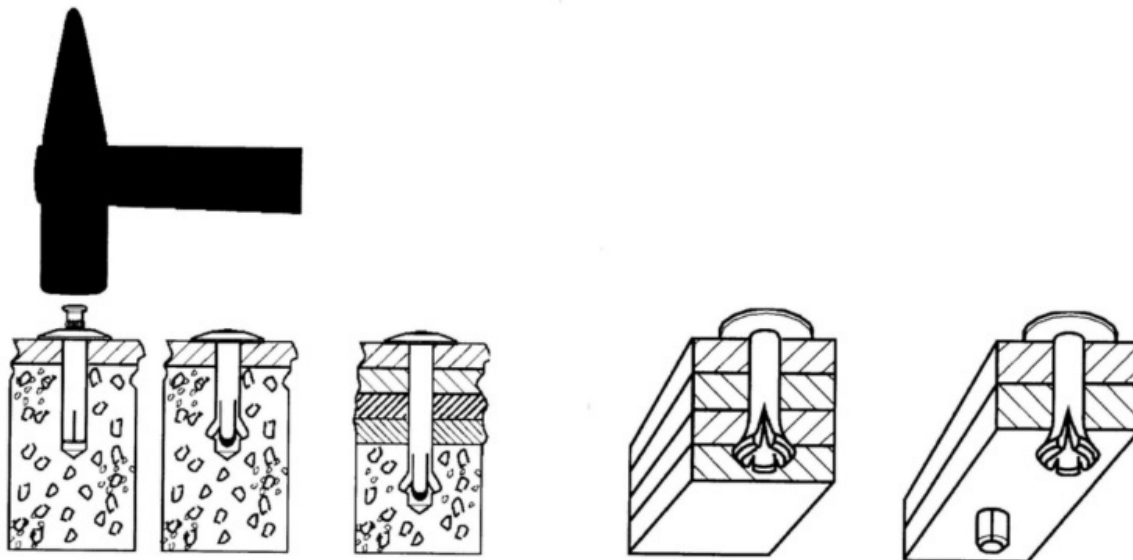


Abbildung 5.22: Setzvorgang bei einem Hammerschlag- Blindniet (Reca Norm, 2017)

In Tabelle 5.5 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines Hammerschlag-Blindnietes von Bralo mit einem Großkopf, einer Aluminiumhülse und einem Edelstahldorn angeführt.

Tabelle 5.5: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Hammerschlagnieten (Bralo, 2015)

Schaftnenndurchmesser [mm]	Scherzugtragfähigkeit [kN]	Kopfzugtragfähigkeit [kN]
4,8	3,5	1,9

5-3.2.3 Spreiz-Blindniet

Spreiz-Blindniete werden wie Zugdornniete verarbeitet. Wie in Abbildung 5.23 gezeigt ist die Nietdornhülse jedoch so präpariert, dass sie sich beim Herausziehen des Dorns am Ende in vier Teile aufspreizt. Dadurch entsteht eine große Oberfläche an der Schließkopfseite. Somit können größere Bohrlochtoleranzen ausgeglichen werden und die Fügmaterialien werden geringer auf Druck, bzw. Querdruck beansprucht. Daher ist dieser Niettyp besonders für weichere Materialien wie Holz geeignet. Die Durchmesser dieses Niettyps liegen zwischen 3,2 und 6,4 mm (BVM-Technik, 2017; Bralo, 2017).

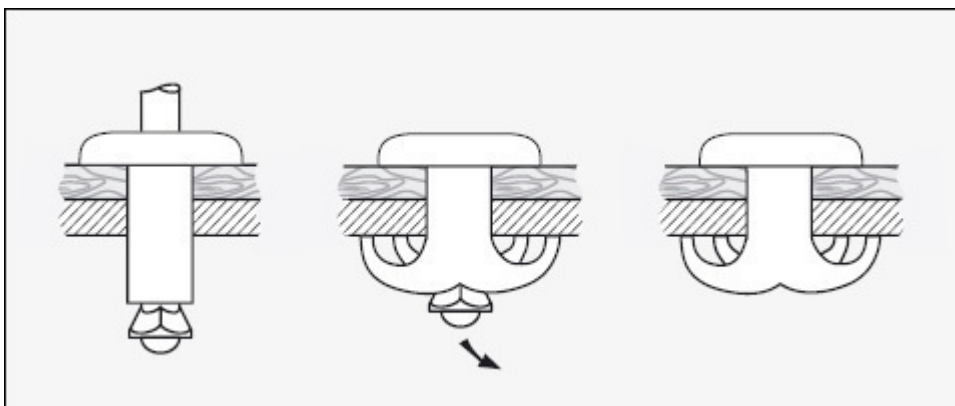


Abbildung 5.23: Setzvorgang bei einem Spreiz-Blindniet (BVM-Technik, 2017)

In Tabelle 5.6 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines Spreiz-Blindnietes von Bralo mit einem Flachrundkopf, einer Aluminiumhülse und einem Stahldorn angeführt.

Tabelle 5.6: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Spreiz-Blindnieten (Bralo, 2015)

Schaftnenndurchmesser [mm]	Scherzugtragfähigkeit [kN]	Kopfzugtragfähigkeit [kN]
3,2	1,00	1,20
4,0	1,20	1,40
4,8	1,80	2,00
5,0	2,00	2,10
6,4	2,45	3,50

5-3.2.4 Presslaschenniet

Der Presslaschenniet ist dem Spreiz-Blindniet hinsichtlich seiner Verarbeitung und seiner Anwendungsmöglichkeiten sehr ähnlich. Durch den Setzvorgang (Abbildung 5.24) wird die Niethülse an der Schließkopfseite zu drei Laschen verformt und bietet somit einen großen Auflagebereich. Dies reduziert einerseits örtlich hohe Beanspruchungen und gleicht andererseits größere Toleranzen aus. Beides bietet bei der Verarbeitung von weichen Materialien wie Holz oder Kunststoff Vorteile. Der Durchmesser beträgt 4 – 5 mm (Bralo, 2017).

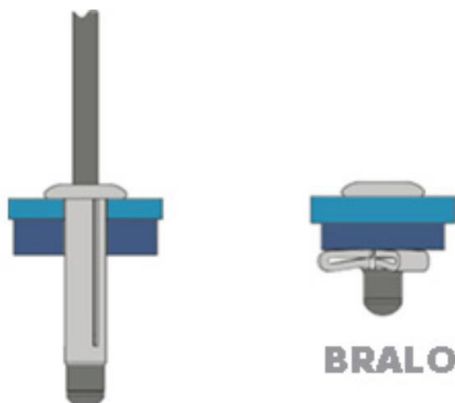


Abbildung 5.24: Setzvorgang bei einem Presslaschenniet (Bralo, 2017)

In Tabelle 5.7 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines Spreiz-Blindnietes von Bralo mit einem Flachrundkopf, einer Aluminiumhülse und einem Aluminiumdorn angeführt.

Tabelle 5.7: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Presslaschennieten (Bralo, 2015)

Schaftnenndurchmesser [mm]	Scherzugtragfähigkeit [kN]	Kopfzugtragfähigkeit [kN]
4,0	0,73	0,95
4,8	0,90	1,15

5-3.2.5 Becherniet

Der Becherniet (Abbildung 5.25) bietet den Vorteil, dass er im Vergleich zu herkömmlichen Zugdornnieten nach dem Setzen eine dichte Verbindung herstellt. Dies wird über eine becherförmige Niethülse erreicht, die den Zugdorn umschließt und somit ein Herausfallen des Nietdornendes verhindert.

Der Becherniet wird im Behälter- und Apparatebau sowie in der Bau- und Automobilindustrie verwendet. Der Durchmesser beträgt 3 – 5 mm (Würth, 2016).

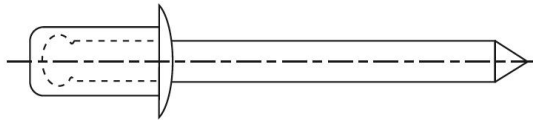


Abbildung 5.25: Becherniet (Würth, 2016)

In Tabelle 5.8 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines Becherniets von Bralo mit einem Flachrundkopf, einer Aluminiumhülse und einem Edelstahldorn angeführt.

Tabelle 5.8: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Bechernieten (Bralo, 2015)

Schaftnennndurchmesser [mm]	Scherzugtragfähigkeit [kN]	Kopfzugtragfähigkeit [kN]
3,2	1,10	1,45
4,0	1,60	2,20
4,8	2,20	3,10

5-3.2.6 Rillierter Blindniet

Bei diesem speziellen Zugdornniet ist die Niethülse profiliert. Wie in Abbildung 5.26 gezeigt muss das Bohrloch nicht durchgebohrt sein. Der Zugdorn komprimiert die Niethülse beim Herausziehen, wodurch sich die Niethülse verbreitert und die Rillen in die Bohrlochwandungen gepresst werden. Meist wird er in der Möbelherstellung und Bauindustrie zur Befestigung von Metall auf weichen Materialien, wie Holz, verwendet. Der rillierte Blindniet ist in Durchmessern von 3 – 5 mm erhältlich (Bralo, 2017).

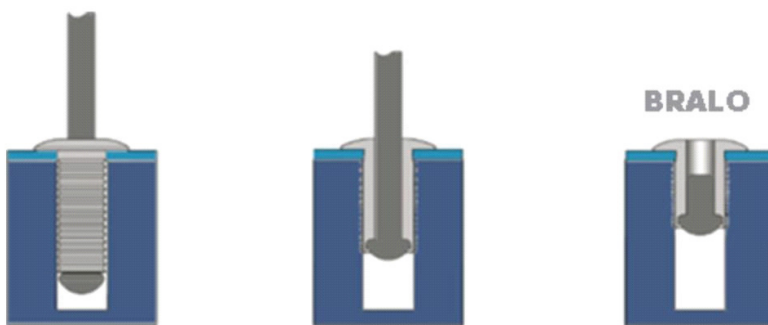


Abbildung 5.26: Setzvorgang bei einem rillierten Blindniet (Bralo, 2017)

In Tabelle 5.9 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines rillierten Blindnietes von Bralo mit einem Flachrundkopf, einer Aluminiumhülse und einem Stahldorn angeführt.

Tabelle 5.9: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Blindnieten rilliert (Bralo, 2015)

Schaftnennndurchmesser [mm]	Scherzugtragfähigkeit [kN]	Kopfzugtragfähigkeit [kN]
3,2	0,7	1,1
4,0	0,9	1,4
4,8	1,6	2,6

Gegenüber anderen Blindnieten kann der rillierte Blindniet seinen Vorteil beim Einsatz zur Fügung von dünnwandigen Profilen nicht geltend machen, da beide Fügeteile durchgebohrt werden müssen, um eine feste Verbindung auszubilden.

5-3.2.7 Durchziehniet

Beim Durchziehniet besitzt der Dorn keine Sollbruchstelle. Stattdessen wird er komplett durch die Niethülse gezogen (Abbildung 5.27). Dabei verbleibt eine Öffnung in der Verbindung, durch die beispielsweise Leitungen geführt werden können. Der Dorn ist oftmals Teil der Setzvorrichtung und die Niethülsen sind am Dorn magaziniert, wodurch hohe Setzgeschwindigkeiten erreicht werden können. Gängige Schaftdurchmesser des Durchziehnietes sind 2 – 6 mm (Wittel, et al., 2011).

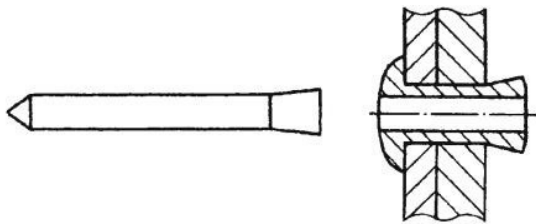


Abbildung 5.27: Durchziehniet (Wittel, et al., 2011)

In Tabelle 5.10 ist zur Veranschaulichung der charakteristischen Tragfähigkeiten das Beispiel eines Durchziehnietes von Bralo mit einem Flachrundkopf und einer Aluminiumhülse angeführt.

Tabelle 5.10: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Durchziehnieten (Bralo, 2015)

Schaftnennendurchmesser [mm]	Scherzugtragfähigkeit [kN]	Kopfzugtragfähigkeit [kN]
3,2	0,5	–
4,0	0,7	–
4,8	1,0	–

Durch die Ausbildung eines Hohlquerschnittes des Nietes nach dem Setzen, bietet der Durchziehniet ähnliche Vorteile wie der Hohl Niet. Spitzenspannungen werden durch die Nachgiebigkeit des Nietschaftes im Vergleich zu Vollnieten verringert. Durch die Nachgiebigkeit des Nietschaftes verhält sich die Verbindung duktil und somit vorhersehbar. Wird die konische Ausbildung des Nietdorns am Schließkopfe entsprechend ausgeführt, kann durch den Durchziehvorgang die Niethülse derart aufgeweitet werden, dass etwaige Bohrlochtoleranzen kompensiert werden können und noch keine Spaltgefahr für den Holzbauteil besteht. Durch den oben beschriebenen Setzvorgang des Niets ist eine Automatisierung im Holzbau möglich.

Für den Einsatz im Holzbau wird es notwendig sein geeignete Maßnahmen zu setzen um ein Querdruckversagen an der Schließkopfseite auszuschließen.

5-3.2.8 Der demontierbare Durchziehniet

Der demontierbare Durchziehniet ist in Abbildung 5.28 dargestellt. Die Niethülse besitzt außen ein Gewinde. Der Nietdorn besitzt an einem Ende eine Sechskantform. Beim Herausziehen des Nietdorns wird das Gewinde in die Fügeteile gepresst und durch die Sechskantform die Hülse aufgeweitet und innenseitig derart verformt, dass später der Niet wieder mit einem Sechskantschlüssel gelöst werden kann. Übliche Durchmesser sind 3 – 4 mm (Koerbitz, 2017).

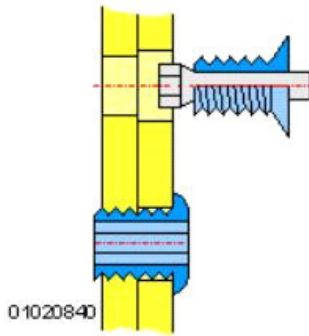


Abbildung 5.28: Durchziehniet demontierbar (Koerbitz, 2017)

5-3.2.9 Sprengniet

Nach dem Vorbohren wird der Sprengniet eingeführt. Dann wird der Niet mit einem Brenner oder Ähnlichem erwärmt bis dadurch die Sprengladung im Hohlraum am Ende des Nietes zündet und den Niet, wie in Abbildung 5.29 ersichtlich, an der Rückseite aufweitet. Dadurch entsteht eine flüssigkeits- und gasdichte Verbindung. Früher wurde der Sprengniet im Flugzeug- und Stahlbau eingesetzt. Besonders für schnelle Reparaturen wurde er geschätzt, da die zu verbindenden Bauteile nicht demontiert werden mussten. Der Sprengniet wurde heute von anderen unproblematischeren Blindnieten abgelöst und ist kaum noch in Verwendung (Wikipedia, 2016; Koerbitz, 2017).

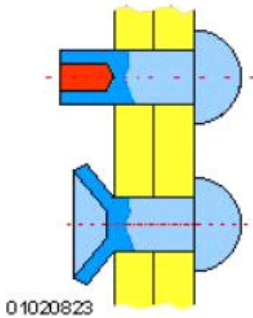


Abbildung 5.29: Sprengniet (Koerbitz, 2017)

KAPITEL 6: NIETVERBINDUNGEN IM HOLZBAU

6-1 EINLEITUNG

Obwohl Nietverbindungen hauptsächlich im Stahlbau eingesetzt werden und dort, wie in Kapitel 5 übersichtlich dargestellt, eine Vielzahl an Varianten hervorgebracht haben, sind auch im Holzbau Nietverbindungen in speziellen Bereichen im Einsatz oder im Einsatz gewesen. Dieses Kapitel wird nun die Erfahrungen mit Nietverbindungen im Holzbau hinsichtlich ihrer Herstellung, Dimensionierung und ihres Tragverhaltens in den einzelnen Bereichen erläutern.

In den Anfängen des Flugzeugbaues war es üblich neben Metall auch Holzbauteile für die Tragstruktur einzusetzen. Neben Klebverbindungen waren auch Nietverbindungen zur Fügung dieser Holzbauteile gängig. Das Bestreben des Flugzeugbaus sehr leichte Konstruktionen herzustellen, führte früh zu Bemessungsregeln, um die Bauteile und deren Anschlüsse zu optimieren.

Vor der Erfindung von wasserunlöslichen Harzen, war es im Schiff- und Bootsbau zur Befestigung der oftmals sehr dünnen Außenhaut, wegen mangelnder Alternativen, üblich Kupferniete zu verwenden. Solche Verbindungen wurden auf Grundlage von Erfahrungswerten ohne einheitliche Bemessungsregeln hergestellt.

Holzfassadenplatten, die hinsichtlich ihrer Stärke, jedoch nicht ihrem Aufbau, dem von Formpressprofilen ähneln, werden mit Nietverbindungen an einer Unterkonstruktion befestigt. Die Bemessung der Anschlüsse erfolgt auf Grundlage der Zulassungen vom Hersteller und ist speziell auf die Anwendung zur Befestigung von Fassadenplatten ausgelegt.

Leijten stellt in seiner Abschlussarbeit auf der TU in Delft eine alternative Verbindung zu herkömmlichen Stabdübelverbindungen vor. Er hat eine Rohrnietverbindung entwickelt, die zum Fügen von BSH- oder Vollholzbauteilen dient. Seine Erkenntnisse können auch für Nietverbindungen zur Fügung von Formpressprofilen nützlich sein.

6-2 HOLZFLUGZEUGBAU

6-2.1 ALLGEMEINES

Im historischen Flugzeugbau war es üblich Holz in Form von Sperrholzplatten für die Tragstruktur zu verwenden. Um diese dünnen Profile zu fügen wurde damals auf Hohlните aus Messing, Aluminium oder Duraluminium gesetzt. Duraluminium ist eine Aluminiumlegierung mit besonders hoher Festigkeit und Härte. Die Hohlните bieten den Vorteil großer Gewichtseinsparungen im Vergleich zu Vollnieten oder massiven Verbindungsschrauben mit Schraubenkopf und Mutter. Zudem ermöglichen sie ein höheres Maß an Duktilität.

Große lokale Lasteinleitungen, beispielsweise bei Zugverstreben, die an Sperrholz angeschlossen werden, können nicht direkt an das Sperrholz weitergeleitet werden. Solche Anschlüsse sind in Abbildung 6.1 gezeigt. Die Beanspruchung wird über eine Öse an ein Blech, vorzugsweise aus Duraluminium, weitergeleitet. Dieses Blech überträgt die Kraft auf einer möglichst großen Verteilungsfläche an einen oder mehrere Hohlните, die die Last über Abscheren an das Sperrholz weitergeben (Gentzcke, 1924).

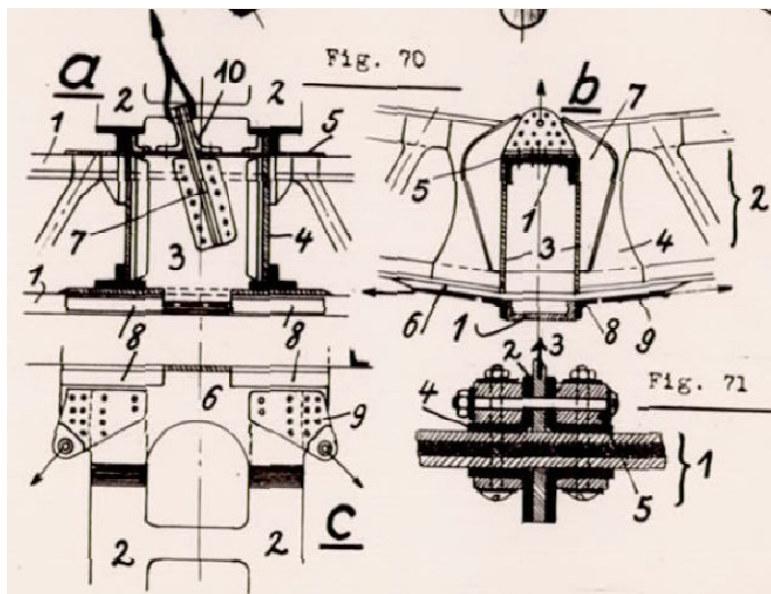
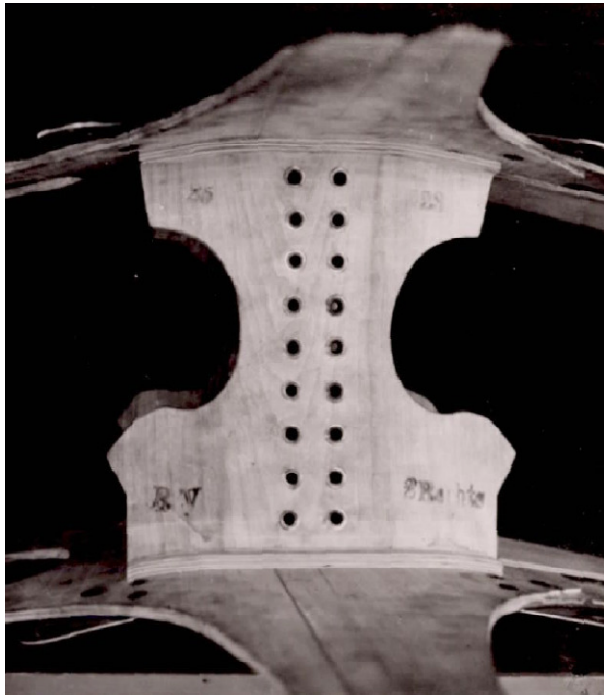


Abbildung 6.1: Sperrholzverbindungen mit Hohlrieten im Holzflugzeugbau (Gentzcke, 1924)

Hohlriete können im Vergleich zu Vollrieten mit einem größeren Durchmesser bei gleichem Gewicht ausgeführt werden. Dies vergrößert die Lochleibungsfläche und verringert somit die Spannungen im Holz. Auch Spitzenspannungen werden durch die Nachgiebigkeit des Hohlriets im Vergleich zu Vollrieten verringert (Gentzcke, 1924).

Die Hohlriete hatten einen Außendurchmesser von 7–20 mm. Der Hohlriet besteht aus einem Metallrohr, das auf beiden Seiten auf einer Unterlegscheibe umgebördelt wird. Aufgrund der Herstellungsweise und der notwendigen großen Anzahl an Verbindungsmitteln war es im Vergleich zu geklebten Verbindungen ein großer Aufwand solche Verbindungen herzustellen. Für einen effizienten Einsatz dieser Nietverbindungen heutzutage ist es notwendig alternative Setzverfahren zu entwickeln, um eine schnellere und automatisierte Montage der Nietverbindung zu erreichen (Elmendorf, 1920; Ursinus, 1920; Gentzcke, 1924).

Elmendorf hat eine Reihe von Versuchen an Furnierholz in Dicken von 0,1 Zoll (2,54 mm) bis 0,5 Zoll

(12,7 mm) mit 34 verschiedenen Holzarten, unterschiedlicher Anzahl der einzelnen Lagen und deren Orientierung zueinander, durchgeführt. Der Großteil der Prüfkörper wurde aus dreischichtigem Sperrholz hergestellt. Unter anderem wurden Holz-Holz und Holz-Metall Zuglaschenstöße mit auf Abscheren beanspruchten Rohrnieten getestet. Die Rohrniete wurden in einer Reihe normal zur Belastungsrichtung angeordnet. Der Achsabstand der Niete untereinander entsprach mindestens dem doppelten Außendurchmesser des Rohrnietes. Diese Zugversuche haben gezeigt, dass ein Wirkungsgrad der Verbindung über 50 % schwer zu erreichen ist. Für Nietverbindungen mit mehreren Reihen ist ein etwas höherer Wirkungsgrad zu erwarten, wenn die Niete versetzt angeordnet werden (Elmendorf, 1920). Da der Achsabstand der Rohrniete zweimal dem Außendurchmesser des Rohrnietes entsprach, liegt es nahe dass hier der Nettoquerschnitt versagt hat, der bezogen auf den Bruttoquerschnitt nur halb so groß ist. Dies würde den von Elmendorf maximal erreichten Wirkungsgrad der Verbindung von 50 % erklären. In diesem Fall kann man durch Vergrößerung des Abstandes der Rohrniete und daraus folgender Vergrößerung des Nettoquerschnittes höhere Wirkungsgrade erreichen.

6-2.2 LOCHLEIBUNGSFESTIGKEIT

Hinsichtlich ihres Aufbaus sind die im historischen Flugzeugbau verwendeten sogenannten Normalsperrhölzer aus Buche oder Birke Formpressprofilen am ähnlichsten. Normalsperrholz wurde üblicherweise in Stärken von 0,6 mm (3-lagig) bis 16,0 mm (11-lagig) symmetrisch zur Mittelage mit Furnierdicken von 0,20 – 1,65 mm hergestellt. Die Abhängigkeit der Furnierstärke von der Plattenstärke ist in Abbildung 6.2 ersichtlich. Die Furnierlagen wurden abwechselnd 90° zueinander angeordnet. Je nach Erfordernis wurden die Querlagen dicker ausgeführt um in der Scheibenebene nahezu gleiche Zugfestigkeiten in Faserrichtung und normal zur Faserrichtung der Decklagen zu erhalten. Zur Verleimung wurde Tego-Leimfilm und Kaurit verwendet.

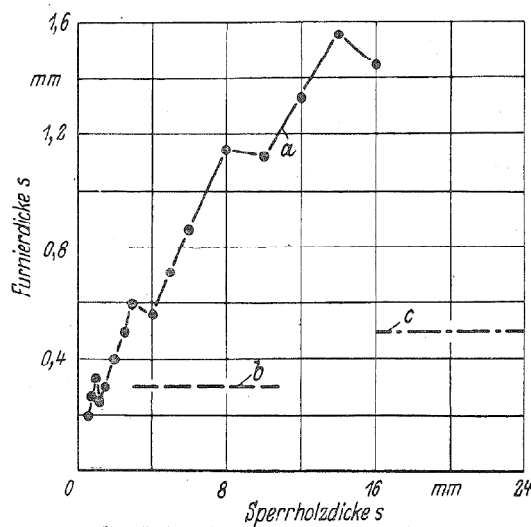


Abbildung 6.2: *Furnierdicke von Sperrholz und Vielschichtsperrholz in Abhängigkeit der Plattendicke: a: Normalsperrholz aus Buche oder Birke; b: Vielschichtsperrholz mit einer Furnierstärke von 0,3 mm; c: Vielschichtsperrholz mit einer Furnierstärke von 0,5 mm (Winter, 1942)*

Zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit dieser Sperrhölzer wurden jedoch nicht genügend Versuche durchgeführt. Stattdessen wurden die Lochleibungsfestigkeiten von Vielschichtsperrholz aus Buche mit Furnierstärken von 0,5 mm verwendet, die eine ausreichende Annäherung geboten haben. Der Lochleibungs-Formänderungsverlauf dieser Vielschichtsperrhölzer ist in Abbildung 6.3 ersichtlich.

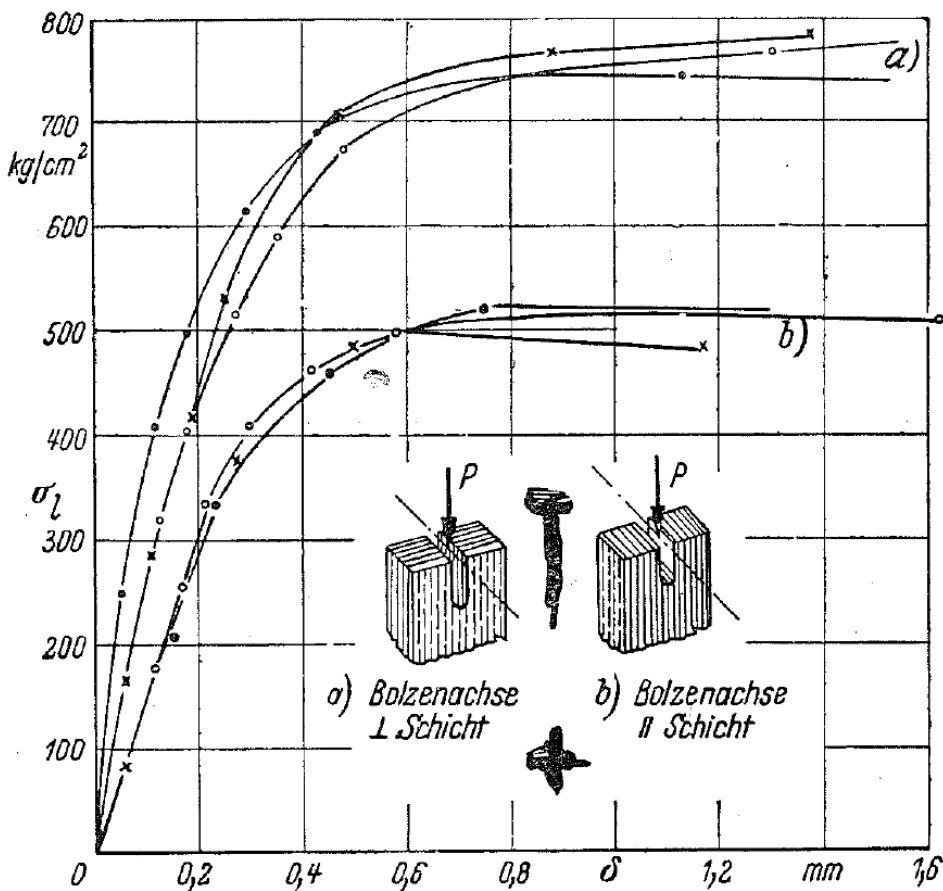


Abbildung 6.3: Lochleibungs-Formänderungsverlauf von Vielschichtsperrholz aus Buche mit 0,5 mm starken Furnieren (Winter, 1942)

Diese Verläufe wurden durch Druckversuche an Vielschichtsperrhölzern, wie in Abbildung 6.3 dargestellt, ermittelt. Die Belastung wurde durch einen Bolzen mit einem Durchmesser von 12 mm und einer Länge von 10 mm in die Probe eingeleitet. War die Bolzenachse normal auf die Schichtung orientiert, gemäß Fall a) in Abbildung 6.3, kommt es vor Versagen der Probe durch Lochleibung zu einer starken Verformung bei geringer Laststeigerung. Daher wurde die Lochleibungsfestigkeit von Vielschichtsperrholz für den Fall a) mit einer maximalen Lochverformung von 0,6 mm begrenzt, wo die oben beschriebenen starken Verformungen beginnen. Demzufolge wurde eine Lochleibungsfestigkeit von 70 N/mm² bei einer Rohdichte von 800 kg/m³ unabhängig vom Winkel zwischen Last- und Faserrichtung der Decklagen und einer Bolzenachse orthogonal auf die Plattenebene festgelegt. War die Bolzenachse parallel zur Schichtung orientiert, was dem Fall b) in Abbildung 6.3 entspricht, stellte sich der Bruch durch ein Aufspalten der Probe dar. Die Lochleibungsfestigkeit für den Fall b) entspricht 50 N/mm². Für Normalsperrholz mit Furnierstärken über 0,5 mm ist mit einem Abfall der Lochleibungsfestigkeit zu rechnen (Winter, 1942; Bittner, 1951).

Diese Lochleibungsfestigkeitswerte sind unzureichende Anhaltspunkte für die Dimensionierung eines Anschlusses mit Formpressprofilen, bei denen die Anzahl der Querlagen geringer und die einzelnen Furnierlagen stärker sind.

6-2.3 MINDESTABSTÄNDE DER NIETACHSEN

Für den Abstand der Hohlните untereinander und zum Rand der Holzbauteile gibt es unterschiedliche Angaben in den Quellen. Laut Elmendorf wird ein Mindestabstand zwischen den Achsen der Hohlните von zweimal dem Außenschafstdurchmesser des Hohlните gefordert. Gentzcke empfiehlt einen Achsabstand von dreimal dem Außenschafstdurchmesser zwischen den Niete und einen Achsabstand zum Rand des Holzes von mindestens zweimal dem Außenschafstdurchmesser des Hohlните. Laut

Elmendorf ist für die Tragfähigkeit der Nietverbindung weniger die Größe des einzelnen Nietes als vielmehr der Abstand der Verbindungsmittel untereinander maßgebend. Das deutet auf ein sprödes Versagen durch Scherbruch hin, da der Abstand der Verbindungsmittel trotz Mindestabstände zu gering ist, um ein Versagen der Fügeiteile auf Lochleibung in Kombination mit einem eventuellen Versagen des Nietes auf Fließen sicherzustellen (Elmendorf, 1920; Gentzcke, 1924).

Winter stellt 1944 Richtlinien für den Holzflugzeugbau auf, in denen er unter anderem die kritischen Randabstände von Bolzen für unterschiedliche Holzwerkstoffe anführt. Die Tabelle 6.1 zeigt einen Ausschnitt dieser Randabstände und Abbildung 6.4. die dazugehörigen Abstandsbezeichnungen. Der Aufbau von Normalsperrholz aus Buche wurde bereits im Kapitel 6-2.2 näher erläutert. Die Achse des Verbindungsmittels ist aufgrund der geringen Stärke von Formpressprofilen im Allgemeinen orthogonal zur Plattenebene. Werden die Bedingungen $(c/d)_{krit}$ und $(a/d)_{krit}$ eingehalten, kann von einem duktilen Versagen der Verbindung durch Lochleibungs- und/oder Nietversagen ausgegangen werden. Das Verhältnis $(a/c)_{krit}$ gibt an wie die Verbindung bei Unterschreitung einer der beiden oben genannten Bedingungen versagt. Ist das tatsächliche Verhältnis a/c kleiner als $(a/c)_{krit}$ ist ein Zugbruch im Zugquerschnitt zu erwarten, ist das tatsächliche Verhältnis a/c größer als $(a/c)_{krit}$ ist ein Scherbruch im Scherquerschnitt zu erwarten. In Abbildung 6.4 sind der Zug- und Scherquerschnitt ersichtlich (Winter, 1944; Bittner, 1951).

Tabelle 6.1: Kritische Randabstände bei Zuglochleibungsbeanspruchung von Normalsperrholz aus Buche (Winter, 1944)

Beanspruchungsrichtung	$(c/d)_{krit}$	$(a/d)_{krit}$	$(a/c)_{krit}$
Bolzenachse orthogonal zur Plattenebene	6,00	2,90	0,48
Bolzenachse parallel zur Plattenebene	14,00	2,30	0,16

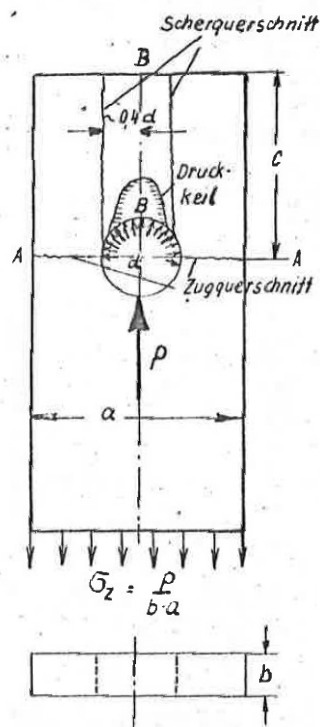


Abbildung 6.4: Abstandsbezeichnungen für Zuglochleibung (Winter, 1944)

Somit folgen daraus für Normalsperrholz aus Buche ein Mindestabstand eines orthogonal zur Plattenebene eingebrachten Verbindungsmittels zum beanspruchten Ende vom 6-fachen des Außendurchmessers des Verbindungsmittels und ein Mindestabstand zum unbeanspruchten Rand vom 1,5-fachen des Außendurchmessers des Verbindungsmittels. Die Mindestabstände eines parallel zur Plattenebene eingebrachten Verbindungsmittels entsprechen dem 14-fachen des Außendurchmessers des Verbindungsmittels zum beanspruchten Ende und dem 1,2-fachen des Außendurchmessers des Verbindungsmittels zum unbeanspruchten Rand (Winter, 1944).

6-2.4 SPALTUNG DES HOLZES

Spaltversuche wurden von Elmendorf durchgeführt. Dazu wurden quadratische Proben von dreischichtigen Furniersperrhölzern mit einer Stärke von 0,1 Zoll (2,54 mm) bis 0,5 Zoll (12,7 mm) und einer Seitenlänge von 3,25 Zoll (82,6 mm) verwendet. Abbildung 6.5 zeigt den Versuchsaufbau.



Abbildung 6.5: Spaltversuch (Elmendorf, 1920)

Dabei wird ein Speer mit einer definierten Masse aus immer größerer Höhe auf die Probe fallen gelassen, bis die Probe durch den Speer gespalten wird. Die Summe dieser einwirkenden Energie wird mit Gl. (6.1) beschrieben.

$$E = m_s \cdot g \cdot \sum_{i=1}^n h_i \quad (6.1)$$

mit:

- E Energie in J bzw. Nm
- m_s Masse des Speeres und der Stange in kg
- g Erdbeschleunigung (9,81 m/s²)
- h_i Höhe der Spitze des Speeres vor dem i-ten Fall in m
- n Fallanzahl des Speeres bis zur Spaltung der Probe

Dieses Energieaufnahmevermögen wird dann in eine Verhältniszahl umgerechnet mit dem Basiswert von Birkensperrholz mit drei Furnierlagen. Diese Größe kann nicht zum Design von Verbindungen herangezogen werden, sondern dient zum Vergleich unterschiedlicher Holzarten hinsichtlich ihres Spaltverhaltens. Die Versuchsergebnisse hängen stark von der Haltekraft des Klebstoffes ab. Zu dieser Zeit war es üblich Klebstoffe aus Blutalbumin und Kasein zu verwenden, die heute größtenteils von synthetischen Klebstoffen abgelöst worden sind, somit sind diese Versuchsergebnisse nicht aussagekräftig für heute hergestelltes Furniersperrholz. Die Tabelle 6.2 zeigt das Energieaufnahmevermögen von Furniersperrholz einzelner Holzarten im Vergleich zu Birkensperrholz, das im Vergleich zu anderen Holzarten sehr gut abschneidet (Elmendorf, 1920).

Tabelle 6.2: Spaltwiderstand von dreischichtigen Sperrholzplatten verschiedener Holzarten bezogen auf Birkensperrholz (Elmendorf 1920)

Holzart	Versuchs- anzahl	Spalt- widerstand %	Holzart	Versuchs- anzahl	Spalt- widerstand %
Bergahorn	326	77	Magnolie	120	85
Silberahorn	240	106	Mammutbaum	210	48
Zuckerahorn	404	114	Marribaum	364	80
Gelbbirke	400	100	Schwarznuß	220	77
Buche	240	94	Palmlilie	66	14
gewöhnliche Douglasie	374	63	Pappel	240	85
amerikanische Weißeiche	390	85	Tanne	48	60
Roteiche	230	70	westamerikanische Hemlocktanne	238	63
Schwarzzeiche	240	3	Toona	50	90
Weißesche	400	71	Tulpenbaum	330	51
Sitkafichte	224	78	Wassertupelobaum	160	60
Gummibaum	70	55	amerikanische Ulme	320	75
Kastanie	80	74	Felsenulme	130	99
Diggerkiefer	80	31	westindische Zedrele	230	60
Zuckerkiefer	140	47	Zürgelbaum	160	84
Kirsche	230	80	echte Sumpfyzypresse	148	49
Linde	400	63	–	–	–

6-2.5 FLIEßEN DES VERBINDUNGSMITTELS

Trayer bringt 1928 einen Bericht zu seinen Versuchen zur Tragfähigkeit von Holz mit massiven Bolzen und Hohlschrauben heraus. Für die Tests wurden die Holzproben mit einem großen Stift an einer beweglichen Prüfmaschine befestigt, dann wurde das zu prüfende Verbindungsmittel durch das Bohrloch der Holzprobe geführt und je nach Versuchsaufbau ein- oder beidseitig mit einem Riemen fixiert, sodass bei Bewegungen der Prüfmaschine das Verbindungsmittel auf Abscheren belastet wurde. Die Holzprobe wurde in Faserrichtung, normal zur Faserrichtung und in einem beliebigen Winkel zur Faserrichtung belastet. Getestet wurde Fichten- und Eschenvollholz in Dicken von 1–3 Zoll (25–76 mm). Die massiven Bolzen hatten einen Durchmesser von 4–13 mm und eine Länge von 25–152 mm. Die eingesetzten Hohlschrauben sind in Abbildung 6.6 dargestellt.

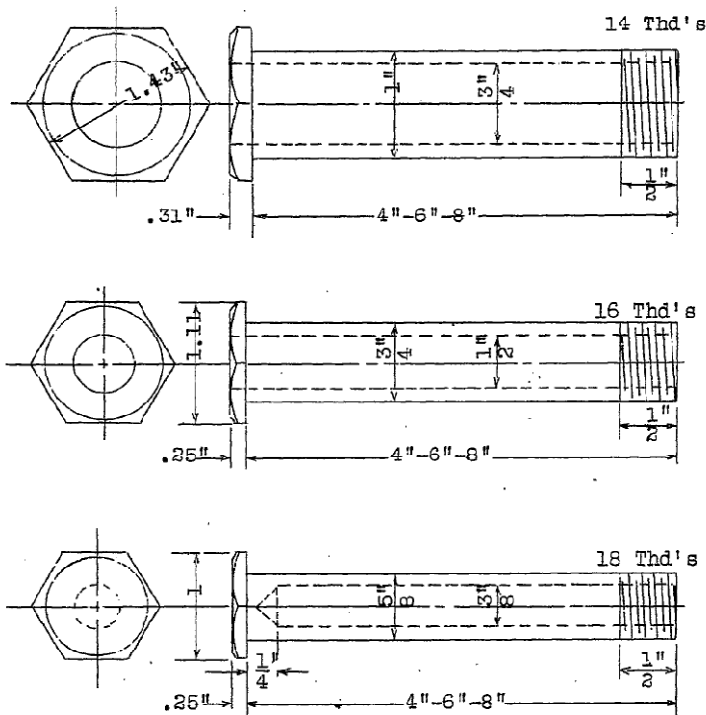


Abbildung 6.6: Dimension der Hohlschrauben in Zoll (Trayer, 1928)

Die Schaftaußendurchmesser dieser Hohlschrauben betragen 16–25 mm und wiesen eine Länge von 100–200 mm auf. Der Schwerpunkt der Versuche lag auf massiven Bolzen, aber es wurden auch einige Tests mit Hohlschrauben durchgeführt. Aus seinen Versuchen geht hervor, dass die Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels auf Abscheren sehr gut korreliert mit seiner Schlankheit, dem Verhältnis Länge zu Durchmesser l/d .

In Abbildung 6.7 entsprechen die unteren Kurven der elastischen Grenzspannung für massive Bolzen und Hohlschrauben mit unterschiedlicher Wandstärke für den oben angeführten Versuchsaufbau. Die elastische Grenzspannung ist jene Spannung bis zu der ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung für die Verbindung besteht. Die Spannungsverläufe für massive Schrauben und Hohlschrauben gleichen sich. Mit geringerer Wandstärke bei gleichem Durchmesser nimmt die elastische Grenzspannung ab. Betrachtet man jedoch die oberen Effizienzkurven, in die der Materialbedarf der Schrauben einfließt, haben Hohlschrauben aufgrund des größeren Trägheitsmomentes bei gleicher Querschnittsfläche bezogen auf den Materialbedarf einen größeren relativen Wirkungsgrad.

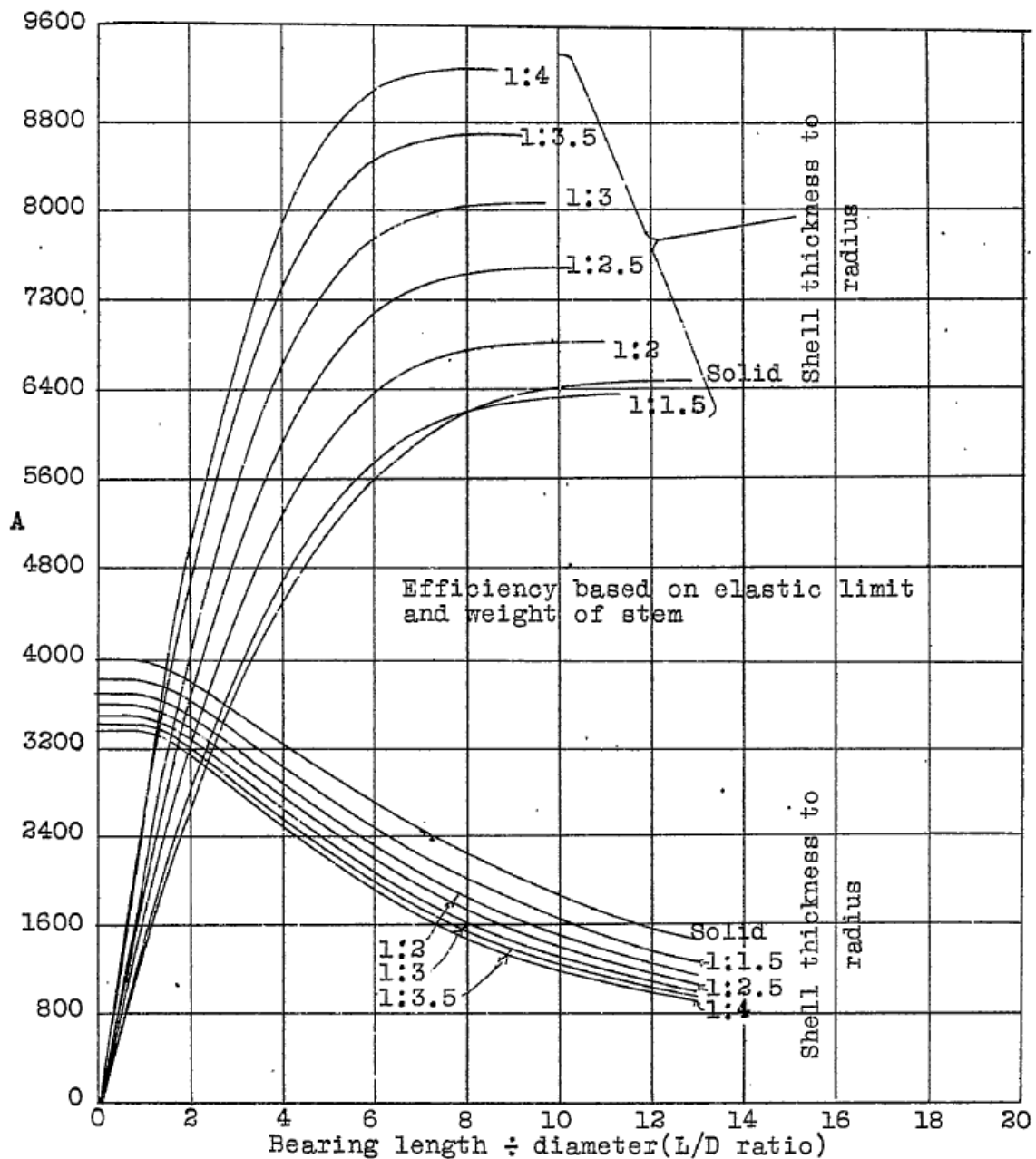


Abbildung 6.7: Belastungs- und Wirkungsgradkurven für hohle Flugzeugbolzen; es gilt: A : Elastische Grenzspannung in Pfund/Zoll² und Ordinaten für relative Effizienzkurven; 800 Pfund/Zoll² = 5,516 N/mm² (Trayer, 1928)

Versuche mit Hohlrauben normal zur Faserrichtung wurden nicht durchgeführt. Diesbezüglich wurde von einem ähnlichen Tragverhalten wie bei massiven Bolzen ausgegangen. Für die Berechnung der aufnehmbaren Belastung in einem Winkel zur Belastung wurde die Hankinson-Gleichung herangezogen. Somit kann die Tragfähigkeit von Verbindungen mit Hohlrauben entsprechend jener von stiftförmigen Verbindungsmitteln auf Abscheren bestimmt werden (Trayer, 1928).

Dünnwandige Hohlriete können vor Erreichen des Fließmomentes beulen. Borkmann hat auf Grundlage seiner Versuche einen diesbezüglichen Abminderungsfaktor eingeführt. Die Berechnung dieses Faktors ist in Gl. (6.2) dargestellt. Dieser Faktor geht linear in die Bemessung der Schlankheit ein, womit bestimmt wird, ob ein ausschließliches Versagen auf Lochleibung der Fügeteile (kurze Verbindungsmittel) oder eine Kombination aus Lochleibungsversagen und Fließen des Verbindungsmittels besteht (lange Verbindungsmittel). In letzterem Falle wird der Abminderungsfaktor

zur Ermittlung der Tragfähigkeit linear miteinbezogen. Die Berücksichtigung des kleineren Trägheitsmomentes im Vergleich zu Verbindungsmittel mit gleichem Durchmesser und Vollquerschnitt fließt hier nicht ein (Pilgrim, 1940).

$$k_b = 1,05 - \frac{d_a}{39 \cdot s_r} = 1,05 - \frac{d_a}{19,5 \cdot (d_a - d_i)} \quad (6.2)$$

mit:

- k_b Abminderungsfaktor für das Beulen des hohlen Verbindungsmittels
- d_a Außendurchmesser des Verbindungsmittels in mm
- d_i Innendurchmesser des Verbindungsmittels in mm
- s_r Wanddicke des Verbindungsmittels in mm

6-2.6 ABSCHEREN DES VERBINDUNGSMITTELS

Werden dünne oder hochfeste Holzprodukte gefügt, kann für das Verbindungsmittel die Scherbeanspruchung maßgebend werden. Winter nimmt unabhängig von der Art des Verbindungsmittels eine konstante Scherspannung über den gesamten Querschnitt an und kommt so zur Gl. (6.3).

$$\tau_{a,d} = \frac{F_{a,d}}{s \cdot A} \leq \chi \cdot f_{u,b,d} = f_{v,b,d} \quad (6.3)$$

mit:

- $\tau_{a,d}$ Schubspannung im Bolzen durch Abscheren in N/mm²
- $F_{a,d}$ zu übertragende Abscherkomponente des Bolzens in N
- s Anzahl der Scherfugen
- A Querschnittsfläche des Bolzens in mm²
- $f_{u,b,d}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit des Bolzenmaterials N/mm²
- $f_{v,b,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit durch Abscheren des Bolzenmaterials in N/mm²
- χ Beizahl

Die Beizahl χ entspricht dem Verhältnis der Scherfestigkeit zur Zugfestigkeit des Verbindungsmittels. Sie ist einerseits vom Material des Verbindungsmittels und andererseits von seiner Querschnittsform abhängig. Die Abbildung 6.8 zeigt, dass die Scherfestigkeit von Hohlbolzen mit kleinerem Verhältnis von Außen- zu Innendurchmesser abfällt. Maßgebend ist dieser Versagensfall in der Praxis jedoch meist nicht, da vorher ein Beulen des Hohlbolzens, wie in Kapitel 6-2.5 diskutiert, auftritt (Winter, 1944).

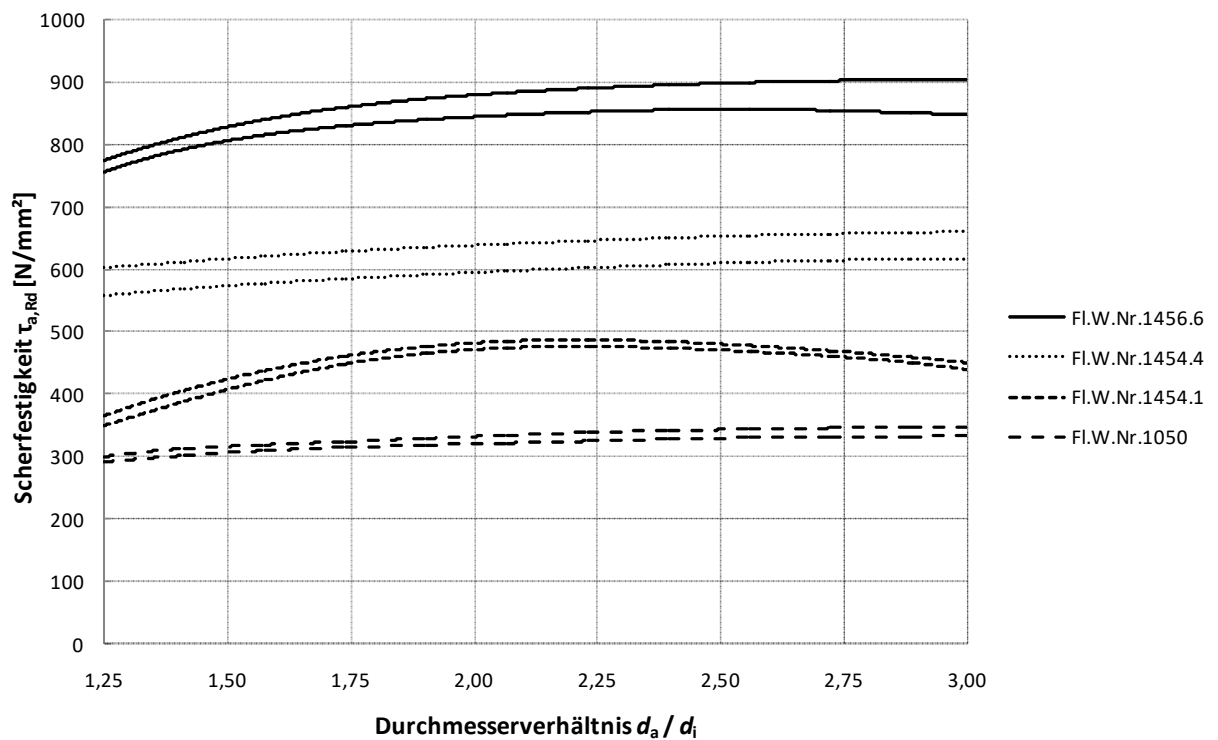


Abbildung 6.8: Scherfestigkeit von Hohlbolzen verschiedener Werkstoffe im Flugzeugbau in Abhängigkeit vom Verhältnis der Durchmesser d_a/d_i in N/mm^2 (Winter, 1944)

6-3 HOLZSCHIFFBAU

Im modernen Holzschiffbau ist das Verbinden der einzelnen Bauteile mit Klebstoffen üblich. Im traditionellen Holzschiffbau, vor der Erfindung moderner wasserunlöslicher Harze, war es gängig gewisse Bauteile mit Kupfernieten zu verbinden (Abbildung 6.9). Zur Befestigung der Außenhaut an den Spanten waren aufgrund ihrer geringen Dicke (die Außenhaut eines Rennbootes ist beispielsweise oft nur 4 mm dick) Holzschrauben keine Option.

Kupfer kann im Vergleich zu Stahl leichter geformt werden. Somit ist kein Aufwärmen des Nietes notwendig, was zu örtlichem Ansengen des Holzes im Bereich des Bohrloches führen und somit die Verbindung unbrauchbar machen würde.

Der dafür eingesetzte Kupferniet besteht aus einem Rundkopf und einem vierkantigen Schaft mit einer üblichen Seitenlänge von ca. 2 mm. Dieser bietet einen guten Halt in einem runden Bohrloch. Vorgebohrt wird maximal mit einem Durchmesser der dem des Nietschaftes entspricht. Der Vorbohrdurchmesser zur Herstellung einer optimalen Verbindung hängt jedoch von der Dicke und der Holzart der zu verbindenden Materialien ab. Bei Hartlaubholzverbindungen und Verbindungen mit großem Nietdurchmesser ist es üblich das Bohrloch anzusenken wodurch eine nahezu bündige Oberfläche erzeugt werden kann.

An der Schließkopfseite wird eine runde, gewölbte und mittig gelochte Kupferscheibe vor der Bildung des Schließkopfes untergelegt. Da bei der Bildung des Schließkopfes die gewölbte Scheibe flach gedrückt wird entsteht eine zusätzliche Vorspannung, die sogar eine Abdichtung der gehobelten Fügeflächen überflüssig machen würde (Niederländer Jörn, 2015a und 2015b).



Abbildung 6.9: Befestigung der Außenhaut eines Bootes mit Kupfernieten (Becker, 2017)

6-4 HOLZFASSADENBAU

6-4.1 ALLGEMEINES

Im modernen Bauwesen werden Nieten im Fassadenbau eingesetzt. Die Nieten dienen zur Befestigung von Fassadenplatten auf einer Metall- oder Holzunterkonstruktion. Die Fassadenplatten sind beispielsweise duromere Hochdrucklamine (HPL), die im Kern zu großen Teilen aus Holzfasern bestehen, oder Platten mit einem Kunststoffkern der mit beschichteten Holzurnieren verkleidet ist. Handelsübliche Platten haben eine Stärke zwischen 4 und 22 mm (Fundermax, 2015; Prodema, 2017).

Zur Befestigung mittels Nieten gibt es grundsätzlich zwei Systeme:

- Befestigung mit Blindnieten
- Befestigung mit Hinterschnitt-Plattenankern

Beide Varianten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

6-4.2 BEFESTIGUNG MIT BLINDNIETEN

Kann die Befestigung der Fassadenplatten sichtbar sein wird, wie in Abbildung 6.10 gezeigt, zu Blindnieten mit Großkopf gegriffen. Diese können von einer Seite montiert werden, da im Allgemeinen die Rückseite nicht mehr zugänglich ist. Sie bieten eine gute Kopfdurchzugstragfähigkeit, welche z.B. für Windbelastungen und zur Aufnahme von Zwängungen durch die Montage relevant ist. Das Eigengewicht der Fassadenplatten wird über die Scherzugtragfähigkeit der Verbindung abgetragen.

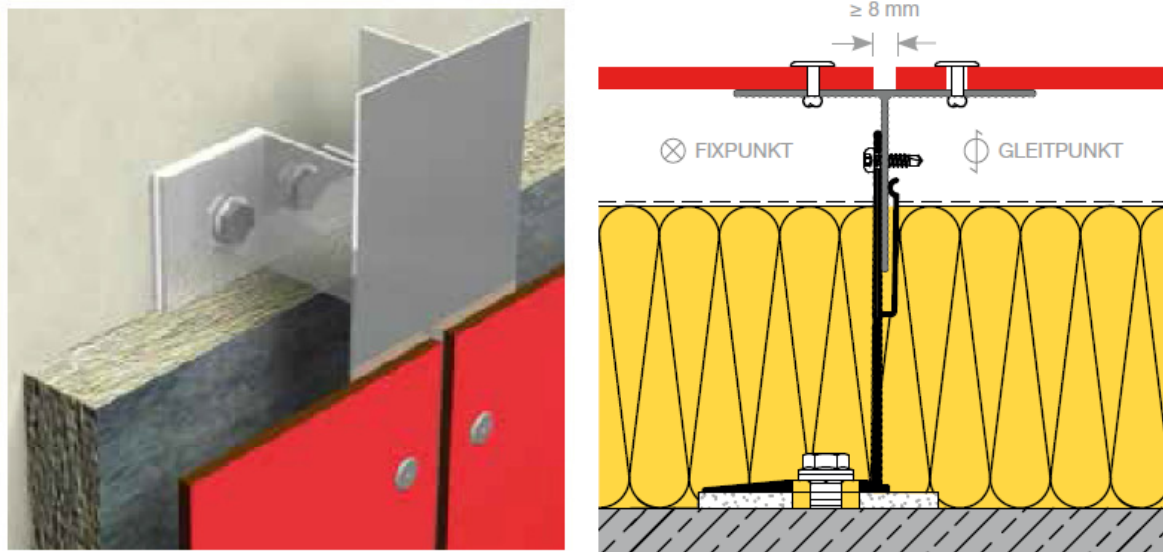


Abbildung 6.10: Befestigung von Fassadenplatten mittels Blindnieten (Fundermax, 2015)

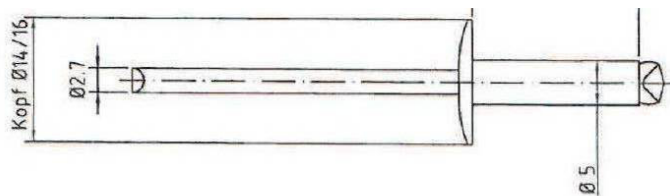


Abbildung 6.11: Fassadenblindniet mit Aluhülse und Nirodorn (Fundermax, 2015)

Üblicherweise wird, wie in Abbildung 6.11 dargestellt, ein Blindniet mit Großkopf, einer Hülse aus Aluminium, einem Dorn aus nicht rostendem Stahl und einem Hülsendurchmesser von 5 mm verwendet. Die zulässigen Beanspruchungen der Blindniete in Achsrichtung für den Einsatz mit Fassadenplatten reichen je nach Plattendicke und Befestigungsabstand von 100 N in der Plattenecke bis zu 600 N in der Plattenmitte. Für die exakten zulässigen Kopfzuglasten wird auf die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-33.2-16 für das Max Exterior Fassadensystem verwiesen (DIBt, 2012a; Fundermax, 2015).

6-4.3 BEFESTIGUNG MIT HINTERSCHNITT-PLATTENANKERN

Ist es beispielsweise aus architektonischen Gesichtspunkten nicht gewünscht die Befestigung an der Fassadenoberfläche zu sehen, werden die Hinterschnitt-Plattenanker verwendet. Der Plattenanker besteht aus einer geschlitzten Ankerhülse und einem integrierten Blindniet (Abbildung 6.12).

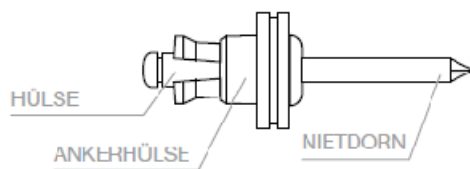


Abbildung 6.12: Hinterschnitt-Plattenanker (Fundermax, 2015)

Die besondere Ausbildung des Schließkopfes bei diesem Blindniet ermöglicht eine stabile Verbindung ohne die Fassadenplatten durchzubohren. Wie in Abbildung 6.13 ersichtlich, werden die Fassadenplatten mittels der Hinterschnitt-Plattenanker an Agraffen oder Plattentragprofilen befestigt und dann an der Metallunterkonstruktion eingehängt. Für eine ordnungsgemäße Befestigung ist eine Mindestdicke der Fassadenplatten von 8 mm notwendig. Für die Ausbildung der Sacklöcher gelten erhöhte Qualitätsanforderungen.

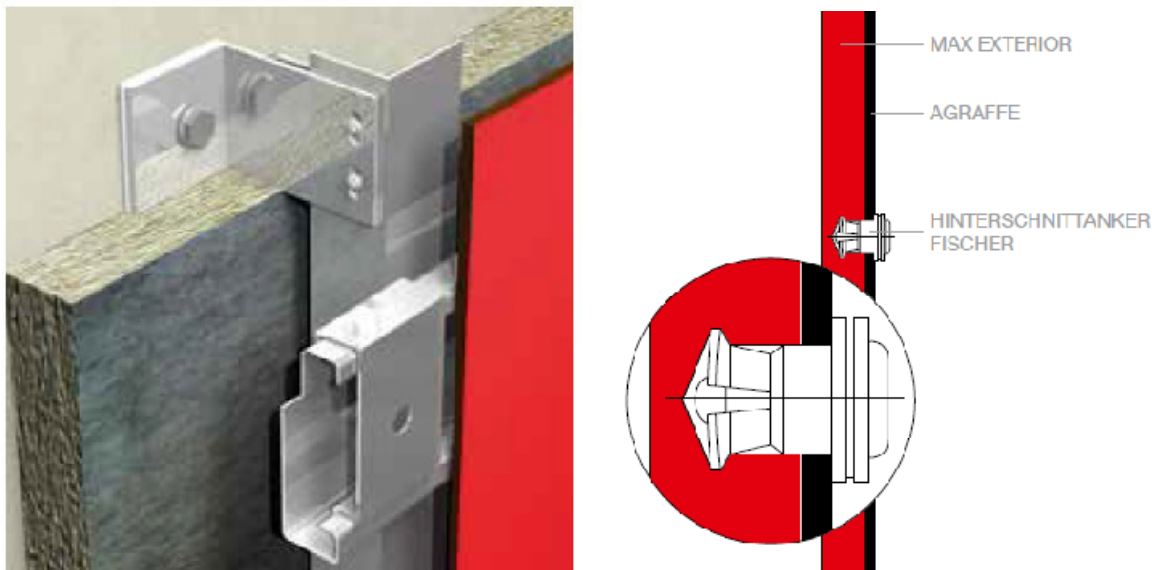


Abbildung 6.13: Befestigung von Fassadenplatten mittels Hinterschnitt-Plattenankern (Fundermax, 2015)

Die charakteristische Zugtragfähigkeit eines Plattenankers reicht je nach Plattendicke und Ankertyp von 1,7 – 2,2 kN. Die charakteristische Querkzugtragfähigkeit eines Plattenankers liegt bei 4,6 – 6,8 kN. Für die Bemessungskennwerte wird auf die Europäische Technische Zulassung ETA-09/0002 von fischer-Zykon-Plattenankern FZP-N für Max Exterior-Fassadenplatten verwiesen (DIBt, 2012b; Fundermax, 2015).

6-5 INGENIEURHOLZBAU

Nietverbindungen werden im konstruktiven Holzbau, wie im Kapitel 3 erläutert, gegenwärtig im Allgemeinen nicht eingesetzt. Jedoch gibt es wissenschaftliche Arbeiten für den Einsatz von Nietverbindungen. Auf eine wird hier näher eingegangen.

Leijten (1998) stellt in seiner Abschlussarbeit auf der TU in Delft eine alternative Verbindung zu herkömmlichen Stabdübelverbindungen vor. Er entwickelte eine mit verdichtetem Furniersperrholz verstärkten Verbindung mit Rohrnieten, welcher er bessere mechanische Eigenschaften als herkömmlichen auf Abscheren beanspruchten Verbindungen zuwies.

Die Rohrniete haben einen Durchmesser von 18 – 35 mm. Diese werden in übergroße Bohrlöcher eingesetzt und anschließend im Durchmesser geweitet um ein Anliegen des Rohres an den Bohrlochwandungen sicherzustellen. Somit werden Beanspruchungen sofort vom Rohrniet ohne Schlupf (Spiel) übernommen. Durch die übergroßen Bohrlöcher werden Bauleranzen ausgeglichen und die Montage vereinfacht. Zusätzliche Unterlegscheiben verhindern eine lokale Schädigung des Holzes auf Querdruck, bedingt durch den Umformprozess, weitestgehend.

Des Weiteren verstärkt er seine Verbindung mit verdichtetem Furniersperrholz, dass er auf die zu verbindenden Holzbauteile im lokalen Bereich der Bohrung klebt. Somit wird die Lochleibungsfestigkeit erhöht und unvorhergesehenes Spalten verhindert. Abbildung 6.14 zeigt einen Schnitt durch die beschriebene Verbindung.

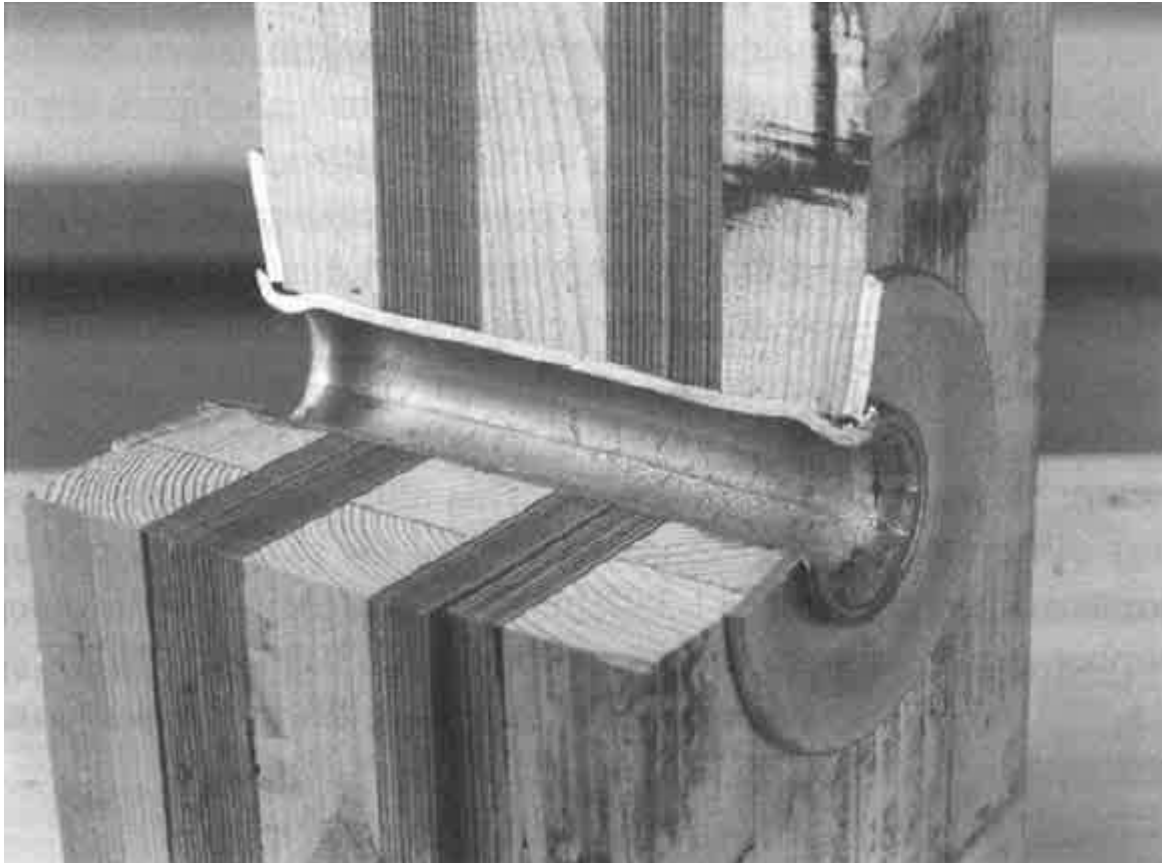


Abbildung 6.14: Schnitt durch die Verbindung (Leijten, 1998)

Diese Verbindung besitzt ein duktilen Verhalten und in Folge eine hohe Energieaufnahmefähigkeit. Im Vergleich zu herkömmlichen, auf Abscheren beanspruchten Stabdübelverbindungen, kann laut Berechnungen von Leijten bei Rahmenkonstruktionen eine Holzersparnis von bis zu 40 % erreicht werden. Dies resultiert zum Ersten aus der geringeren Anzahl an Verbindungsmitteln und zum Zweiten aus der lokalen Verstärkung durch verdichtetes Furniersperrholz. Leijten vergleicht in seinem Berechnungsbeispiel einen Anschluss eines Rahmenknotens mit acht Rohrnieten mit einem Außendurchmesser von 35 mm und einen ähnlich tragfähigen Anschluss mit 35 in zwei konzentrischen Kreisen angeordneten Stabdübeln mit einem Durchmesser von 27 mm. Die Stabdübelverbindung kommt laut Leijten auf einen Ausnutzungsgrad von 36 % bezogen auf den Bruttoquerschnitt, da für eine solche Anzahl an Stabdübeln unter Berücksichtigung der Mindestabstände ein ausreichend großer Holzquerschnitt erforderlich ist. Hier kann seine Verbindung punkten, die aufgrund der geringen Anzahl an Verbindungsmitteln und der lokalen Verstärkung des Anschlusses durch verdichtetes Furniersperrholz einen wesentlich kleineren Holzquerschnitt zulässt und somit einen Wirkungsgrad von 97 % bezogen auf den unverstärkten Bruttoquerschnitt erreicht. Nicht berücksichtigt ist bei dieser Holzersparnis jedoch der zusätzliche Holzbedarf für die lokale Verstärkung durch das verdichtete Furniersperrholz und die Möglichkeit eines veränderlichen Holzquerschnittes zur Optimierung des Holzbedarfes des Rahmens (Leijten, 1998).

Die Applikationsschritte, wie in Abbildung 6.15 ersichtlich, lassen sich wie folgt gliedern:

- Zuerst wird ein übergroßes Bohrloch hergestellt. Der Durchmesser des Bohrloches ist 3 – 5 % größer als der Außendurchmesser des Rohres. Dies entspricht einem Lochspiel von 0,7 – 1,3 mm.
- Anschließend wird das Stahlrohr mit Überlänge in das übergroße Bohrloch eingebracht.
- Dann wird eine Stahlstange durch das Rohr gesteckt.
- Die Unterlegscheiben werden an beiden Seiten der Stahlstange aufgeschoben.
- Dann wird an beiden Enden der Stahlstange jeweils eine Matrize befestigt. An der montageabgewandten Seite ist die Matrize fixiert an der anderen Seite beweglich.

- Die bewegliche Matrize wird von einer hydraulischen Presse angepresst. Somit verformt sich das Rohr in der Matrize derart, dass die Unterlegscheiben fixiert werden.
- Weiterer Druck auf das Rohr führt zu einer Druckspannung im Rohr und einer Vergrößerung des Rohrquerschnitts, da ein Ausweichen in die Mitte durch die Stahlstange verhindert wird.

Da durch die Erweiterung des Rohrquerschnittes das Lochspiel und somit der Schlupf minimiert wird, führt dies zu einer Erhöhung der Steifigkeit der Verbindung. Wird der Durchmesser des Rohres über den Durchmesser des Bohrlochs hinaus vergrößert, bauen sich Vorspannungen im Holz auf. Eine zu große Vorspannung kann jedoch zur Beschädigung des Materials bis hin zu einem Spalten des Holzes führen. Die Wahl eines entsprechenden Pressdruckes ist daher entscheidend für eine gute Ausbildung der Verbindung (Leijten, 1998).

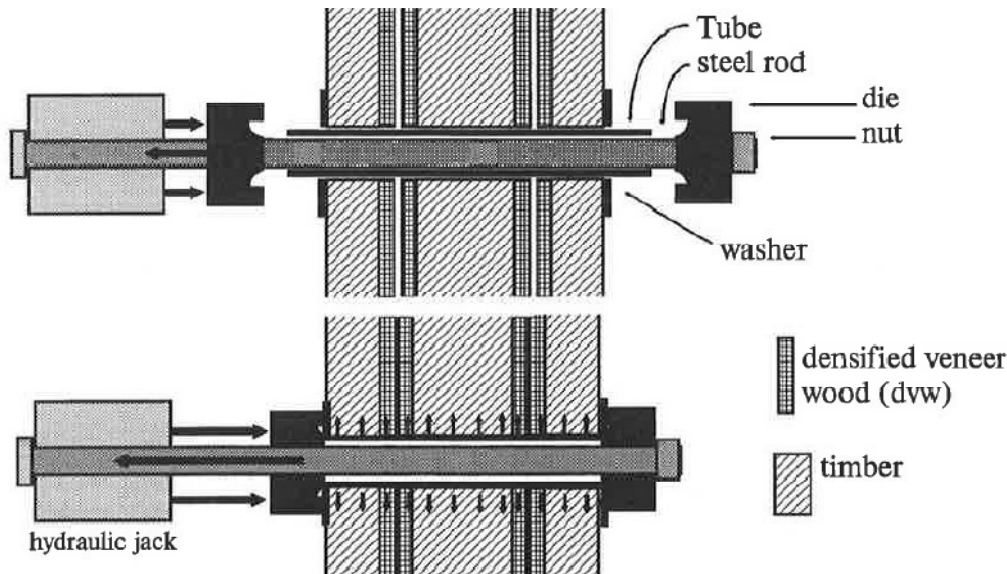


Abbildung 6.15: Prinzip der Rohrnietapplikation (Leijten, 1998)

Die von Leijten entwickelte Verbindung verhält sich ähnlich wie konventionelle stiftförmige Verbindungsmittel auf Abscheren im Holzbau. Das Verhalten auf Lochleibungsversagen ist ident mit jenem von massiven Verbindungsmitteln. Nur verhält sich das Rohrprofil im Falle des Versagens anders als herkömmliche Verbindungsmittel mit vollem Kreisquerschnitt. Die Kapazität dieser Rohrprofile auf Biegung ist keine maßgebende Größe der Tragfähigkeit einer Verbindung. Wie Abbildung 6.16 zeigt, verformt sich das Rohrprofil vor dem endgültigen Versagen derart, dass nicht mehr von einem kreisrunden Querschnitt gesprochen werden kann, sondern von einer flachen Ellipse. Eine Interaktion zwischen Lochleibungsfestigkeit und Fließen des Verbindungsmittels wie bei Johansen ist laut Leijten nicht notwendig. Vorausgesetzt die Lochleibungsfestigkeit und die Querdruckfestigkeit des Holzes sind ausreichend, versagt das Rohrprofil schließlich auf Zug in der Scherebene (Leijten, 1998).

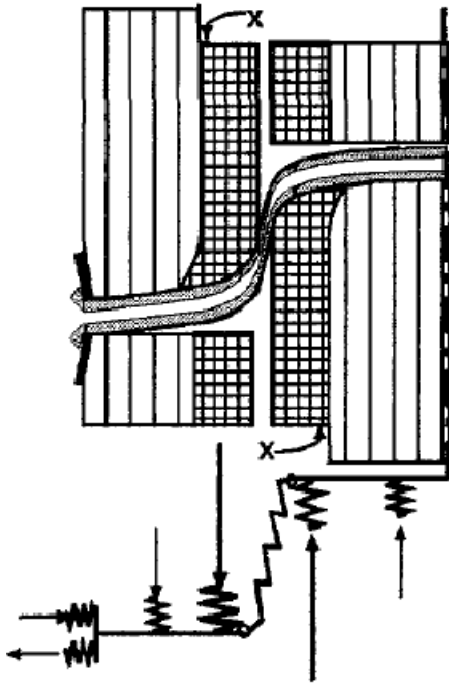


Abbildung 6.16: Versagensmechanismus des Rohrprofils (Leijten, 1998)

Die Mindestabstände sind in Tabelle 6.3 angeführt (Leijten, 1998). Die Abstandsbezeichnungen sind in Abbildung 7.13 dargestellt.

Tabelle 6.3: Mindestabstände (Leijten, 1998)

Rohrdurchmesser erweitert d_a [mm]	Hirnholzende beansprucht $a_{3,t}$ [mm]	Hirnholzende unbeansprucht $a_{3,c}$ [mm]	Rand beansprucht $a_{4,t}$ [mm]	Rand unbeansprucht $a_{4,c}$ [mm]	Mindestdicke t_2 verdichtetes Furniersperrh. [mm]
18	3,5 $d_a = 63$	2,0 $d_a = 36$	3,5 $d_a = 63$	3,0 $d_a = 54$	12
22	3,5 $d_a = 77$	2,0 $d_a = 44$	3,5 $d_a = 77$	3,0 $d_a = 66$	14
28	3,5 $d_a = 98$	2,0 $d_a = 56$	3,5 $d_a = 98$	3,0 $d_a = 84$	16
35	3,5 $d_a = 123$	2,0 $d_a = 70$	3,5 $d_a = 123$	2,5 $d_a = 88$	18

In Abbildung 6.17 sind die einzelnen Bestandteile der Rohrprofilverbindung nach Leijten ersichtlich mit den für die Bemessung der Tragfähigkeit relevanten Abmessungen.

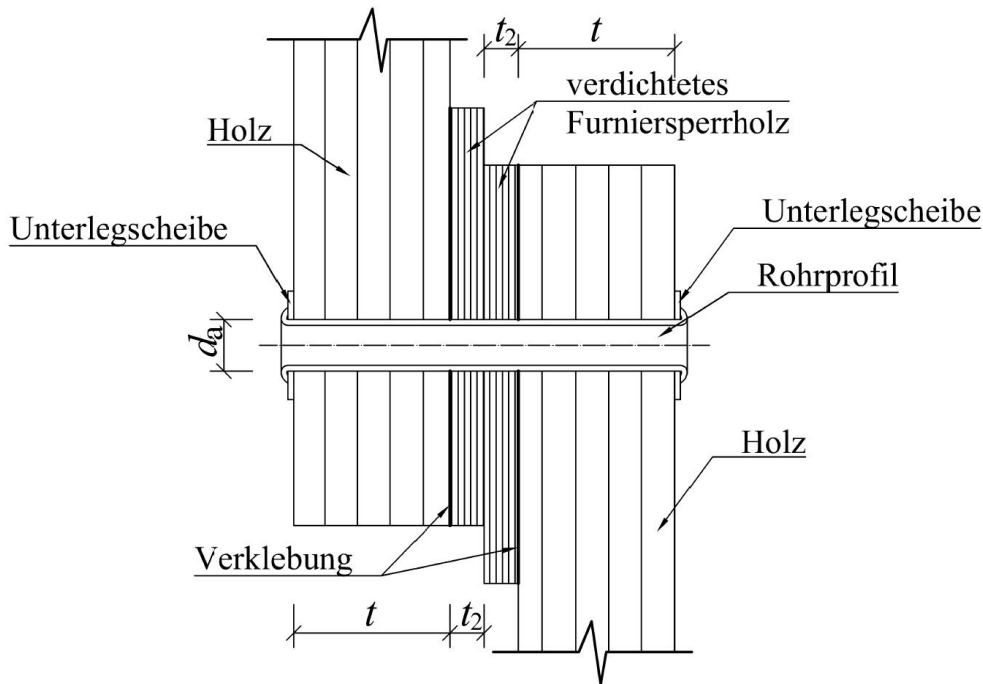


Abbildung 6.17: Einschnittige Rohrprofil-Verbindung

Bei ausreichenden Mindestabständen der Verbindungsmittel zum Rand und untereinander ergeben sich folgende Widerstände:

Rohrprofil auf Zug

$$R_{\text{tub,d}} = A_{\text{tub}} \cdot f_{\text{t,d}} \quad (6.4)$$

mit:

$R_{\text{tub,d}}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit des Rohrprofils auf Abscheren in N

A_{tub} Querschnittsfläche des Rohrprofils in mm^2

$f_{\text{t,d}}$ Bemessungswert der Materialzugfestigkeit des Rohrprofils in N/mm^2

Lochleibungsfestigkeit

$$R_{\text{emb,d}} = (t_1 \cdot f_{\text{emb,timber,d}} + t_2 \cdot f_{\text{emb,dvw,d}}) \cdot d_a \quad (6.5)$$

mit:

$R_{\text{emb,d}}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung auf Abscheren in N

t_1 Minimum aus Dicke Holz t und doppelter Dicke von t_2 in mm

t_2 Dicke des verdichteten Furniersperrholzes in mm

$f_{\text{emb,timber,d}}$ Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit des Holzes N/mm^2

$f_{\text{emb,dvw,d}}$ Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit des verdichteten Furniersperrholzes in N/mm^2

d_a erweiterter Außendurchmesser des Rohrprofils in mm

Scherfläche Verklebung

$$R_{\text{bon,d}} = k \cdot A_{\text{dvw}} \cdot f_{\text{v,d}} \quad (6.6)$$

mit:

$R_{\text{bon,d}}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung auf Abscheren in N
k	Reduktionsfaktor in Bezug auf Spannungskonzentrationseffekte
A_{dvw}	Fläche der Verklebung in mm ²
$f_{\text{v,d}}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit des Holzes N/mm ²

Daraus folgt der Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung pro Verbindungsmittel und Scherfläche:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{\text{tub,d}} \\ R_{\text{emb,d}} \\ R_{\text{bon,d}} \end{array} \right\} \quad (6.7)$$

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit der gesamten Verbindung ergibt sich daraus zu:

$$R_{\text{d,ges}} = R_d \cdot s \cdot n_{\text{ef}} \quad (6.8)$$

mit:

$n_{\text{ef}} = n$	Anzahl der Rohrprofile
s	Anzahl der Scherfugen

FAZIT

Die Minimierung des Lochspieles durch die Ausdehnung des Rohrprofiles führt zur weitgehenden Unterbindung von Schlupf und somit zu einer definierten Aufnahme der Kräfte innerhalb des Anschlusses sowie direkt zuordenbaren Steifigkeit. Durch die Verstärkung der Verbindung mit verdichtetem Furniersperrholz und ausreichend groß dimensionierten Unterlegscheiben ist es möglich ein sehr duktilen Verhalten der Verbindung durch Fließen, angezeigt durch Beulen und in weiterer Folge einer Ellipsenbildung des Rohrnietes, sicherzustellen; der Rohrniet selbst versagt schließlich auf Zug in Beanspruchungsrichtung. Dies ermöglicht ein vorzeitiges Erkennen einer grenznahen Beanspruchung der Verbindung durch große Verformungen. Auf einen geeigneten Pressdruck zur Sicherstellung einer definierten und kontrollierten Ausdehnung des Rohrnietes ist zu achten.

Die von Leijten ermittelte Holzersparnis von bis zu 40 % bei dieser Verbindung im Vergleich zu herkömmlichen Verbindungsmitteln ist durchaus kritisch zu sehen, da mit einer entsprechenden lokalen Verstärkung einer Verbindung mit Stabdübeln durch verdichtetem Furniersperrholz oder Ähnlichem und einem beanspruchungsoptimierten veränderlichen Holzquerschnitt auch bei herkömmlichen Verbindungen weitere Holzeinsparungen möglich sind.

KAPITEL 7: POTENZIALABSCHÄTZUNG

7-1 STUDIENOBJEKTE

In diesem Kapitel soll für Niete mit Kreisvollquerschnitt und Kreishohlquerschnitt die Abschätzung der Tragfähigkeit einer zweischnittigen Holz-Holz Verbindung, einer zweischnittigen Holz-Stahlblechverbindung mit innenliegendem Blech und einer zweischnittigen Holz-Stahlblechverbindung mit außenliegenden Stahlblechen am Beispiel eines einfachen Zuglaschenstoßes von Formpressprofilen aus Buchen-Schäl furnieren erfolgen. Des Weiteren wird anschließend ein auf Biegung beanspruchter Stoß bemessen.

Für die Abschätzung der Tragfähigkeit wird gemäß ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) die Nutzungsklasse (NKL) 1 und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) „kurz“ angenommen. Daraus folgt ein Modifikationsbeiwert $k_{mod} = 0,9$. Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für das Material werden gemäß ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) gewählt und sind im Folgenden angeführt:

- Formpressprofile bzw. Furnierschichtholz (LVL) und Furniersperrholz: $\gamma_M = 1,20$
- Verbindungen im Holzbau $\gamma_M = 1,30$
- Beanspruchbarkeit von Stahlquerschnitten (kein Netto-QS-NW): $\gamma_{M,0} = 1,00$
- Auf Zug oder Scheren beanspruchte Stahlbleche in Verbindungen: $\gamma_{M,2} = 1,25$

Die Stahlgüte der Niete und der Stahlbleche entspricht S235. Sämtliche Niete werden mit Vorbohren in die Füge teile appliziert. Die Positionierung der Niete und die Länge der Laschen werden so gewählt, dass die im Folgenden behandelten Mindestabstände a_1 , a_2 , $a_{3,t}$ und $a_{4,t}$, sowie der Mindestabstand zum beanspruchten Rand der Stahlbleche e_1 eingehalten werden. Das Lochspiel in den Stahlblechen ist je nach Art der Applikation der Niete sehr gering oder nicht vorhanden, daher wird für die Bemessung der Stahlbleche ein etwaiges Lochspiel nicht berücksichtigt. Da die Formpressprofile als Plattenelemente eingesetzt werden, wird für die Bemessung der Zuglaschenstöße ein repräsentativer Streifen mit einer Breite von einem Meter berechnet. Der Durchmesser bzw. Außen- und Innendurchmesser des Nietschaftes für die Zuglaschenstöße wird auf Grundlage der Erkenntnisse in Kapitel 7-4 so gewählt werden, dass eine möglichst hohe Tragfähigkeit des Nietes bezogen auf den (Außen-) Durchmesser des Nietschaftes bei duktilem Verhalten des Nietes sichergestellt ist. Die Anzahl der Niete auf diesem Meterstreifen wird so gewählt, dass die Zugtragfähigkeit der Verbindung annähernd jene des Nettoquerschnittes des Formpressprofiles erreicht.

7-1.1 HOLZ-HOLZ ZUGLASCHENSTOß

Die zweischnittige Holz-Holz Verbindung, wie in Abbildung 7.1 dargestellt, besteht aus zwei stumpf gestoßenen, innenliegenden Formpressprofilen aus Buchenfurnieren mit einer Stärke $t_2 = 30$ mm und zwei außenliegenden Furnierschichthölzern aus Buche mit einer Stärke $t_1 = 22,5$ mm.

Der Bemessungswert der Brutto-Querschnittstragfähigkeit des Formpressprofiles ergibt sich gemäß ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) zu:

$$R_{t,0,d} = \frac{A \cdot f_{t,o,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (7.1)$$

mit:

$R_{t,0,d}$ Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Holzquerschnittes mit der Brutto-Fläche A in N

A Fläche des zu bemessenden Holzquerschnittes in mm^2

$f_{t,0,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Holzproduktes bei einer Beanspruchung in Faserrichtung in N/mm^2

k_{mod} Modifikationsbeiwert

γ_M Teilsicherheitsbeiwert des Holzproduktes

In ersten Zugversuchen von Staudacher (2016) wurde bei Furnierholz aus Buche mit einem Anteil an Querlagen von 18 % eine Zugfestigkeit von mindestens $68,5 \text{ N/mm}^2$ erreicht. Dieser Aufbau bildet jenen von Formpressprofilen sehr gut ab. Für diese Berechnung wurde ein $f_{t,0,k} = 68,0 \text{ N/mm}^2$ angesetzt.

Eingesetzt in Gl. (7.1) folgt daraus ein Bemessungswert für die Zugtragfähigkeit des Bruttoquerschnittes der Formpressprofile von

$$R_{t,0,d} = \frac{30 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{1,2} \equiv 1530 \text{ kN/m}$$

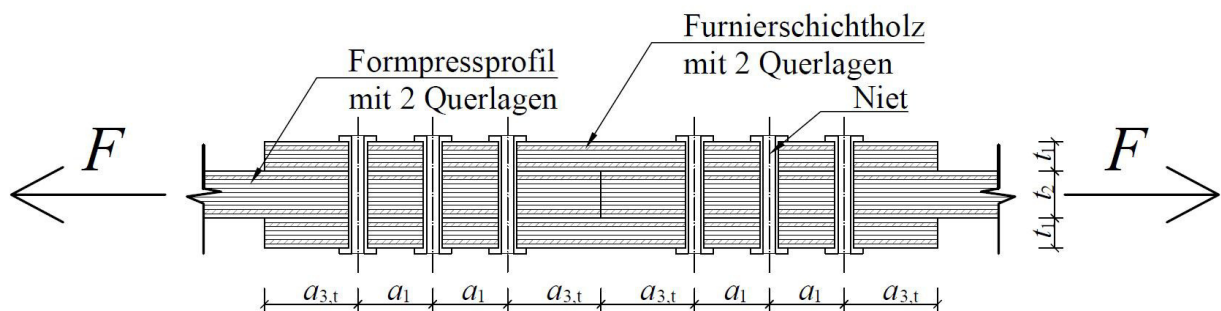


Abbildung 7.1: Zuglaschenstoß als zweischnittige Holz-Holz Verbindung

7-1.2 ZUGLASCHENSTOß MIT INNENLIEGENDEM STAHLBLECH

Die zweischnittige Holz-Stahlblech Verbindung, wie in Abbildung 7.2 dargestellt, besteht aus zwei stumpf gestoßenen Formpressprofilen aus Buchenfurnieren mit einer Stärke von 30 mm und einem in die Formpressprofile eingefrästen innenliegenden Stahlblech mit einer Stärke $t = 5 \text{ mm}$. Daraus ergibt sich für die Formpressprofile, unter Beachtung von 1 mm Luft, ein Restquerschnitt mit einer Stärke von zweimal $t_1 = 12 \text{ mm}$.

Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Querschnittes des Formpressprofiles im Bereich des Stahlbleches ergibt sich gemäß Gl. (7.1) zu:

$$R_{t,0,d} = \frac{2 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{1,2} \equiv 1224 \text{ kN/m}$$

Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Bruttoquerschnittes des Stahlbleches ergibt sich unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes $\gamma_{M,0}$ zu:

$$R_{t,0,d} = \frac{5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0} \equiv 1175 \text{ kN/m}$$

Somit ist eine nahezu gleiche Ausnutzung der Fügeile gewährleistet. Für die Bemessung der Stahlbleche wird ein mögliches Lochspiel nicht berücksichtigt.

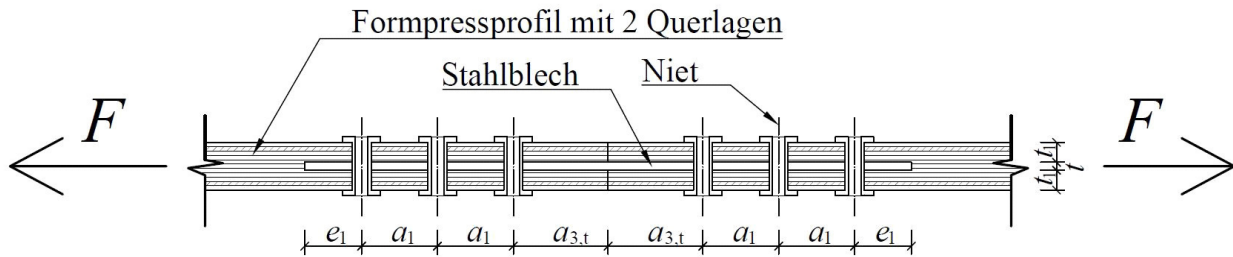


Abbildung 7.2: Zuglaschenstoß als zweischnittige Holz-Stahlblech Verbindung (innenliegendes Stahlblech)

7-1.3 ZUGLASCHENSTOß MIT AUßENLIEGENDEN STAHLBLECHEN

Die zweischnittige Holz-Stahlblech Verbindung, wie in Abbildung 7.3 dargestellt, wird in zwei verschiedenen Stärken überprüft:

- Die erste Variante besteht aus zwei stumpf gestoßenen Formpressprofilen aus Buche mit einer Stärke $t_2 = 15$ mm und zwei außenliegenden Stahlblechen mit einer Stärke $t = 1,5$ mm.
- Die zweite Variante besteht aus zwei stumpf gestoßenen Formpressprofilen aus Buche mit einer Stärke $t_2 = 30$ mm und zwei außenliegenden Stahlblechen mit einer Stärke $t = 3$ mm.

Somit sind die Grenzwerte der zu erwartenden Stärken von Formpressprofilen abgebildet.

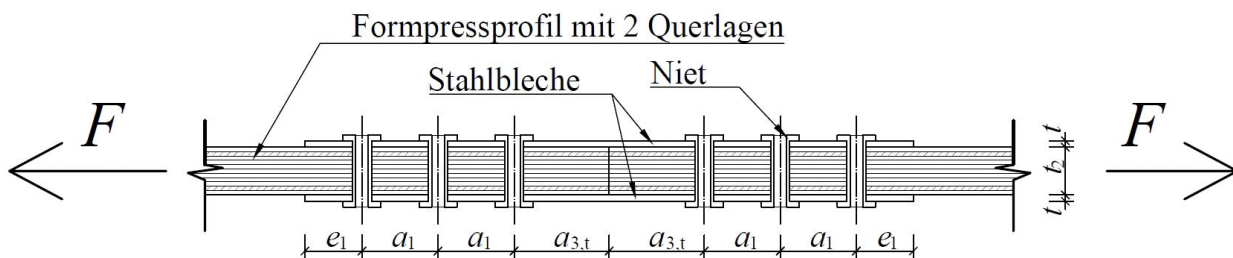


Abbildung 7.3: Zuglaschenstoß als zweischnittige Holz-Stahlblech Verbindung (außenliegende Stahlbleche)

7-1.4 HOLZ-HOLZ MOMENTENSTOß

Für den Momentenstoß wird der gleiche Aufbau der Fügeteile gewählt wie beim Holz-Holz Zuglaschenstoß. Die Laschen wurden durch Furniersperrholz aus Buche ersetzt, um eine möglichst gute Sperrwirkung zu erhalten. Die Fügeteile des ersten Momentenstoßes werden mit Rohrnieten mit einem Außendurchmesser $d_a = 20$ mm und einem Innendurchmesser $d_i = 18$ mm, aufgeteilt in einem 4×4 Raster, wie in Abbildung 7.4 ersichtlich, verbunden. Der einzelne Rohrniet weist, wie später in Kapitel 7-4.4.1 gezeigt wird, eine hohe Tragfähigkeit bei duktilem Verhalten auf.

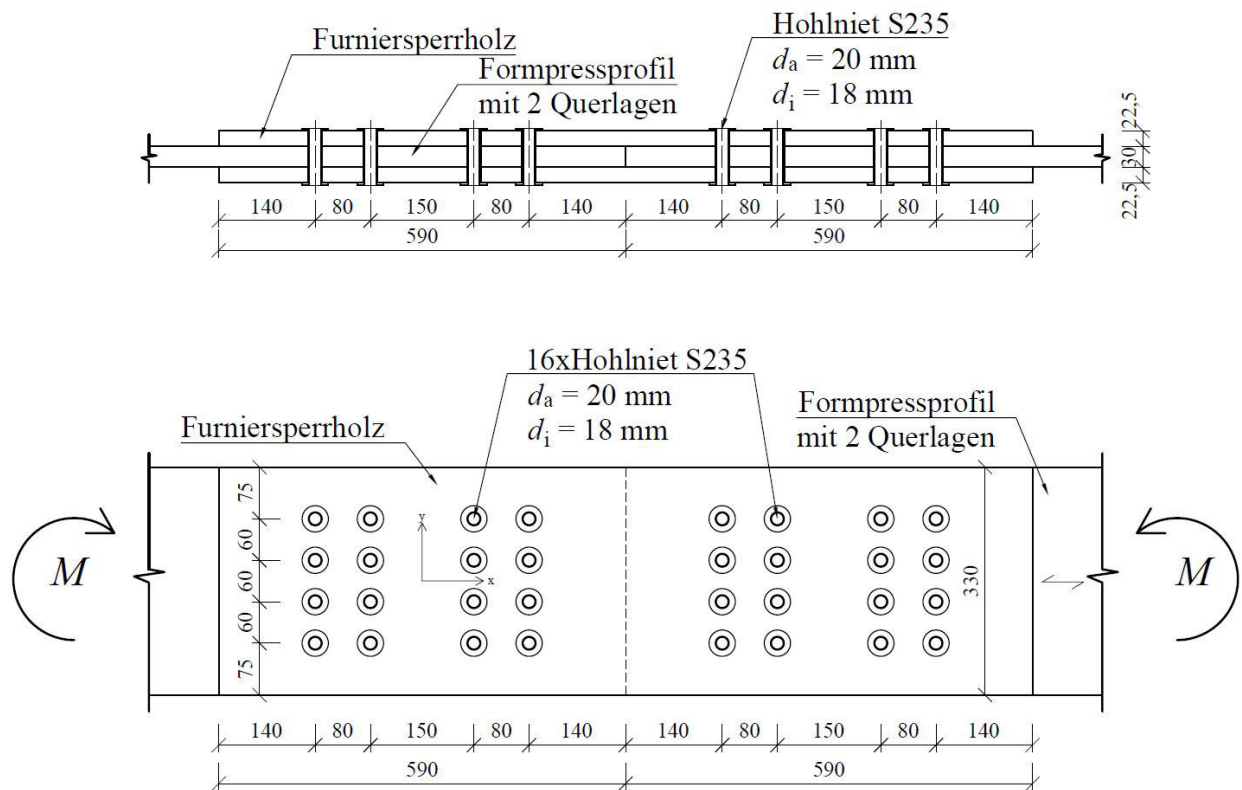


Abbildung 7.4: Momentenstoß als zweischnittige Holz-Holz Verbindung mit hohlen Nieten

Die Fügeile des zweiten Momentenstoßes werden mit massiven Nieten mit einem Durchmesser $d = 6$ mm, wie in Abbildung 7.4 ersichtlich, verbunden. Bei diesem Durchmesser kann der Niet, wie später in Kapitel 7-4.4.2 erläutert wird, zwei Fließgelenke bilden und somit seine volle plastische Tragfähigkeit erreichen. Bei der Verwendung von Nieten mit Durchmessern ≥ 8 mm wird die reine Lochleibungstragfähigkeit maßgebend und werden daher im Sinne möglichst großer Duktilität nicht gewählt. Die Niete wurden so angeordnet, dass eine möglichst hohe Tragfähigkeit bei einer geringen Anzahl an Verbindungsmitteln erreicht wird.

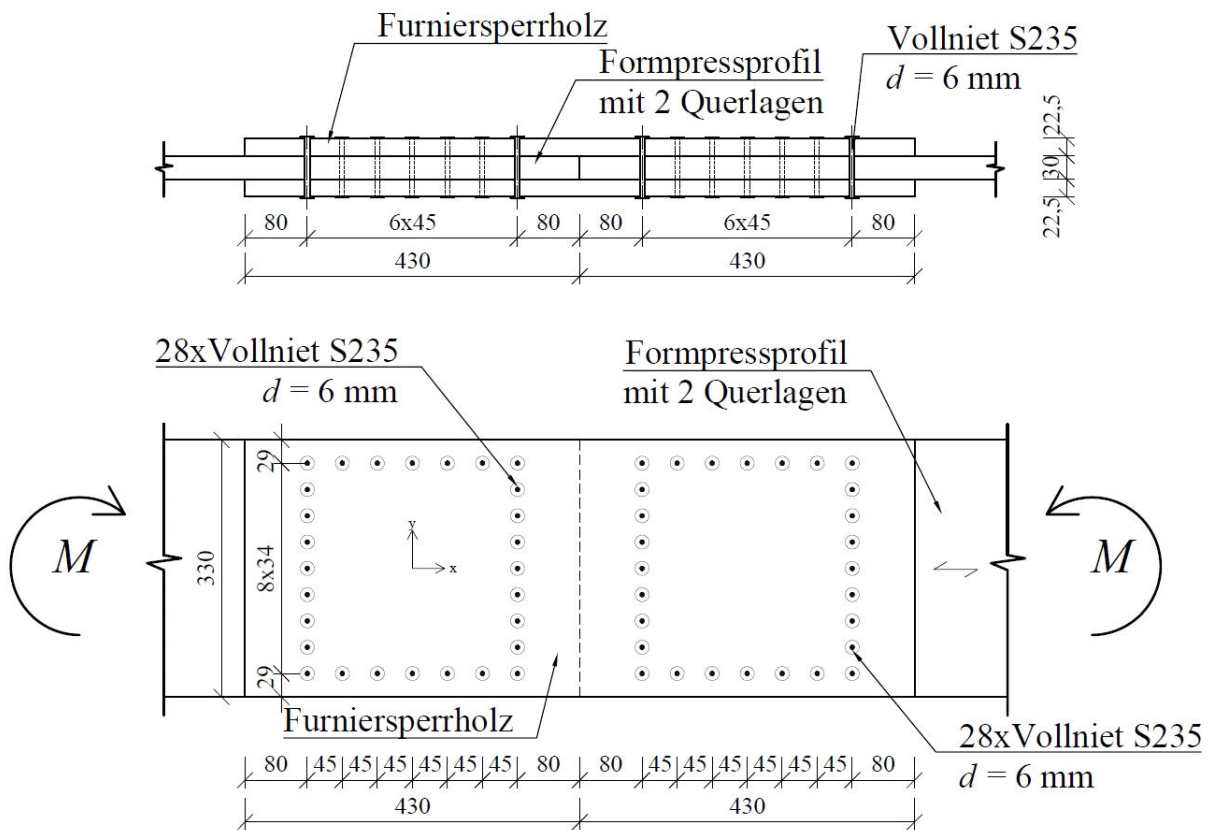


Abbildung 7.5: Momentenstoß als zweischnittige Holz-Holz Verbindung mit massiven Nieten

7-2 NOTWENDIGE NACHWEISE

Zusammenfassend sollen hier alle möglichen Formen des Versagens einer Nietverbindung im Einsatz mit Formpressprofilen und Ansätze zur Berücksichtigung dieser in der Bemessung aufgeführt werden. Die Abbildung 7.6 zeigt mögliche Arten des Versagens einer Nietverbindung bei Herstellung einer Hybridverbindung im Leichtbau aus Metall und faserverstärktem Kunststoff. Diese Versagensmechanismen sind auch auf Holzverbindungen übertragbar. Bei einer Kombination der Verbindung mit Metalllaschen sind auch diese nachzuweisen. In den folgenden Kapiteln wird jedoch vordergründig auf das Versagen der Verbindungsmittel und der Formpressprofile eingegangen. Zur Bemessung der Metalllaschen hinsichtlich der Mindestabstände der Verbindungsmittel, Lochleibungsfestigkeit, etc. wird auf die jeweilig anzuwendenden Normen verwiesen.

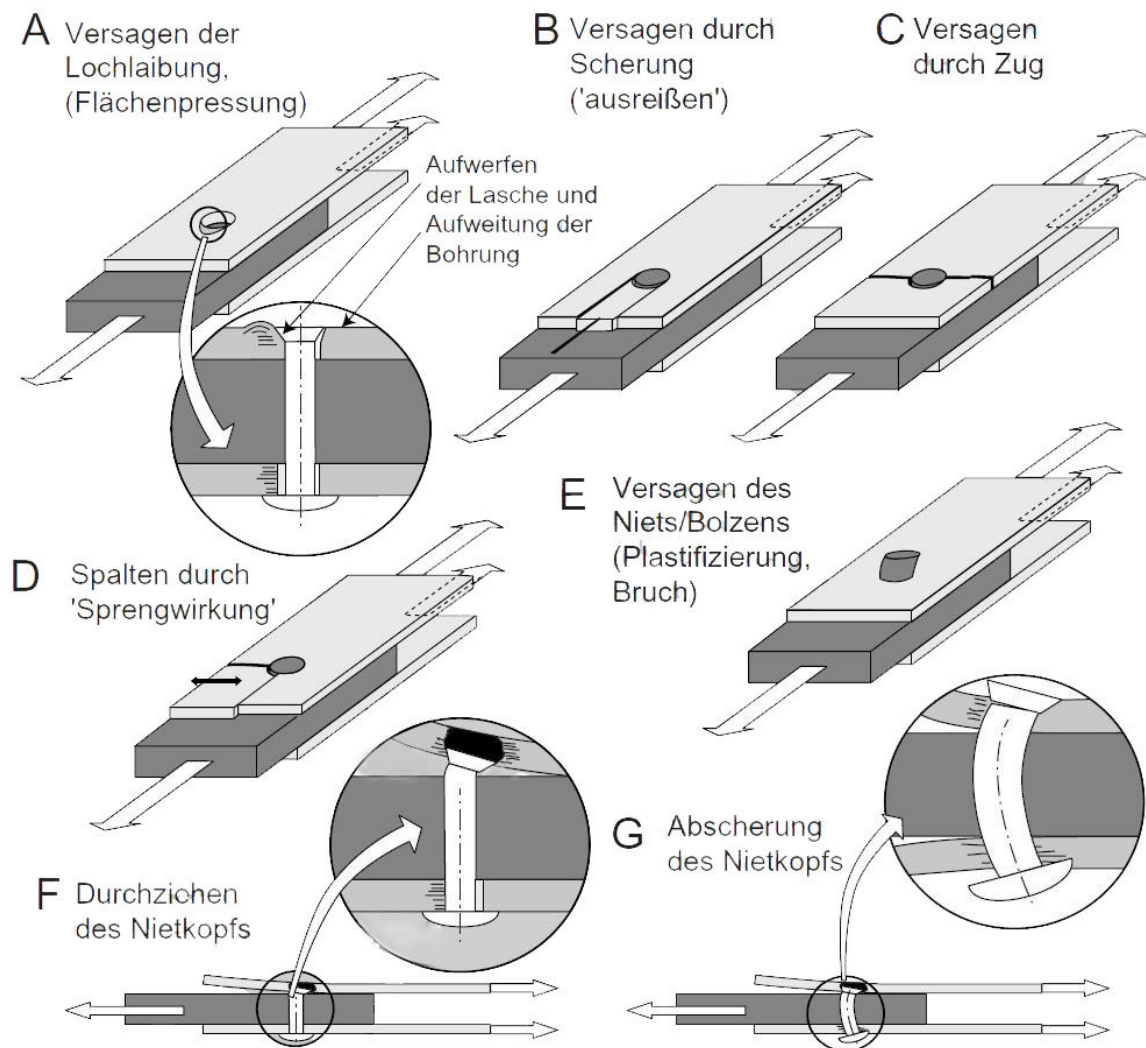


Abbildung 7.6: Schadensbilder von zweischnittigen Nietverbindungen mit faserverstärkten Kunststoffen (Rossmann, 2017)

7-2.1 A: LOCHLEIBUNGSVERSAGEN

Zum Lochleibungsversagen im Holz kann es kommen, wenn die Abstände des Verbindungsmittels zum Rand des Holzes und untereinander ausreichend groß sind. Ein solches Versagen der Verbindungen verhält sich duktil und kündigt sich durch eine Verformung des Bohrloches in Folge übermäßiger Längs- bzw. Querdruckbeanspruchung an. Abhängig ist der Widerstand gegen Lochleibungsversagen von der Rohdichte des Holzes, dem Holzprodukt und seiner Dicke, dem Durchmesser und der Art des Verbindungsmittels sowie ob vorgebohrt wird oder nicht (Schickhofer, 2009).

Für die Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit bei Verwendung von massiven stiftförmigen Verbindungsmitteln in herkömmlichen Holzprodukten liegen bewährte Bemessungsregeln vor. Sämtliche hier zitierten Lochleibungsfestigkeiten gelten für Passbolzen, die hinsichtlich ihrer Tragwirkung Nieten sehr ähnlich sind. Die Nieten werden mit Vorbohren in die Füge-teile eingebracht. Nähere Ausführungen dazu finden sich in Kapitel 7-2.4. Im Folgenden werden die vorhandenen Normen und Zulassungen hinsichtlich ihrer Modellgrenzen und ihrer daraus resultierenden Eignung für Formpressprofile dargelegt.

Die ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) gibt Bemessungsregeln zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit, in Abhängigkeit des Holzproduktes und des auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittels an. Für folgende Holzprodukte sind Regelungen angeführt:

- Vollholz oder BSH aus Nadelholz
- Vollholz oder BSH aus Laubholz
- Furnierschichtholz (LVL)
- Furniersperrholz

Die Bemessungsformel der Lochleibungsfestigkeit für Vollholz, BSH, und Furnierschichtholz entsprechend der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) lautet:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (7.2)$$

mit:

$f_{h,\alpha,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit bei Beanspruchung im Winkel α zur Faserrichtung in N/mm²

d Durchmesser des Verbindungsmittels in mm

ρ_k charakteristische Rohdichte des Holzwerkstoffes in kg/m³

α Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung in °

k_{90} Verhältniswert der Lochleibungsfestigkeit bei 0° zu 90°

1,35 + 0,015 d für Nadelhölzer

1,30 + 0,015 d für Furnierschichtholz LVL

0,90 + 0,015 d für Laubhölzer

Die Gl. (7.2) berücksichtigt zwar explizit auch Laubholz, jedoch ohne näher auf die unterschiedlichen Holzprodukte aus Laubholz einzugehen.

Formpressprofile sind aufgrund ihres Aufbaus Furnierschicht- bzw. -sperrholz zuzuordnen. ÖNORM EN 14374 (2016) zählt auch Furnierprodukte mit einzelnen Querlagen, sogenannte Absperrfurniere, zu Furnierschichtholz. Ab einem Anteil der Querlagen von zumindest 29 % ist das Furnierprodukt laut ÖNORM EN 12369-2 (2011) Furniersperrholz. Die Holzart fließt gegenwärtig indirekt über die Rohdichte ein. Jedoch werden in der Berechnung der Lochleibungsfestigkeit weder die Einflüsse aus unterschiedlichen holzanatomischen Gruppen, wie Nadelholz, zerstreut- und ringporiges Laubholz noch die Querlagen berücksichtigt.

Die Bemessungsformel der Lochleibungsfestigkeit für Furniersperrholz ist aufgrund der geringen Anisotropie vom Winkel zwischen Beanspruchungs- und Faserrichtung unabhängig und lautet gemäß ÖNORM B 1995-1-1 (2015a):

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (7.3)$$

mit:

$f_{h,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit, unabhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung in N/mm²

Laut ÖNORM EN 12369-2 (2011) gilt Furniersperrholz als ein Holzprodukt nur dann, wenn das Verhältnis von Längs- zu Querlagen höchstens 2,5 beträgt. Dies entspricht einem Anteil der Querlagen von zumindest 29 %. Des Weiteren wird eine mittlere Rohdichte von 350 – 750 kg/m³ gefordert. Erste Prototypen der Formpressprofile aus Buche von Staudacher (2016) haben beispielsweise eine mittlere Rohdichte von 761 kg/m³. Die mittlere Rohdichte hängt jedoch stark von der verwendeten Holzart ab. Daher ist bei Verwendung der Gl. (7.3) auf Einhaltung der Modellgrenzen zu achten.

Da die Bemessungsregeln aus der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für die Lochleibungsfestigkeit von Formpressprofilen aus Hartlaubholz nur unzureichende Ergebnisse liefern, da der Aufbau und / oder die Holzart der Formpressprofile je nach Bemessungsformel nicht adäquat berücksichtigt wird, wird im

Folgenden auf Zulassungen von artverwandten Holzprodukten verschiedener Hersteller und den Stand der Forschung eingegangen.

Die Bemessungsregeln für BauBuche unterscheiden bei der Lochleibungsfestigkeit nicht zwischen Produkten mit ausschließlich längs orientierten Furnierlagen und BauBuche Q. Für beide Produkte ist die Lochleibungsfestigkeit nach Gl. (7.2) entsprechend der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für Furnierschichtholz zu bemessen. Für Bolzen, Passbolzen und Stabdübel mit einem Durchmesser $\leq 8\text{mm}$ ist der Kraft-Faser-Winkel nicht zu berücksichtigen und $k_{90} = 1$ zu setzen. Für BauBuche Q gibt der Hersteller eine charakteristische Rohdichte von 730 kg/m^3 an. Die höhere Lochleibungsfestigkeit von BauBuche Q für die Beanspruchung in einem Winkel zur Faserrichtung der Decklagen wird indirekt über die effektive Verbindungsmittelanzahl berücksichtigt, die bei BauBuche Q im Vergleich zu BauBuche S der tatsächlichen Verbindungsmittelanzahl entspricht ($n_{ef} = n$) (Blaß und Streib, 2017).

Die Zulassung von Kerto-Q, das hinsichtlich seines Schichtaufbaus dem von Formpressprofilen gleicht jedoch aus Fichten- oder Kiefernholz hergestellt wird, gibt von ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) abweichende Lochleibungsfestigkeiten laut Gl. (7.4) an:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{37 \cdot (1 - 0,01 \cdot d)}{(1,15 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \geq f_{h,45,k} \quad (7.4)$$

mit:

$f_{h,45,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit bei Beanspruchungen im Winkel von 45° zur Faserrichtung der Deckfurniere in N/mm^2

Wird die Gleichung durch die Variable der charakteristischen Rohdichte, die bei Kerto-Q 480 kg/m^3 beträgt, erweitert, erhält man die allgemeinere Gl. (7.5) (DIBt, 2014).

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,077 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(1,15 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \geq f_{h,45,k} \quad (7.5)$$

Hübner (2013) hat auf Grundlage von zahlreichen Versuchen an Eschen-, Buchen- und Robinienholz eine gegenüber der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) modifizierte Regressionsgleichung aufgestellt, die die Lochleibungsfestigkeit von Vollholz aus Laubholz auf Basis seiner Ergebnisse besser abbildet:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,078 \cdot (1 - 0,0086 \cdot d) \cdot \rho_k}{(0,60 + 0,039 \cdot d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (7.6)$$

Er hat zudem eine neue Regressionsgleichung aufgestellt, welche seine Versuchsergebnisse am besten darstellt und laut ihm angewendet werden sollte. Sie gilt für Verbindungsmittel mit einem Durchmesser von $6 - 20\text{ mm}$ und einer Rohdichte des Vollholzes aus Laubholz bei 12% Holzfeuchte von $565 - 1.190\text{ kg/m}^3$:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,0026 \cdot d^{-0,2} \cdot \rho_k^{1,57}}{(1 - 0,48 \cdot d^{0,33}) \cdot \cos^3 \alpha + 0,48 \cdot d^{0,33}} \quad (7.7)$$

Die Ergebnisse der Recherche zum historischen Flugzeugbau ergaben, wie in Kapitel 6-2.2 erläutert, keine Regelungen zu Lochleibungsfestigkeiten die zur Bemessung von Verbindungen mit Formpressprofilen verwendet werden können.

In Abbildung 7.7 sind die charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten der einzelnen Holzprodukte für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 10 mm und einer faserparallelen Beanspruchungsrichtung in Abhängigkeit der charakteristischen Rohdichte aufgetragen. Die jeweils durchgezogenen Kurven kennzeichnen die Bereiche in welchen die jeweiligen Modellgrenzen eingehalten werden, die gestrichelten Kurven entsprechen den über die jeweiligen Modellgrenzen hinausgehenden Lochleibungsfestigkeiten für das jeweilige Holzprodukt. Außer den Bemessungsregeln für Kerto-Q nach Gl. (7.4), welche ein klar definiertes Holzprodukt mit einer charakteristischen Rohdichte von 480 kg/m^3

abbilden, können für die Bemessung von Hartlaubholzprodukten alle oben genannten Gleichungen herangezogen werden, sofern der Schichtaufbau mit den jeweiligen Modellgrenzen abgedeckt wird. Für Holzprodukte jenseits einer charakteristischen Rohdichte von 800 kg/m^3 liefert die Bemessung nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) mit Gl. (7.2) konservative Werte; hier sind mit der Bemessungsformel von Hübner (2013) entsprechend Gl. (7.7) realistischere Ergebnisse zu erwarten.

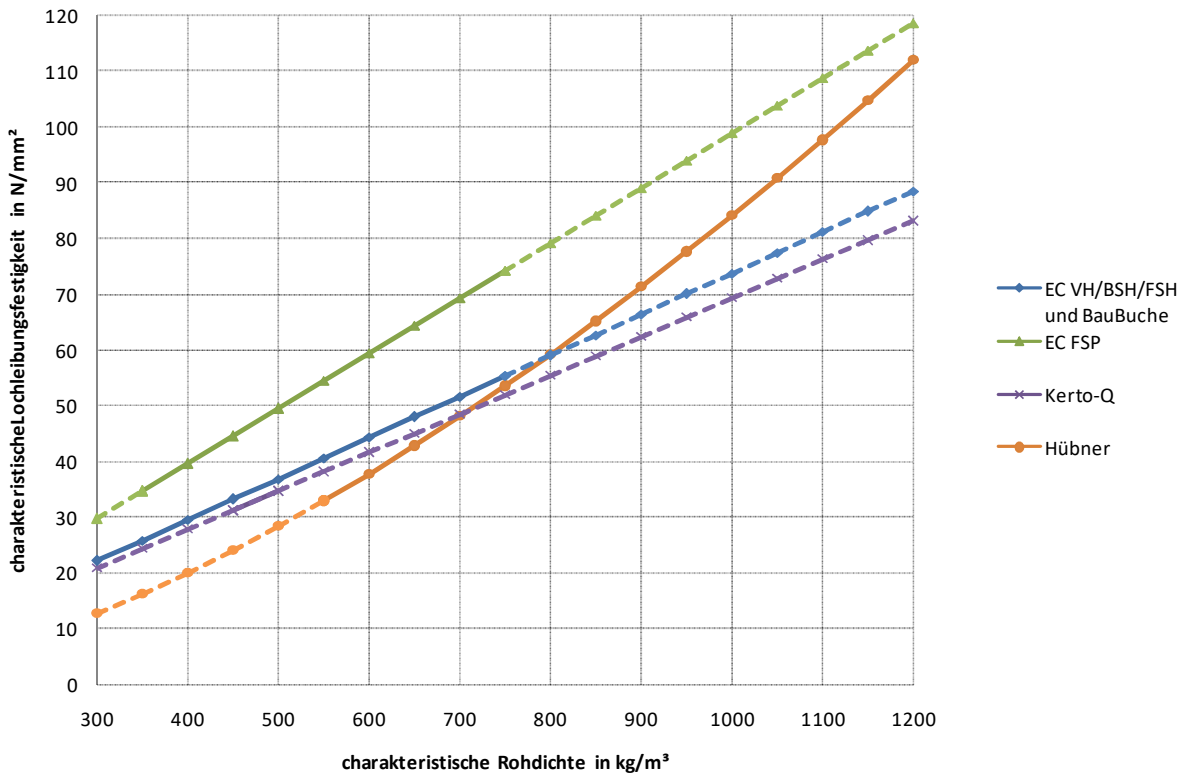


Abbildung 7.7: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. charakteristische Rohdichte; Beanspruchung in Faserrichtung der Decklagen; Verbindungsmitteldurchmesser 10 mm

In Abbildung 7.8 sind zur besseren Übersicht die Lochleibungsfestigkeiten für Beanspruchungen parallel zur Faserrichtung der Decklagen für die oben erwähnten Bemessungsformeln am Beispiel eines Holzproduktes mit einer Rohdichte von 730 kg/m^3 dargestellt. Dieser Wert entspricht der charakteristischen Rohdichte von BauBuche Q und ist auch bei Formpressprofilen aus Buchenfurnieren zu erwarten. Für Beanspruchungen in Faserrichtung der Decklagen kann die Gl. (7.2) nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für Furnierschichtholz einen konservativen Ansatz darstellen, die tatsächliche Lochleibungsfestigkeit wird aufgrund der Querlagen höher liegen. Die Bemessungsgleichung (7.3) für Sperrholz laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) liefert höhere Lochleibungsfestigkeiten als die anderen Gleichungen, hierbei ist jedoch auf Einhaltung der Modellgrenzen, wie zuvor beschrieben, zu achten.

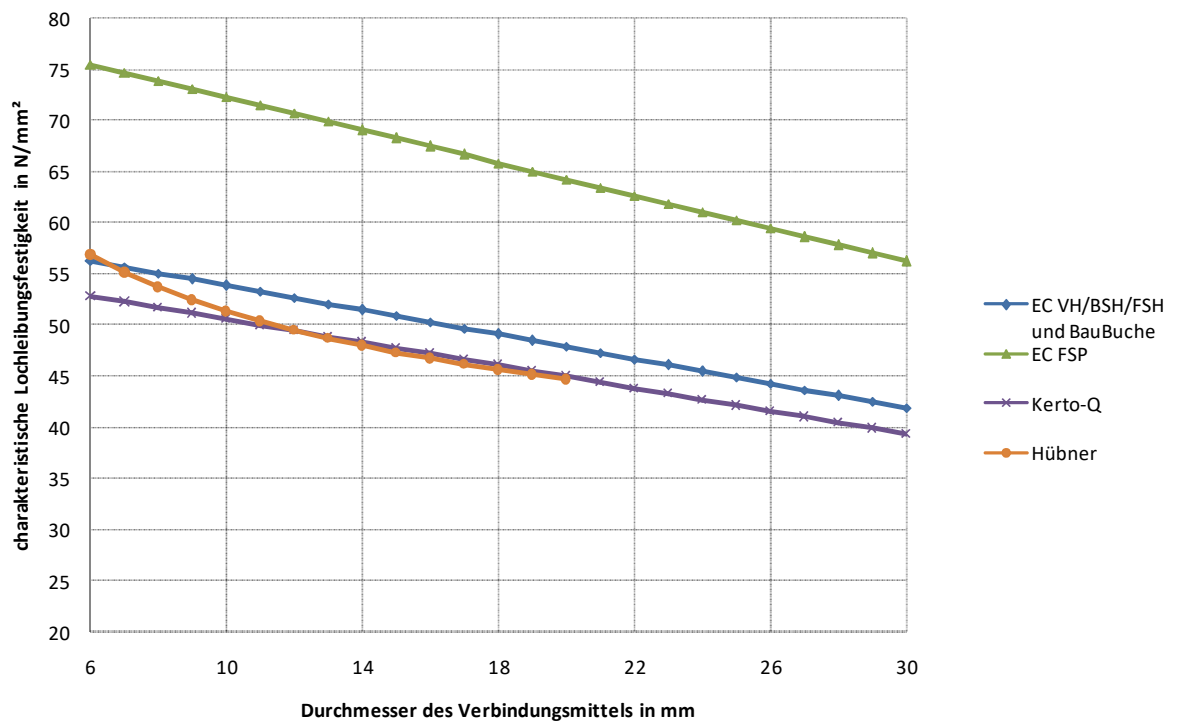


Abbildung 7.8: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. Verbindungsmitteldurchmesser; Beanspruchung in Faserrichtung der Decklagen

In Abbildung 7.9 sind zur besseren Übersicht die Lochleibungsfestigkeiten für Beanspruchungen quer zur Faserrichtung der Decklagen für die oben erwähnten Bemessungsformeln am Beispiel eines Holzproduktes mit einer Rohdichte von 730 kg/m^3 ersichtlich. Für die Bemessung nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) mit Gl. (7.3) für Furniersperrholz gelten auch hier die analogen Überlegungen. Die Lochleibungsfestigkeit von Sperrholz wird bei größer werdendem Winkel zwischen Last- und Faserrichtung nicht reduziert, da aufgrund des Schichtaufbaus ähnliche Festigkeiten in allen Richtungen zu erwarten sind. Die Bemessungsformel für BauBuche Q bzw. Furnierschichtholz laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) nach Gl. (7.2) bietet für eine Beanspruchung quer zu Faserrichtung der Decklagen einen konservativen Ansatz, da die günstig wirkenden Querlagen nicht berücksichtigt werden. Für die Bemessung der Lochleibungsfestigkeit von Kerto-Q nach Gl. (7.5) wird ab einem Winkel von 45° zwischen der Beanspruchungsrichtung und der Faserrichtung der Decklagen keine weitere Reduktion der Festigkeit mehr vorgesehen, somit sind hier rechnerisch höhere Festigkeiten das Ergebnis.

Laut den Bemessungsrichtlinien für BauBuche (Blaß und Streib, 2017) ist bei Verbindungsmitteln mit einem Durchmesser $\leq 8 \text{ mm}$ der Einfluss des Winkels zwischen Beanspruchungs- und Faserrichtung nicht zu berücksichtigen. Daraus resultiert die höhere Lochleibungsfestigkeit von BauBuche im Vergleich zu jener von Furnierschichtholz laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) in diesem Durchmesserbereich.

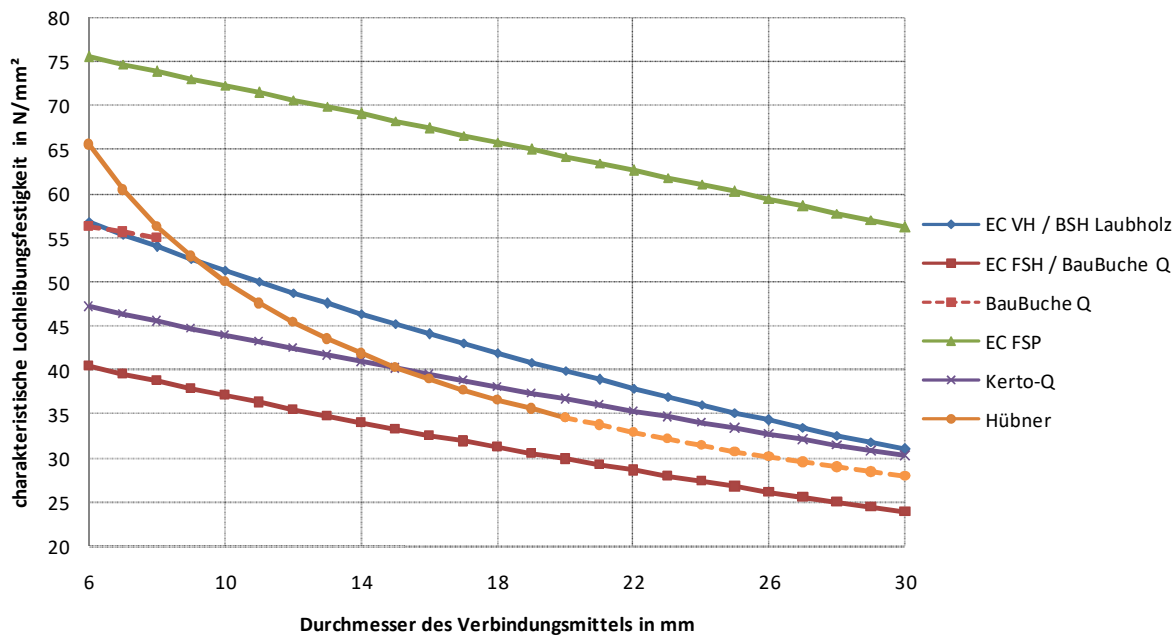


Abbildung 7.9: Lochleibungsfestigkeiten für Beanspruchung quer zur Faserrichtung der Decklagen

In den Abbildungen 7.10 und 7.11 ist die Lochleibungsfestigkeit in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Beanspruchung und Faserrichtung der Decklagen für Verbindungsmittel mit 10 mm und 20 mm Durchmesser dargestellt. Auffällig ist die starke Verminderung der Lochleibungsfestigkeit bei Furnierschichtholz unter Verwendung des entsprechenden k_{90} Beiwertes laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) gemäß Gl (7.2), die auch zur Bemessung von BauBuche Q verwendet wird, im Vergleich zur Bemessung mit dem k_{90} Beiwert für Laubholz. Hier ist die Bemessungsformel für Furnierschichtholz zu konservativ zu sehen, da im Vergleich zu Laubholz aus Vollholz bei Formpressprofilen aus Hartlaubholz der Einfluss der Beanspruchungsrichtung aufgrund der zusätzlichen Querlagen geringer sein sollte. Um hier eine adäquate Regressionsgleichung für Formpressprofile aus Hartlaubholz zu bestimmen ist noch weitere Entwicklungsarbeit notwendig.

Als ersten Ansatz für die Bemessung der Lochleibungsfestigkeit werden die Regelungen für BauBuche empfohlen.

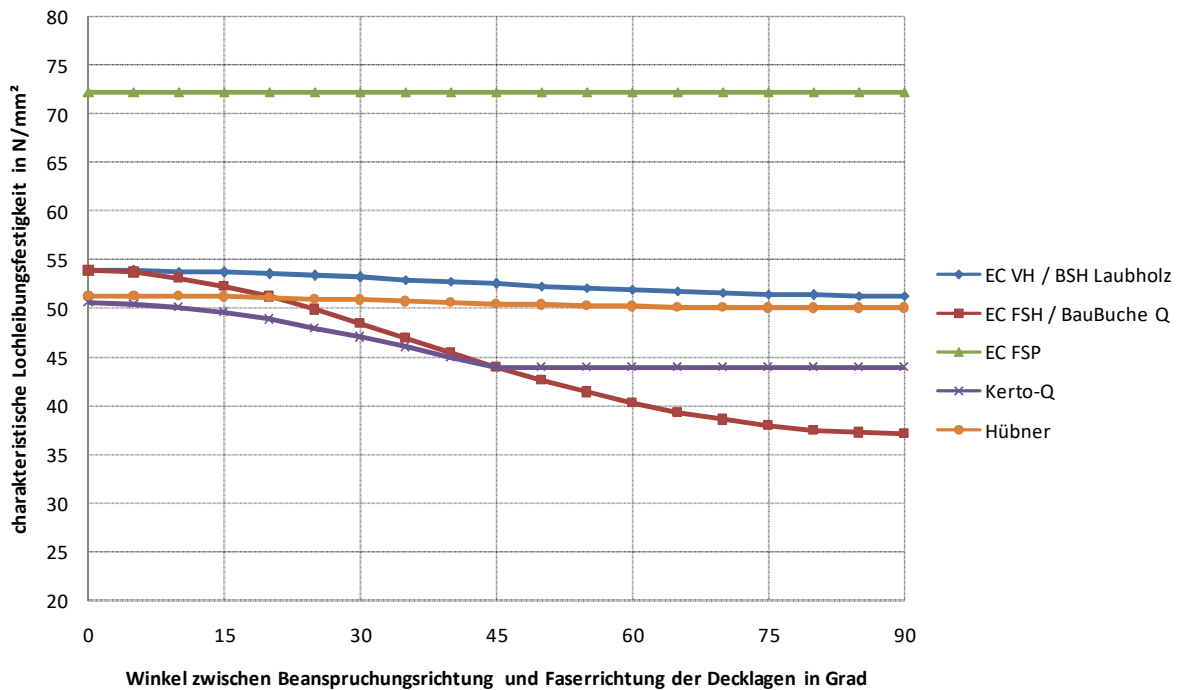


Abbildung 7.10: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. Last-Faserwinkel bezogen auf die Decklagen; Verbindungsmitteldurchmesser 10 mm

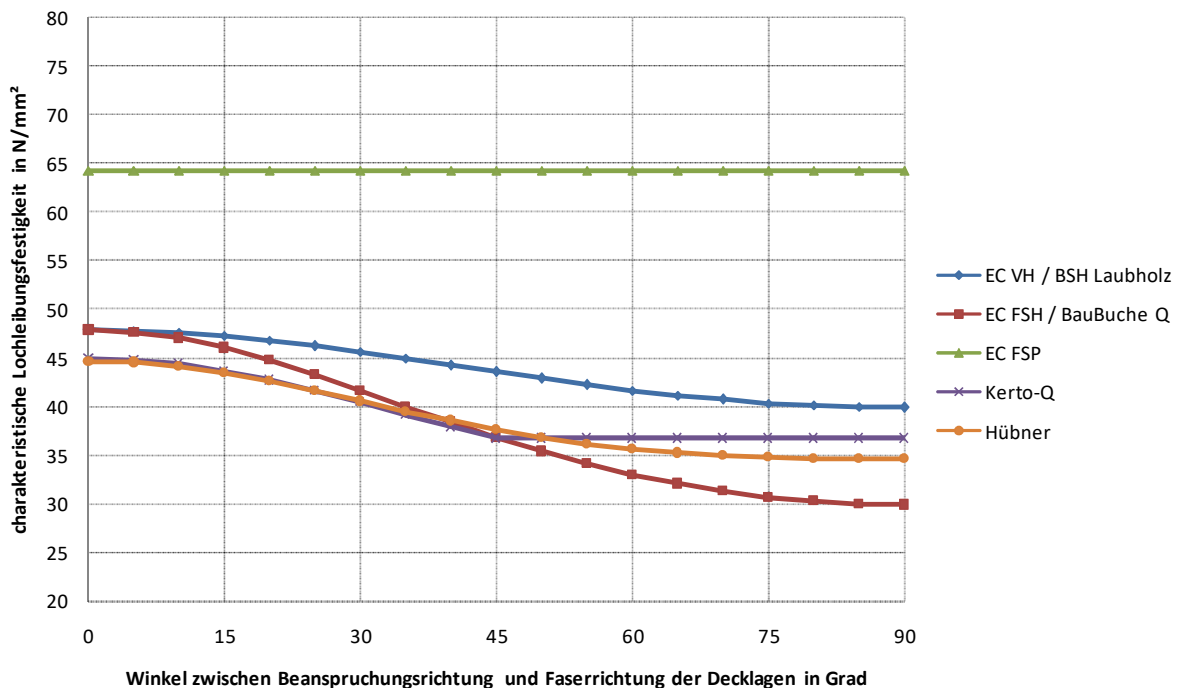


Abbildung 7.11: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. Last-Faserwinkel bezogen auf die Decklagen; Verbindungsmitteldurchmesser 20 mm

Zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit bei der Verwendung von Verbindungsmitteln mit einem Hohlquerschnitt, wie zum Beispiel Rohrniete, liegen nur wenige Versuchsdaten vor, jedoch ist davon auszugehen, dass der Hohlquerschnitt gegenüber dem Vollquerschnitt keinen wesentlichen Einfluss auf die Lochleibungsfestigkeit hat. Der Einfluss auf die verschiedenen Versagensmodi durch Kombination von Lochleibungs- und Fließversagen wird in Kapitel 7-2.5 behandelt.

Pilgrim (1940) nimmt bei seiner Bemessung der Tragfähigkeit von Verbindungsmittel auf Abscheren keine Unterscheidung zwischen Verbindungsmitteln mit Voll- und Hohlquerschnitt vor. Für hohle Verbindungsmittel wird der Außendurchmesser des Verbindungsmittels zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit verwendet.

Auch Leijten (1998) verwendet zur Bemessung der Lochleibungsfestigkeit des Holzquerschnittes die Bemessungsformel der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für Vollholz und BSH und erhöht diese um 10 %, begründet durch den sogenannten Rückhalteeffekt durch die Verstärkung mit angeklebten, verdichteten Furniersperrholzplatten. Querlagen in Formpressprofilen bewirken auch diesen verstärkenden Rückhalteeffekt. Für eine erste Potentialabschätzung und mangels Kenntnis des genauen Schichtaufbaues der Formpressprofile wird dieser Rückhalteeffekt hier nicht berücksichtigt.

Leijten testete Rohrprofilanschlüsse von 18 mm – 35 mm Durchmesser und konnte jenen Teil der Versuche, deren Ergebnisse durch Lochleibungsversagen bestimmt wurden, zur Validierung seiner Annahmen heranziehen. In Abbildung 7.12 ist die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus 41 Versuchen und dem Bemessungsmodell ersichtlich. Alle Datenpunkte unterhalb der Diagonalen zeigen eine sichere Approximation des Modells an. Die Bemessungswerte unter Verwendung der charakteristischen Rohdichte (5 % Fraktile) erreichen nahezu alle Versuchsergebnisse.

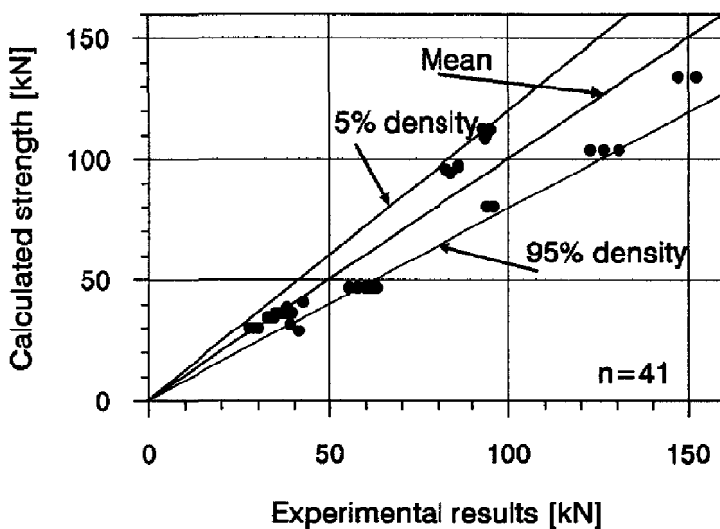


Abbildung 7.12: Tragfähigkeitsvorhersage der Verbindung pro Verbindungsmittel und Scherebene im Vergleich zu den Testergebnissen (Leijten, 1998)

7-2.2 B: SCHERBRUCH

Ist der Abstand eines Verbindungsmittels in Faserrichtung zum beanspruchten Ende des Holzes zu gering kann ein Scherbruch auftreten. Radial gerichtete Spannungen im Lasteinleitungsbereich führen zu einer Spaltkraft, die das Holz auf Querzug und Schub beansprucht. Dieses Versagen ist spröde, nur bedingt prognostizierbar und somit durch entsprechende Regelungen der Mindestrand- und -zwischenabstände zu vermeiden. Bei der Ausführung einer Verbindung mit mehreren Verbindungsmitteln kann es bei zu geringem Abstand zwischen den einzelnen Verbindungsmitteln zu einem Block- bzw. Linienscherversagen kommen (Schickhofer, 2009).

Für Holzprodukte aus Nadelholz, wie Vollholz, BSH oder BSP, sind Bemessungsregeln für Mindestabstände in den entsprechenden Normen verankert. Für Furnierschichtholz aus Hartlaubholz können die Angaben aus der Bemessungsrichtlinie für BauBuche (Blaß und Streib, 2017) herangezogen werden. Im historischen Holzflugzeugbau wurden, wie im Kapitel 6-2 erläutert, Mindestabstände angegeben, jedoch ist bis auf die Angaben von Winter (1944) nicht davon auszugehen, dass bei Einhaltung dieser Randabstände Scherbruch ausgeschlossen wird. Winter gibt für Buchensperrholz einen Mindestabstand vom 6-fachen des Außendurchmessers des Verbindungsmittels zum beanspruchten Rand

an um einen Scherbruch zu verhindern.

In Abbildung 7.13 sind die Bezeichnungen der Verbindungsmittelabstände laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für die weiteren Untersuchungen ersichtlich.

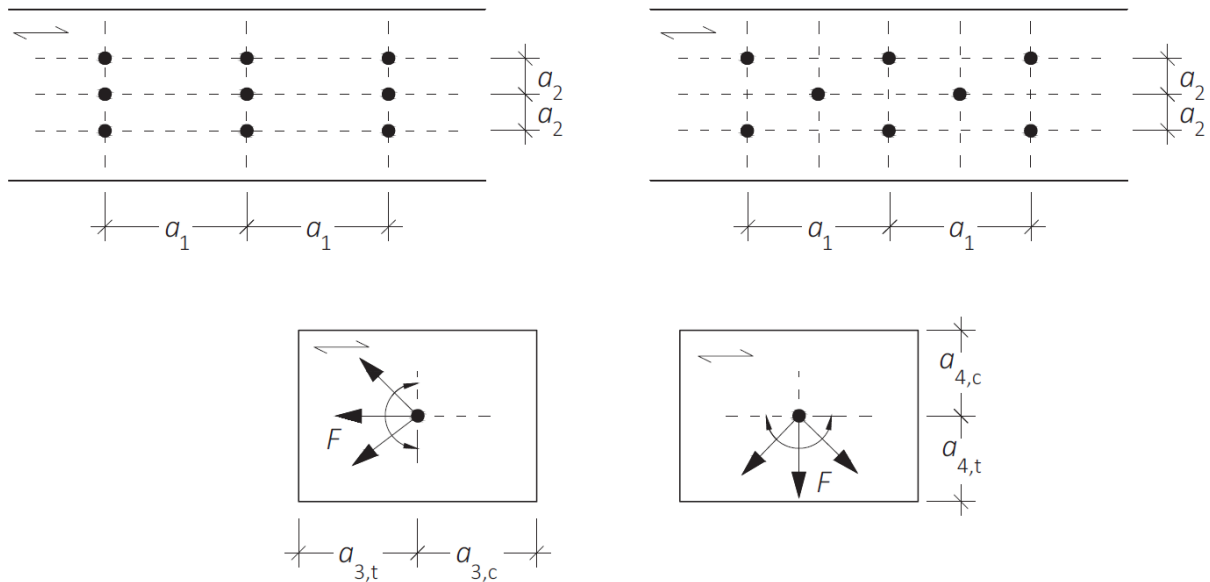


Abbildung 7.13: Bezeichnung der Verbindungsmittelabstände (Blaß und Sandhaas, 2016)

In Tabelle 7.1 sind alle relevanten Mindestabstände für Verbindungsmittel aus den vorhandenen Normen, Zulassungen und Forschungsberichten zusammengestellt.

Tabelle 7.1: Mindestabstände

Mindestabstände	EC 5 Passbolzen & Stabdübel in Holz und Holzwerkstoffen (ASI, 2015a)	EC 5 Nägel in Sperrholz mit Vorbohren (ASI, 2015a)	Passbolzen & Stabdübel in BauBuche (alle Holzprodukte) (Blaß und Streib, 2017)	Stabdübel in Deckflächen Kerto-Q (DIBt, 2014)	Bolzen in Normal-sperrholz (Winter, 1944)	Rohrniete in verstärktem Holz (Leijten, 1998)
a_1	$(3+2 \cos \alpha) d$	$0,85 (4+\cos \alpha) d$	$(3+2 \cos \alpha) d$	$(3+\cos \alpha) d$	–	–
a_2	$3 d$	$0,85 (3+\sin \alpha) d$	$3 d$	$3 d$	–	–
$a_{3,t}$	$\max (7 d; 80 \text{ mm})$	$(3+4 \cos \alpha) d$	$\max (7 d; 80 \text{ mm})$	$\max (4 d; 60 \text{ mm})$	$6 d$	$3,5 d_a$
$a_{3,c} (90^\circ - 150^\circ; 210^\circ - 270^\circ)$	$a_{3,t} \sin \alpha$	$3 d$	$\max (a_{3,t} \sin \alpha; 3 d)$	$(3+\sin \alpha) d$	–	$2,0 d_a$
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	$\max (3,5 d; 40 \text{ mm})$	$3 d$	$3 d$	$(3+\sin \alpha) d$	–	$2,0 d_a$
$a_{4,t}$	$\max (3 d; (2+2 \sin \alpha) d)$	$(3+4 \sin \alpha) d$	$\max (3 d; (2+2 \sin \alpha) d)$	$\max (3 d; (2+2 \sin \alpha) d)$	–	$3,5 d_a$
$a_{4,c}$	$3 d$	$3 d$	$3 d$	$3 d$	$1,5 d$	$3,0 d_a$

Zur besseren Veranschaulichung der unterschiedlichen Regelungen betreffend der Verbindungsmittelabstände werden in den Tabellen 7.2 und 7.3 die Mindestabstände für ein Verbindungsmittel mit 10 mm Durchmesser für eine Beanspruchung längs bzw. quer zur Faser dargestellt.

Tabelle 7.2: Mindestabstände für Beanspruchungen parallel zur Faserrichtung für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 10 mm

Mindestabstände	EC 5 Passbolzen & Stabdübel in Holz und Holzwerkstoffen (ASI, 2015a)	EC 5 Nägel in Sperrholz mit Vorbohren (ASI, 2015a)	Passbolzen & Stabdübel in BauBuche (alle Holzprodukte) (Blaß und Streib, 2017)	Stabdübel in Deckflächen Kerto-Q (DIBt, 2014)	Bolzen in Normal-sperrholz (Winter, 1944)	Rohrniete in verstärktem Holz (Leijten, 1998)
a_1	50 mm	42,5 mm	50 mm	40 mm	–	–
a_2	30 mm	25,5 mm	30 mm	30 mm	–	–
$a_{3,t}$	80 mm	70 mm	80 mm	60 mm	60 mm	35 mm
$a_{3,c}$ (150° – 210°)	40 mm	30 mm	30 mm	30 mm	–	20 mm
$a_{4,t}$	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm	–	35 mm
$a_{4,c}$	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm	15 mm	30 mm

Tabelle 7.3: Mindestabstände für Beanspruchungen quer zur Faserrichtung für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 10 mm

Mindestabstände	EC 5 Passbolzen & Stabdübel in Holz und Holzwerkstoffen (ASI, 2015a)	EC 5 Nägel in Sperrholz mit Vorbohren (ASI, 2015a)	Passbolzen & Stabdübel in BauBuche (alle Holzprodukte) (Blaß und Streib, 2017)	Stabdübel in Deckflächen Kerto-Q (DIBt, 2014)	Bolzen in Normal-sperrholz (Winter, 1944)	Rohrniete in verstärktem Holz (Leijten, 1998)
a_1	30 mm	34 mm	30 mm	30 mm	–	–
a_2	30 mm	34 mm	30 mm	30 mm	–	–
$a_{3,t}$	80 mm	30 mm	80 mm	60 mm	60 mm	35 mm
$a_{3,c}$ (90° – 150°; 210° – 270°)	80 mm	30 mm	80 mm	40 mm	–	20 mm
$a_{4,t}$	40 mm	70 mm	40 mm	40 mm	–	35 mm
$a_{4,c}$	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm	15 mm	30 mm

Bei den Abständen der Verbindungsmittel untereinander liegen die unterschiedlichen Quellen nah beieinander, lediglich in der weiteren Bemessung kann es je nach Holzprodukt in der Ermittlung der effektiven Verbindungsmittelanzahl n_{ef} zu einer mehr oder weniger starken Reduzierung der Verbindungsmittel kommen. Diese Reduktion wird in Kapitel 7-2.9 näher behandelt.

Die Abstände zum Rand des Holzes variieren sehr stark. Bei Holzprodukten ohne Querlagen sind die geforderten Mindestabstände am größten. Die Mindestabstände bei Sperrholz und Kerto-Q sind geringer; dies ist maßgeblich auf die höhere Querzug- und Schubfestigkeit des Produktes durch die Querlagen zurückzuführen.

Die Mindestabstände von Leijten (1998) sind im Vergleich zu den anderen Quellen geringer. Dies ist einerseits durch die Verstärkung mit verdichtetem Furniersperrholz und andererseits auf die geringere Tragfähigkeit der Rohrniete bezogen auf den Außendurchmesser im Vergleich zu massiven

Verbindungsmitteln und der daraus folgenden geringeren Spannungen im Bereich der Lochleibung zu erklären. Eine Reduktion der Mindestabstände für Nieten mit Hohlquerschnitten wäre somit denkbar.

Als ersten Ansatz können die Richtlinien für BauBuche für die Bestimmung der Mindestabstände in Formpressprofilen dienen.

7-2.3 C: NETTOBRUCH

Zur Abklärung eines möglichen spröden Zugversagens lokal im durch die Verbindung geschwächten Querschnitt ist ein Nettoquerschnittsnachweis zu führen. Ausgenommen davon sind Schwächungen des Querschnittes durch Schrauben und Nägel mit einem Schaftdurchmesser ≤ 5 mm, die ohne Vorbohren appliziert werden (Schickhofer, 2009).

Befindet sich der Querschnitt in der Druck- oder Biegedruckzone und wird die Schwächung des Holzquerschnittes durch ein Material ausgefüllt dessen Steifigkeit höher ist als die Steifigkeit des Holzes in Beanspruchungsrichtung, kann der Nachweis gemäß EC 5 mit dem Bruttoquerschnitt geführt werden. Um den gesamten Querschnitt ansetzen zu dürfen ist es notwendig die Schwächung ohne Lochspiel zu schließen (Schickhofer, 2009). Bei hohlen Füllquerschnitten ist zu prüfen, ob diese tatsächlich eine höhere Steifigkeit, als das sie umgebende Holz besitzen und die Druckbeanspruchung tatsächlich weiterleiten können. Zudem zeigen aktuelle Untersuchungen des KIT (Enders-Comberg, 2015), dass lokale Spannungsspitzen infolge der Bohrungen die Tragfähigkeit des Holzbauteiles auch bei Druckbeanspruchung im Ausmaß vergleichbar mit der Querschnittsreduktion schwächen. Somit gilt auch bei Einbringung von Verbindungsmitteln mit Vollquerschnitt, dass auch bei Druckbeanspruchung die Querschnittsreduktion entsprechend zu berücksichtigen ist.

7-2.4 D: SPALTUNG DES HOLZES

Wird eine Verbindung nicht vorgebohrt ist sicherzustellen, dass sich durch das Eintreiben des Verbindungsmittels gebildete Risse nicht ausbreiten. Dazu ist es notwendig lokale Spannungsspitzen mit ausreichenden Mindestabständen abbauen zu können. Die Spaltwirkung ist von der Holzart, der Holzdicke und der Beanspruchungsrichtung abhängig (Schickhofer, 2009). Anhaltspunkte für das Spaltverhalten von Furniersperrhölzern unterschiedlicher Holzarten kann die Tabelle 6.2 bieten.

Dünne Profile und Harthölzer neigen eher zum Spalten. Die Bemessungsrichtlinien für BauBuche beziehen sich hierbei auf die ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) wonach Verbindungen unter Verwendung von Verbindungsmitteln mit einem Durchmesser größer als 6 mm, speziell Nagelverbindungen, wegen einer Rohdichte der BauBuche über 500 kg/m^3 , vorzubohren sind. Auch hier differenziert die Bemessungsrichtlinie nicht zwischen BauBuche mit ausschließlich längs orientierten Furnierlagen und BauBuche Q. Bei BauBuche Q ist aufgrund der Querlagen von einer geringeren Spaltneigung auszugehen; eine Applikation ohne Vorbohren wird als möglich erachtet (ASI, 2015a; Blaß und Streib, 2017).

Auch in der Zulassung von Kerto-Q (DIBt, 2014) wird auf die ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) verwiesen. Aufgrund der geringeren Rohdichte des Holzproduktes ist hier bei einer entsprechenden Mindestdicke des Holzes eine Anordnung von Nagelverbindungen ohne Vorbohren möglich. Die Bedingung für die Mindestdicke von Kerto-Q bei nicht vorgebohrten Nagelverbindungen in den Deckflächen unter Berücksichtigung der charakteristischen Rohdichte von 480 kg/m^3 ist in Gl. (7.8) angegeben.

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \cdot \frac{480}{400} \end{array} \right. \quad (7.8)$$

mit:

t Mindestdicke der Kerto-Q Platte in mm

d Durchmesser der Nägel in mm

Eine nähere Berücksichtigung der reduzierten Spaltgefahr durch die Querlagen erfolgt hier nicht. Bei Anwendung der Gl. (7.8) auf Formpressprofile mit einer charakteristischen Rohdichte von 730 kg/m^3 würde dies einen Verbindungsmitteldurchmesser von 2,1 ($t = 15 \text{ mm}$) bis zu 3,5 mm ($t = 30 \text{ mm}$) bedeuten.

Sollte eine Verbindung ohne Vorbohren in Formpressprofilen aus Hartlaubholz appliziert werden, ist im Vorfeld eine Untersuchung der möglichen Durchmesser der Verbindungsmittel durchzuführen, bis zu deren Größe keine Spaltung des Holzes auftritt. Zum jetzigen Zeitpunkt wird bei allen Verbindungsmitteln ein Vorbohren der Formpressprofile aus Hartlaubholz empfohlen.

7-2.5 E: FLIEßEN DES VERBINDUNGSMITTELS

Bei ein- und mehrschnittigen Verbindungen tritt aufgrund von Exzentrizität im Verbindungsmittel ein Biegemoment auf, das zur Verformung und im Extremfall zum Bruch des Verbindungsmittels führt. Die Verformung des Stiftes ist von der Lochleibungsfestigkeit des Holzes und dem Fließmoment des Stiftes abhängig. Die Interaktion dieser beiden Parameter kann je nach Geometrie und Festigkeiten zu unterschiedlichen kombinierten Versagen führen, die mit der Johansen Theorie für ein- und mehrschnittige Holz-Holz und Stahl-Holz Verbindungen bestimmt werden können.

Die Berechnung des Fließmomentes von Vollkreisquerschnitten, wie Stabdübel, Bolzen und Schrauben, erfolgt auf Grundlage einer Regressionsgleichung, die aus zahlreichen Versuchen empirisch ermittelt wurde. In der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) ist die Gl. (7.9) zur Ermittlung des Fließmomentes verankert.

$$M_{y,KQS,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (7.9)$$

mit:

$M_{y,KQS,k}$ charakteristisches Fließmoment eines Verbindungsmittels mit Vollkreisquerschnitt in Nmm

$f_{u,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Verbindungsmittelwerkstoffes in N/mm^2

d Durchmesser des Verbindungsmittels in mm

Neuere Erkenntnisse führten zu einer Bemessungsformel, die das tatsächliche Verhalten der Verbindungsmittel, besonders unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Stahlgüten der Verbindungsmittel, konform zur Mechanik besser beschreibt:

$$M_{y,KQS,k} = \frac{f_{y,ef} \cdot d^3}{6} \quad (7.10)$$

mit:

$M_{y,KQS,k}$ charakteristisches Fließmoment eines Verbindungsmittels mit Vollkreisquerschnitt in Nmm

$f_{y,ef}$ effektive Streckgrenze des Verbindungsmittelwerkstoffes in N/mm^2

d Durchmesser des Verbindungsmittels in mm

Dabei ergibt sich die effektive Streckgrenze des Verbindungsmittelwerkstoffes zu (Blaß und Colling, 2015):

$$f_{y,ef} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{0,9 \cdot (f_{y,k} + f_{u,k})}{2} & \text{für } f_{u,k} < 450 \text{ N/mm}^2 \\ 0,9 \cdot f_{u,k} & \text{für } f_{u,k} > 450 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\} \quad (7.11)$$

mit:

- $f_{y,ef}$ effektive Streckgrenze des Verbindungsmittelwerkstoffes in N/mm²
- $f_{y,k}$ charakteristischer Wert der Streckgrenze des Verbindungsmittelwerkstoffes in N/mm²
- $f_{u,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Verbindungsmittelwerkstoffes in N/mm²

Auffällig ist, dass in Gl. (7.10) das Fließmoment mit dem plastischen Widerstandsmoment eines Kreisquerschnittes berechnet wird. Wird nun der Term für das plastische Widerstandsmoment eines Kreisquerschnittes durch den Term für das plastische Biegemoment eines Hohlkreisquerschnittes ersetzt, erhält man mit Gl. (7.12) eine Abschätzung des Fließmomentes für hohle Verbindungsmittel.

$$M_{y,HQS,k} = \frac{f_{y,ef} \cdot (d_a^3 - d_i^3)}{6} \quad (7.12)$$

mit:

- $M_{y,HQS,k}$ charakteristisches Fließmoment eines Verbindungsmittels mit Hohlkreisquerschnitt in Nmm
- $f_{y,ef}$ effektive Streckgrenze des Verbindungsmittelwerkstoffes in N/mm²
- d_a Außendurchmesser des Verbindungsmittels in mm
- d_i Innendurchmesser des Verbindungsmittels in mm

Jedoch kann es aufgrund von Verbeulungen im Querschnitt vor Erreichen des Fließmomentes des Verbindungsmittels zu einer Ellipsenbildung des Hohlkreisquerschnittes kommen und einer damit einhergehenden Verringerung des plastischen Widerstandsmomentes, wie es auch Leijten (1998) in seinen Untersuchungen feststellte. Die Gl. (7.12) kann daher nur für eine erste Abschätzung einer oberen Grenze des Fließmomentes dienen.

Die Gl. (7.13) zeigt die Formel zu Ermittlung des Fließmomentes eines elliptischen Hohlquerschnittes. Die notwendigen Abmessungen sind in Abbildung 7.14 dargestellt.

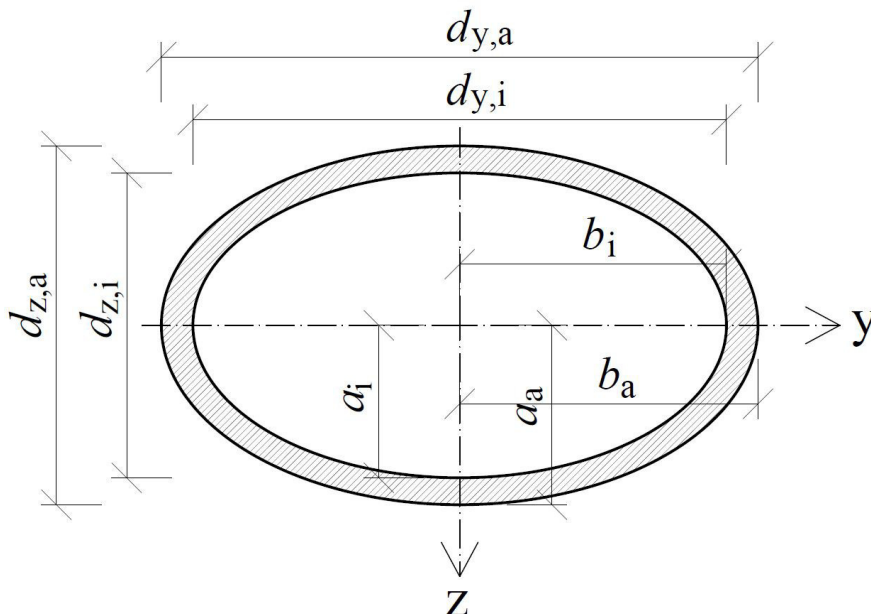


Abbildung 7.14: Abmessungen des elliptischen Hohlquerschnittes

$$M_{y,HEI,k} = \frac{4 \cdot f_{y,ef} \cdot (a_a^2 \cdot b_a - a_i^2 \cdot b_i)}{3} = \frac{f_{y,ef} \cdot (d_{z,a}^2 \cdot d_{y,a} - d_{z,i}^2 \cdot d_{y,i})}{6} \quad (7.13)$$

mit:

- $M_{y,HEI,k}$ charakteristisches Fließmoment eines Verbindungsmittels mit einem elliptischen Hohlquerschnitt in Nmm
- a_a vertikale Halbachse der äußeren Ellipse (in z-Richtung) in mm
- b_a horizontale Halbachse der äußeren Ellipse (in y-Richtung) in mm
- a_i vertikale Halbachse der inneren Ellipse (in z-Richtung) in mm
- b_i horizontale Halbachse der inneren Ellipse (in y-Richtung) in mm
- $d_{z,a}$ Außendurchmesser des Verbindungsmittels in z-Richtung in mm
- $d_{y,a}$ Außendurchmesser des Verbindungsmittels in y-Richtung in mm
- $d_{z,i}$ Innendurchmesser des Verbindungsmittels in z-Richtung in mm
- $d_{y,i}$ Innendurchmesser des Verbindungsmittels in y-Richtung in mm

Wie in Abbildung 7.15 ersichtlich, wird das plastische Widerstandsmoment und somit das Fließmoment der Hohlellipse in Abhängigkeit des Durchmesserverhältnisses $d_{z,a} / d_{y,a}$ durch eine quadratische Funktion beschrieben.

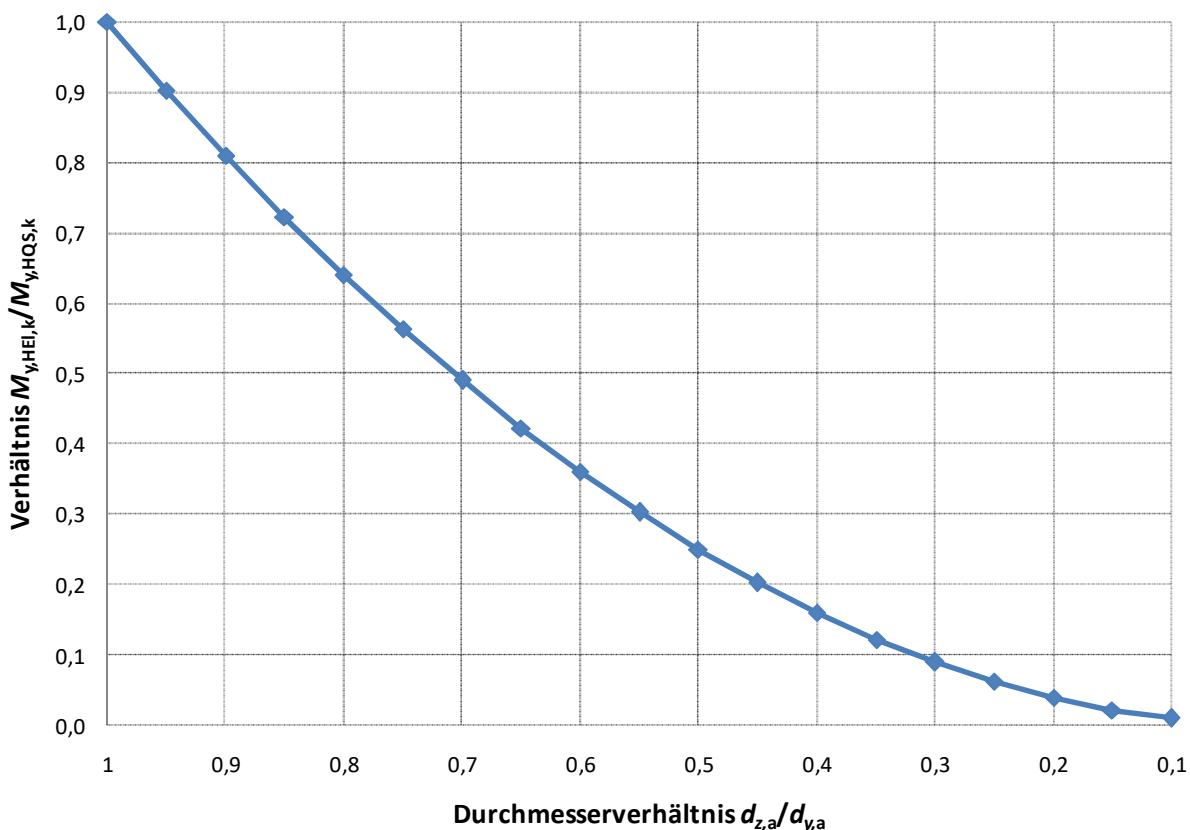


Abbildung 7.15: Reduktion des Fließmomentes in Abhängigkeit vom Durchmesserverhältnis $d_{z,a} / d_{y,a}$

Der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Beulens des Hohlquerschnittes k_b , wie in Gl. (6.2) angeführt, kann am besten in das Bemessungskonzept ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) eingegliedert werden, wenn der Abminderungsfaktor in den Johansen Gleichungen, welche nicht ein reines Lochleibungsversagen beschreiben, linear ergänzt wird. Somit sind eine Berücksichtigung des Beulens in

der Ermittlung des Versagensfalles und eine Abminderung der Tragfähigkeit für jene Versagensfälle, wo Fließen des Verbindungsmittels vorhanden ist, gegeben.

7-2.6 F: DURCHZIEHEN DES NIETKOPFES

Ist der Nietkopf zu klein gestaltet kann ein örtliches Versagen des Holzes auf Querdruck aufgrund geplanter oder ungeplanter Kräfte in Nietlängsrichtung auftreten. Um dies zu verhindern ist mit ausreichend großen Nietköpfen oder Unterlegscheiben dafür zu sorgen, dass sich die Last auf eine ausreichend große Fläche verteilt. Die Gl. (7.14) führt die Bemessung der axialen Tragfähigkeit laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) und den Bemessungsrichtlinien von BauBuche an (Blaß und Streib, 2017).

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} A_{riv} \cdot f_{t,riv,k} \\ 3 \cdot A_{head} \cdot f_{c,90,k} \end{array} \right\} \quad (7.14)$$

mit:

$R_{ax,k}$	charakteristische axiale Tragfähigkeit der Verbindung in N
A_{riv}	Querschnittsfläche des Verbindungsmittels in mm ²
$f_{t,riv,k}$	charakteristische axiale Zugfestigkeit des Verbindungsmittels N/mm ²
A_{head}	Kontaktfläche zwischen Holz und Verbindungsmittelkopf bzw. Unterlegscheibe in mm ²
$f_{c,90,k}$	charakteristische Druckfestigkeit des Holzproduktes quer zur Faser in N/mm ²

7-2.7 G: ABSCHEREN DES VERBINDUNGSMITTELS

Besitzt das Verbindungsmittel eine geringe Scherfestigkeit und eine ausreichend große Schlankheit kann es bei Verbindungen mit hochfesten Hölzern zu einem Scherbruch des Verbindungsmittels kommen. Hierzu wird hier in Anlehnung an die Gleichung von Wittel (2011) die Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels auf Abscheren, unter der Annahme einer konstanten Scherspannung über den gesamten Querschnitt, angeführt:

$$R_{v,k} = A_{riv} \cdot f_{v,riv,k} \quad (7.15)$$

mit:

$R_{v,k}$	charakteristische Schubtragfähigkeit des Verbindungsmittels in N
A_{riv}	Querschnittsfläche des Verbindungsmittels in mm ²
$f_{v,riv,k}$	charakteristische Schubfestigkeit des Verbindungsmittels in N/mm ²

Bei hohlen Verbindungsmittelquerschnitten tritt aufgrund von Beulen des Verbindungsmittels eine Interaktion zwischen Lochleibungsfestigkeit und Scherfestigkeit auf (Winter, 1944). Diese Interaktionen sind noch nicht ausreichend untersucht und können, ähnlich dem Biegeversagen eines Verbindungsmittels, unterschiedliche Arten des Versagens ausbilden.

7-2.8 SEILEFFEKT

Das Tragverhalten von Nietverbindungen gleicht jenem von Passbolzenverbindungen, wie in Kapitel 4-1.2 erläutert. Daher sind für Nietverbindungen als erster Ansatz die Bemessungswerte für Bolzen zu verwenden. Daraus resultiert Gl. (7.16) laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für Bolzenverbindungen:

$$\Delta R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot R_k \\ 0,25 \cdot R_{ax,k} \end{array} \right\} \quad (7.16)$$

mit:

ΔR_k	charakteristischer Anteil der Tragfähigkeit der Verbindung durch die Seilwirkung in N
R_k	charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung auf Abscheren nach Johansen ohne Berücksichtigung des Seileffektes in N
$R_{ax,k}$	charakteristische axiale Tragfähigkeit des Verbindungsmittels in N

7-2.9 WIRKSAME VERBINDUNGSMITTELANZAHL n_{EF}

Da bei Anschlüssen mit mehreren Verbindungsmitteln nicht zwingendermaßen von einer gleichmäßigen Belastung aller Verbindungsmittel ausgegangen werden kann, wird laut ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) die tatsächliche Verbindungsmittellanzahl n auf eine effektive Verbindungsmittellanzahl n_{ef} reduziert. Diese gibt Gl. (7.17) für Stabdübel, Bolzen und Passbolzen auf Abscheren, unabhängig vom Holzprodukt, an.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \end{array} \right. \quad (7.17)$$

mit:

n_{ef}	effektive Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander in Faserrichtung
n	Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander in Faserrichtung
a_1	Abstand der Verbindungsmittel in Faserrichtung in mm
d	Verbindungsmitteldurchmesser in mm
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung in °

Die Bemessungsrichtlinien für BauBuche Q sehen keine Reduktion der Verbindungsmittellanzahl vor, da durch die vorhandenen Querlagen keine Spaltgefahr für BauBuche Q besteht:

$$n_{ef} = n \quad (7.18)$$

Auf eine mögliche ungleichmäßige Belastung der Verbindungsmittel wird in den Bemessungsrichtlinien nicht näher eingegangen (Blaß und Streib, 2017).

In der Zulassung von Kerto-Q (DIBt, 2014) wird die effektive Verbindungsmittellanzahl für eine Belastung parallel zur Faserrichtung der Decklagen nach Gl. (7.19) berechnet. Voraussetzung dafür sind gewisse Randbedingungen, die in der Zulassung für Kerto-Q beschrieben werden und auf die hier nicht näher eingegangen wird. Als weiterer Eingangsparameter ist hier die Holzdicke zu nennen. Allgemein gilt: Desto dicker die Fügeiteile, desto geringer die Reduzierung der vorhandenen Verbindungsmittellanzahl.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 d^2}} \end{array} \right. \quad (7.19)$$

mit:

n_{ef}	effektive Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander in Faserrichtung
n	Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander in Faserrichtung
a	Minimum aus a_1 und a_3 laut Abbildung 7.13 in mm
t	„effektive“ Holzdicke nach Zulassung Z-9.1-847 in mm
d	Außendurchmesser des Verbindungsmittels in mm
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung in °

Die ungleichmäßige Belastung der einzelnen Verbindungsmittel hängt einerseits mit dem Lochspiel eines Verbindungsmittels zusammen, andererseits werden durch ungleichmäßige Verformungen innerhalb des Anschlusses einzelne Verbindungsmittel stärker beansprucht als andere (Volkersen, 1953). Eine gleichmäßige Belastung aller Verbindungsmittel ist daher nur erreichbar, wenn ein entsprechendes Fließplateau durch ein duktiler Verhalten des Anschlusses ausgebildet werden kann und mit einer entsprechenden Ausführung der Verbindung das Lochspiel auf ein Minimum reduziert wird. Dann kann, wie in den Bemessungsrichtlinien von BauBuche Q, die effektive Verbindungsmittelanzahl der tatsächlichen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Dies ist in weiterer Folge je nach gewähltem Verbindungstyp zu untersuchen.

7-3 ZUSAMMENSTELLUNG

In diesem Abschnitt werden sämtliche Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln als Basis für die Nachweisführung zusammengestellt:

Mindestabstände der Niete

Für die Mindestabstände der Niete in Formpressprofilen aus Hartlaubholz werden die Werte aus den Bemessungsrichtlinien von BauBuche für Passbolzen und Stabdübel übernommen.

Tabelle 7.4: Mindestabstände der Niete

Mindestabstände	Niete
a_1	$(3+2 \cos \alpha) d_{(a)}$
a_2	$3 d_{(a)}$
$a_{3,t}$	$\max (7 d_{(a)}; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c} (90^\circ - 150^\circ; 210^\circ - 270^\circ)$	$\max (a_{3,t} \sin \alpha; 3 d_{(a)})$
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	$3 d_{(a)}$
$a_{4,t}$	$\max (3 d_{(a)}; (2+2 \sin \alpha) d_{(a)})$
$a_{4,c}$	$3 d_{(a)}$

mit:

$d_{(a)}$ Durchmesser bzw. Außendurchmesser des Nietschaftes in mm

α Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung in $^\circ$

Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$

Zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit werden die Richtlinien für BauBuche (Blaß und Streib, 2017), die sich auf die Bemessung für Furnierschichtholz aus der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) beziehen, herangezogen. Der Einfluss des Kraft-Faser-Winkels auf die Lochleibungsfestigkeit wird für Verbindungsmittel ≤ 8 mm, analog zu den Bemessungsrichtlinien für BauBuche, nicht berücksichtigt.

Für Niete mit einem Schaftdurchmesser bzw. -außendurchmesser ≤ 8 mm gilt:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_{(a)}) \cdot \rho_k \quad (7.20)$$

mit:

$f_{h,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit in N/mm²

$d_{(a)}$ Durchmesser bzw. Außendurchmesser des Nietschaftes in mm

ρ_k charakteristische Rohdichte des Holzwerkstoffes in kg/m^3

Für Niete mit einem Schaftdurchmesser bzw. –außendurchmesser > 8 mm und ≤ 30 mm gilt:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_{(a)}) \cdot \rho_k}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (7.21)$$

mit:

$f_{h,\alpha,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit bei Beanspruchung im Winkel α zur Faserrichtung in N/mm^2

$d_{(a)}$ Durchmesser bzw. Außendurchmesser des Nietschaftes in mm

ρ_k charakteristische Rohdichte des Holzwerkstoffes in kg/m^3

α Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung in $^\circ$

$k_{90} = 1,30 + 0,015 d_{(a)}$

Fließmoment $M_{y,k}$

Das Fließmoment wird nach den neuesten Erkenntnissen von Blaß und Colling (2015) ermittelt, erweitert um das Fließmoment für Hohlkreisquerschnitte.

Die effektive Streckgrenze $f_{y,ef}$ des Nietwerkstoffes wird mit folgender Gleichung bestimmt:

$$f_{y,ef} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{0,9 \cdot (f_{y,k} + f_{u,k})}{2} & \text{für } f_{u,k} < 450 \text{ N/mm}^2 \\ 0,9 \cdot f_{u,k} & \text{für } f_{u,k} > 450 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\} \quad (7.22)$$

mit:

$f_{y,ef}$ effektive Streckgrenze des Nietwerkstoffes in N/mm^2

$f_{y,k}$ charakteristischer Wert der Streckgrenze des Nietwerkstoffes in N/mm^2

$f_{u,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes in N/mm^2

Für Niete, bei denen der Schaft als Kreisvollquerschnitt ausgeführt ist, gilt folgende Gleichung:

$$M_{y,KQS,k} = \frac{f_{y,ef} \cdot d^3}{6} \quad (7.23)$$

mit:

$M_{y,KQS,k}$ charakteristisches Fließmoment eines Nietes mit Vollkreisquerschnitt in Nmm

$f_{y,ef}$ effektive Streckgrenze des Nietwerkstoffes in N/mm^2

d Durchmesser des Nietschaftes in mm

Für Niete, bei denen der Schaft als Kreishohlquerschnitt ausgeführt ist, gilt folgende Gleichung:

$$M_{y,HQS,k} = \frac{f_{y,ef} \cdot (d_a^3 - d_i^3)}{6} \quad (7.24)$$

mit:

$M_{y,HQS,k}$	charakteristisches Fließmoment eines Nietes mit Hohlkreisquerschnitt in Nmm
$f_{y,ef}$	effektive Streckgrenze des Nietwerkstoffes in N/mm ²
d_a	Außendurchmesser des Nietschaftes in mm
d_i	Innendurchmesser des Nietschaftes in mm

Beulfaktor k_b

Zur Berücksichtigung des Beulens von Nieten, bei denen der Nietschaft als Kreishohlquerschnitt ausgeführt ist, wird der Abminderungsfaktor von Borkmann (1932) auf Grundlage seiner Versuche herangezogen. Jene Johansen-Gleichungen bei denen ein Fließen des Verbindungsmittels auftritt sind mit dem Beulfaktor k_b zu multiplizieren.

Für Niete, bei denen der Schaft als Kreishohlquerschnitt ausgeführt ist, gilt folgende Gleichung:

$$0 \leq k_b = 1,05 - \frac{d_a}{39 \cdot s_r} = 1,05 - \frac{d_a}{19,5 \cdot (d_a - d_i)} \leq 1 \quad (7.25)$$

mit:

k_b	Abminderungsfaktor für das Beulen des hohlen Verbindungsmittels
d_a	Außendurchmesser des Verbindungsmittels in mm
d_i	Innendurchmesser des Verbindungsmittels in mm
s_r	Wanddicke des Verbindungsmittels in mm

Für Niete, bei denen der Schaft als Kreisvollquerschnitt ausgeführt ist, gilt $k_b = 1$.

Seilwirkung ΔR_d

Die Seilwirkung wird aufgrund des ähnlichen Tragverhaltens von Nieten zu Passbolzen aus der ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) für Passbolzen übernommen.

$$\Delta R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot R_k \\ 0,25 \cdot R_{ax,k} \end{array} \right\} \quad (7.26)$$

mit:

ΔR_k	charakteristischer Anteil der Tragfähigkeit der Verbindung durch die Seilwirkung in N
R_k	charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung auf Abscheren nach Johansen ohne Berücksichtigung des Seileffektes in N
$R_{ax,k}$	charakteristische axiale Tragfähigkeit des Nietes in N

Johansen Gleichungen

Das Aufstellen sämtlicher Johansen-Gleichungen für alle Verbindungstypen und Versagensfälle wird hier nicht durchgeführt. Hierzu wird auf die ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) verwiesen. Zur Berücksichtigung des Beulverhaltens von Nieten, bei denen der Nietschaft als Hohlkreisquerschnitt ausgeführt ist, sind jene Johansen-Gleichungen bei denen ein Fließen des Verbindungsmittels auftreten mit dem Beulfaktor k_b zu multiplizieren.

Scherfestigkeit des Verbindungsmittels

Gemäß Gl. (5.1) wird von einer konstanten Schubspannung über den ganzen Nietquerschnitt ausgegangen. Man erhält somit:

$$R_{v,k} = A_{riv} \cdot f_{v,riv,k} \quad (7.27)$$

mit:

$R_{v,k}$	charakteristische Schubtragfähigkeit des Nietes in N
A_{riv}	Querschnittsfläche des Nietes in mm ²
$f_{v,riv,k}$	charakteristische Schubfestigkeit des Nietes N/mm ²

Effektive Verbindungsmittelanzahl n_{ef}

Kann durch eine entsprechende Applikation des Nietes ein Lochspiel minimiert und ein ausreichend großes Fließplateau durch ausreichendes Plastizieren der Niete (Versagensfall (f), (k) bei Holz-Holz- und (e), (h), (k), (m) bei Holz-Stahlblech-Verbindungen) sichergestellt werden, kann

$$n_{ef} = n \quad (7.28)$$

angesetzt werden.

Für alle anderen Fälle wird die Berechnung von n_{ef} nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) empfohlen:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 d_{(a)}}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \end{array} \right. \quad (7.29)$$

mit:

n_{ef}	effektive Anzahl der Niete hintereinander in Faserrichtung
n	Anzahl der Niete hintereinander in Faserrichtung
a_1	Abstand der Niete in Faserrichtung in mm
$d_{(a)}$	Schaftdurchmesser bzw. -außendurchmesser des Nietes in mm
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung in °

Gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung errechnet sich unter Berücksichtigung der Schubtragfähigkeit des Nietes zu:

$$R_{ges,d} = \frac{k_{mod} \cdot n_{ef} \cdot s \cdot m \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} R_k \\ R_{v,k} \end{array} \right.}{\gamma_M} \quad (7.30)$$

mit:

$R_{ges,d}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit der gesamten Verbindung in N
n_{ef}	effektive Nietanzahl
s	Anzahl der Scherfugen
m	Anzahl der Nietreihen

R_k	charakteristische Tragfähigkeit eines Nietes pro Scherebene laut Johansen unter Berücksichtigung des Seileffektes in N
$R_{v,k}$	charakteristische Schubtragfähigkeit des Nietes in N
k_{mod}	Modifikationsbeiwert
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen im Holzbau

Dimensionierung der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes

Der Durchmesser d_{head} des Nietkopfes bzw. der Unterlegscheibe sollte so dimensioniert werden, dass die maximale axiale Tragfähigkeit des Verbindungsmittels über Querdruck an die Formpressprofile weitergeleitet werden kann und so auch ein maximaler Seileffekt sichergestellt ist. Die charakteristische Querdruckfestigkeit wurde mangels Versuchsergebnissen für Formpressprofile von den Bemessungsrichtlinien für Pollmeier BauBuche Q mit einem Wert von 15,6 N/mm² für NKL 1 übernommen (Blaß und Streib, 2017).

Unter Vernachlässigung des Lochspieles ergibt sich die Fläche der Unterlegscheibe A_{head} bzw. des Nietkopfes zu:

$$A_{head} = \frac{d_{head}^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_{(a)}^2 \cdot \pi}{4} \quad (7.31)$$

Wird nun die axiale Tragfähigkeit des Nietes und die Tragfähigkeit des Formpressprofiles auf Querdruck gemäß Gl. (7.14) gleichgesetzt und umgeformt ergibt sich daraus der Minstdurchmesser der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes zu:

$$d_{head} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot R_{ax,k}}{3 \cdot \pi \cdot f_{c,90,k}} + d_{(a)}^2} \quad (7.32)$$

mit:

d_{head}	Durchmesser des Nietkopfes bzw. der Unterlegscheibe in mm
$R_{ax,k}$	charakteristische axiale Tragfähigkeit des Nietes in N
$f_{c,90,k}$	charakteristische Druckfestigkeit des Formpressprofiles quer zur Faser in N/mm ²
$d_{(a)}$	Schaftdurchmesser bzw. –außendurchmesser des Nietes in mm

Weitere Nachweise

Zusätzlich muss ein Nettoquerschnittnachweis im maßgebenden Querschnitt für die Fügeile geführt werden (siehe Kapitel 7-2.3).

Die notwendigen Nachweise etwaiger Stahlbleche werden hier nicht näher ausgeführt. Hierfür wird auf die ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und die ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) verwiesen.

7-4 NACHWEISFÜHRUNG

7-4.1 HOLZ-HOLZ VERBINDUNG

7-4.1.1 Niete mit Kreisvollquerschnitt

In Tabelle 7.5 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreisvollquerschnitt für den in Kapitel 7-1.1 vorgestellten Holz-Holz Zuglaschenstoß zusammengestellt.

Tabelle 7.5: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für den Holz-Holz Zuglaschenstoß

d	$f_{b,k}$	$M_{y,k}$	$R_{ax,k}$	R_k (g)	R_k (h)	R_k (j)	R_k (k)	ΔR_k (j)	ΔR_k (k)	R_k (j)+ ΔR_k	R_k (k)+ ΔR_k	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
2,0	58,7	357,0	1131,0	2639,8	1759,9	940,5	332,8	235,1	83,2	1175,7	416,1	653,0	416,1
2,5	58,4	697,3	1767,1	3282,9	2188,6	1181,3	518,7	295,3	129,7	1476,7	648,4	1020,3	648,4
3,0	58,1	1204,9	2544,7	3919,3	2612,9	1427,4	745,1	356,9	186,3	1784,3	931,3	1469,2	931,3
3,5	57,8	1913,3	3463,6	4549,0	3032,7	1680,2	1011,5	420,1	252,9	2100,3	1264,4	1999,7	1264,4
4,0	57,5	2856,0	4523,9	5171,9	3447,9	1941,1	1317,7	485,3	329,4	2426,3	1647,2	2611,9	1647,2
4,5	57,2	4066,5	5725,6	5788,1	3858,7	2211,4	1663,4	552,8	415,9	2764,2	2079,3	3305,6	2079,3
5,0	56,9	5578,1	7068,6	6397,5	4265,0	2492,3	2048,2	623,1	512,0	3115,4	2560,2	4081,0	2560,2
6,0	56,3	9639,0	10178,8	7596,2	5064,2	3090,9	2933,8	772,7	733,5	3863,7	3667,3	5876,7	3667,3
8,0	55,1	22848,0	18095,6	9912,8	6608,5	4464,4	5159,9	1116,1	1290,0	5580,5	6449,9	10447,5	5580,5
10,0	53,9	44625,0	28274,3	12121,7	8081,1	6117,9	7974,3	1529,5	1993,6	7647,3	9967,9	16324,2	7647,3
12,0	52,7	77112,0	40715,0	14222,7	9481,8	8090,1	11354,7	2022,5	2838,7	10112,6	14193,3	23506,8	9481,8

Bei Nietverbindungen mit einem Vollkreisquerschnitt kann analog zu herkömmlichen stiftförmigen Verbindungsmitteln eine gute Ausnutzung der Verbindung und ein duktiler Verhalten erreicht werden, wenn der Anschluss so dimensioniert wird, dass sich bei zweischnittigen Verbindungen zwei plastische Fließgelenke im Verbindungsmittel bilden können. Dies entspricht Versagensfall (k) nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a). Diese Fließgelenke können sich bei diesem Zuglaschenstoß bis zu einem Nietdurchmesser von 6 mm bilden. Ist der Durchmesser des Nietes größer kann sich nur mehr ein Fließgelenk bilden, was dem Versagensfall (j) nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a) entspricht. Die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes ist somit nicht mehr zu erreichen. Ab einem Nietdurchmesser von 12 mm ist ein reines Lochleibungsversagen maßgebend. Das entspricht Versagensfall (g) nach ÖNORM B 1995-1-1 (2015a). Für die Bemessung von Passbolzenverbindungen können dieselben Werte herangezogen werden, da die Nachweisführung analog zur Nachweisführung von Nietverbindungen zu führen ist. Wie im Folgenden gezeigt wird und bereits in Kapitel 3-3.1 diskutiert wurde, ist bei Verwendung von Passbolzen aufgrund der notwendigen Anzahl an Verbindungsmitteln ein großer Aufwand zur Herstellung der Verbindung die Folge.

Auf Grundlage der Ergebnisse aus Tabelle 7.5 wird für die weitere Nachweisführung ein Niet mit einem Durchmesser von 6 mm gewählt, der die volle plastische Tragfähigkeit erreicht.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 zu:

Tabelle 7.6: Mindestabstände der Niete mit $d = 6$ mm

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	30 mm	30 mm
a_2	18 mm	20 mm
$a_{3,t}$	80 mm	80 mm
$a_{3,c}$ (150° – 210°)	18 mm	–
$a_{4,t}$	18 mm	–
$a_{4,c}$	18 mm	–

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles

in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittelanzahl mit der realen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 4$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 4 \quad (7.33)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 50 \quad (7.34)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{ges,d} = \frac{0,9 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 3,6673 \text{ kN}}{1,3} = 1016 \text{ kN/m} \quad (7.35)$$

Die Größe der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes ergibt sich aus Gl. (7.32) zu:

$$d_{head} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 10.178,8 \text{ N}}{3 \cdot \pi \cdot 15,6 \text{ N/mm}^2}} + (6 \text{ mm})^2 = 17,7 \text{ mm} \quad (7.36)$$

Die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{t,0,net,d} = \frac{14 \cdot 30 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{20 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 1071 \text{ kN/m} \quad (7.37)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{1016 \text{ kN/m}}{1071 \text{ kN/m}} = 0,95 \quad (7.38)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{1016 \text{ kN/m}}{1530 \text{ kN/m}} = 0,66 \quad (7.39)$$

Werden weitere Niete angeordnet wird $\mu_{net} \cong 1,0$ erreichen; darüber hinaus wird der Nettoquerschnittsnachweis maßgebend, was jedoch nicht anzustreben ist, da hier ein sprödes Versagen der Verbindung die Folge ist. Für diese Verbindung sind 200 Niete pro Meter erforderlich, was nur durch eine hohe Setzgeschwindigkeit wirtschaftlich realisierbar ist. Selbst bei der Wahl eines Nietdurchmessers von 10 mm, wo die effektive Verbindungsmittelanzahl sehr wohl zu reduzieren ist, sind je nach gewähltem Abstand a_1 100 – 140 Niete erforderlich.

Der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Bruttoquerschnitt resultiert maßgebend aus den vorhandenen Schwächungen des Querschnittes durch die Verbindungsmittel.

Zum Vergleich wird in der Tabelle 7.7 das Tragfähigkeitspotenzial für den gleichen Anschluss bei Verwendung von massiven Nieten aus der Aluminiumlegierung EN AW-5019 mit der Festigkeitsklasse H111 angeführt. Die Zugfestigkeit f_u der Aluminiumlegierung beträgt 250 N/mm². Die 0,2 % Dehngrenze f_0 ist mit 110 N/mm² angegeben (ASI, 2014). Der Vorteil von Aluminiumnieten liegt darin, dass durch die niedrigere Festigkeit des Materials im Vergleich zu Nieten aus Stahl größere Durchmesser möglich sind, um ein duktileres Verhalten zu generieren. Besonders bei Anschlüssen mit geringen Fügeiteilstärken könnten somit zu kleine Durchmesser des Nietes vermieden werden. Eine Reduktion der Verbindungsmittelanzahl ist durch die Verwendung von Aluminiumnieten nur in geringem Maße gegeben, da zwar Niete mit größerem Durchmesser verwendet werden können, deren Tragfähigkeit durch

die geringere Festigkeit der Aluminiumlegierung im Vergleich zu Stahlnieten mit identem Durchmesser geringer sind.

Tabelle 7.7: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes aus Aluminium mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für den Holz-Holz Zuglaschenstoß

d	$f_{h,k}$	$M_{y,k}$	$R_{ax,k}$	$R_k (g)$	$R_k (h)$	$R_k (j)$	$R_k (k)$	$\Delta R_k (j)$	$\Delta R_k (k)$	$R_k (j) + \Delta R_k$	$R_k (k) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
2,0	58,7	216,0	785,4	2639,8	1759,9	934,0	258,9	196,3	64,7	1130,3	323,6	453,4	323,6
2,5	58,4	421,9	1227,2	3282,9	2188,6	1168,6	403,5	292,2	100,9	1460,8	504,4	708,5	504,4
3,0	58,1	729,0	1767,1	3919,3	2612,9	1405,6	579,6	351,4	144,9	1757,0	724,4	1020,3	724,4
3,5	57,8	1157,6	2405,3	4549,0	3032,7	1645,7	786,8	411,4	196,7	2057,1	983,5	1388,7	983,5
4,0	57,5	1728,0	3141,6	5171,9	3447,9	1889,9	1025,0	472,5	256,2	2362,4	1281,2	1813,8	1281,2
4,5	57,2	2460,4	3976,1	5788,1	3858,7	2139,1	1293,9	534,8	323,5	2673,8	1617,3	2295,6	1617,3
5,0	56,9	3375,0	4908,7	6397,5	4265,0	2394,0	1593,2	598,5	398,3	2992,5	1991,5	2834,1	1991,5
6,0	56,3	5832,0	7068,6	7596,2	5064,2	2924,2	2282,1	731,1	570,5	3655,3	2852,6	4081,0	2852,6
8,0	55,1	13824,0	12566,4	9912,8	6608,5	4087,1	4013,6	1021,8	1003,4	5108,9	5017,0	7255,2	5017,0
10,0	53,9	27000,0	19635,0	12121,7	8081,1	5420,8	6202,8	1355,2	1550,7	6776,0	7753,4	11336,2	6776,0
12,0	52,7	46656,0	28274,3	14222,7	9481,8	6958,3	8832,2	1739,6	2208,0	8697,9	11040,2	16324,2	8697,9
14,0	51,5	74088,0	38484,5	16216,1	10810,7	8723,8	11884,2	2180,9	2971,0	10904,7	14855,2	22219,0	10810,7
16,0	50,3	110592,0	50265,5	18101,7	12067,8	10733,4	15340,6	2683,3	3835,2	13416,7	19175,8	29020,8	12067,8

7-4.1.2 Niete mit Kreishohlquerschnitt

In Tabelle 7.8 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreishohlquerschnitt für den in Kapitel 7-1.1 vorgestellten Holz-Holz Zuglaschenstoß zusammengestellt. Für die Abmessungen der Niete mit Hohlkreisquerschnitt wurden jene aus der DIN 7340 (2011) verwendet. Da diese Rohrniete nur bis zu einem Durchmesser von 10 mm genormt sind, wurde die Tabelle für größere Durchmesser entsprechend erweitert.

Tabelle 7.8: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für den Holz-Holz Zuglaschenstoß

d_a	d_i	$f_{h,k}$	$M_{y,k}$	k_b	$R_{ax,k}$	$R_k (g)$	$R_k (h)$	$R_k (j)$	$R_k (k)$	$\Delta R_k (j)$	$\Delta R_k (k)$	$R_k (j) + \Delta R_k$	$R_k (k) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[-]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
5,0	4,4	56,9	1777	0,623	1595	6398	4265	1445	720	361	180	1807	900	921	900
5,0	4,0	56,9	2722	0,794	2545	6398	4265	1876	1135	469	284	2345	1419	1469	1419
5,0	3,5	56,9	3665	0,879	3605	6398	4265	2116	1459	529	365	2645	1824	2081	1824
6,0	5,2	56,3	3364	0,665	2533	7596	5064	1872	1153	468	288	2340	1442	1463	1442
6,0	5,0	56,3	4061	0,742	3110	7596	5064	2112	1414	528	353	2640	1767	1796	1767
6,0	4,5	56,3	5573	0,845	4453	7596	5064	2461	1885	615	471	3076	2356	2571	2356
6,0	4,0	56,3	6783	0,896	5655	7596	5064	2658	2206	665	551	3323	2757	3265	2757
8,0	7,2	55,1	6192	0,537	3438	9913	6609	2016	1443	504	361	2520	1804	1985	1804
8,0	7,0	55,1	7542	0,640	4241	9913	6609	2439	1897	610	474	3049	2371	2449	2371
8,0	6,5	55,1	10593	0,776	6150	9913	6609	3065	2728	766	682	3831	3410	3551	3410
8,0	6,0	55,1	13209	0,845	7917	9913	6609	3431	3315	858	829	4288	4143	4571	4143
10,0	9,0	53,9	12093	0,537	5372	12122	8081	2573	2230	643	557	3216	2787	3102	2787
10,0	8,5	53,9	17220	0,708	7846	12122	8081	3549	3508	887	877	4436	4385	4530	4385
10,0	8,0	53,9	21777	0,794	10179	12122	8081	4130	4421	1033	1105	5163	5526	5877	5163

12,0	8,0	52,7	54264	0,896	22619	14223	9482	6498	8536	1624	2134	8122	10670	13059	8122
14,0	10,0	51,5	77826	0,871	27143	16216	10811	7713	10603	1928	2651	9642	13254	15671	9642
16,0	12,0	50,3	105672	0,845	31667	18102	12068	8924	12669	2231	3167	11154	15837	18283	11154
18,0	14,0	49,1	137802	0,819	36191	19880	13253	10114	14701	2528	3675	12642	18377	20895	12642
20,0	16,0	47,9	174216	0,794	40715	21550	14366	11271	16672	2818	4168	14088	20840	23507	14088
22,0	19,0	46,7	169084	0,674	34777	23112	15408	9873	14445	2468	3611	12341	18056	20079	12341
24,0	21,0	45,5	203624	0,640	38170	24567	16378	10461	15514	2615	3878	13077	19392	22038	13077
26,0	23,0	44,3	241377	0,606	41563	25913	17276	10955	16420	2739	4105	13694	20526	23997	13694
28,0	25,0	43,1	282342	0,571	44956	27152	18102	11347	17153	2837	4288	14183	21441	25955	14183
30,0	27,0	41,9	326521	0,537	48349	28284	18856	11630	17700	2907	4425	14537	22125	27914	14537

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch für Hohlquerschnitte sinngemäß. Die volle plastische Tragfähigkeit kann bei hohlen Nieten mit einem Außendurchmesser $d_a \leq 10$ mm, abhängig vom Innendurchmesser erreicht werden. Hohlните, bei denen sich ein plastisches Gelenk bildet, sind bei entsprechender Wahl des Außen- bzw. Innendurchmessers, wie in Tabelle 7.8, leichter zu realisieren. Außendurchmesser des Nietes über 20 mm sind jedoch nicht zielführend, da hier nur mehr geringe Tragfähigkeitssteigerungen möglich sind. Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.8 dunkelgrau hinterlegte Rohrniet mit einem Außendurchmesser d_a von 8 mm und einem Innendurchmesser d_i von 6 mm verwendet. Zum Vergleich wird anschließend eine Verbindung mit dem in der Tabelle 7.8 hellgrau hinterlegten Rohrniet mit einem Außendurchmesser d_a von 20 mm und einem Innendurchmesser d_i von 16 mm bemessen.

Hohlriet $d_a / d_i = 8$ mm / 6 mm

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 zu:

Tabelle 7.9: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 8$ mm

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	40 mm	40 mm
a_2	24 mm	27 mm
$a_{3,t}$	80 mm	80 mm
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	24 mm	–
$a_{4,t}$	24 mm	–
$a_{4,c}$	24 mm	–

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittellanzahl mit der realen Verbindungsmittellanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 5$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 5 \quad (7.40)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{27 \text{ mm}} = 37 \quad (7.41)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{\text{ges,d}}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{\text{ges,d}} = \frac{0,9 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 37 \cdot 4,143 \text{ kN}}{1,3} = 1061 \text{ kN/m} \quad (7.42)$$

Die Größe der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes ergibt sich aus Gl. (7.32) zu:

$$d_{\text{head}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 7917 \text{ N}}{3 \cdot \pi \cdot 15,6 \text{ N/mm}^2} + (8 \text{ mm})^2} = 16,7 \text{ mm} \quad (7.43)$$

Die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{\text{t,0,net,d}} = \frac{19 \cdot 30 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{27 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 1077 \text{ kN/m} \quad (7.44)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{\text{net}} = \frac{R_{\text{ges,d}}}{R_{\text{t,0,net,d}}} = \frac{1061 \text{ kN/m}}{1077 \text{ kN/m}} = 0,99 \quad (7.45)$$

$$\mu_{\text{brutto}} = \frac{R_{\text{ges,d}}}{R_{\text{t,0,brutto,d}}} = \frac{1061 \text{ kN/m}}{1530 \text{ kN/m}} = 0,69 \quad (7.46)$$

Um den maximalen Wirkungsgrad der Verbindung zu erreichen sind 185 Niete pro Meter erforderlich, was nur durch eine hohe Setzgeschwindigkeit wirtschaftlich realisierbar ist. Daher soll nachfolgend eine Verbindung mit einem größeren hohlen Niet bemessen werden, um die Verbindungsmittelanzahl zu reduzieren.

Hohl Niet $d_a / d_i = 20 \text{ mm} / 16 \text{ mm}$

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 zu:

Tabelle 7.10: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 20 \text{ mm}$

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	100 mm	200 mm
a_2	60 mm	60 mm
$a_{3,t}$	140 mm	140 mm
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	60 mm	–
$a_{4,t}$	60 mm	–
$a_{4,c}$	60 mm	–

Da hier nicht die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird, sollte die effektive Verbindungsmittelanzahl nach Gl. (7.29) berechnet werden. Wird $n = 4$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 \\ \left(4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{200 \text{ mm}}{13 \cdot 20 \text{ mm}}} \right) \cdot \frac{90 - 0}{90} + 4 \cdot \frac{0}{90} \end{array} \right. = 3,26 \quad (7.47)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 16 \quad (7.48)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{\text{ges,d}}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{\text{ges,d}} = \frac{0,9 \cdot 3,26 \cdot 2 \cdot 16 \cdot 14,088 \text{ kN}}{1,3} = 1017 \text{ kN/m} \quad (7.49)$$

Die Größe der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes ergibt sich aus Gl. (7.32) zu:

$$d_{\text{head}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 40715 \text{ N}}{3 \cdot \pi \cdot 15,6 \text{ N/mm}^2} + (20 \text{ mm})^2} = 38,8 \text{ mm} \quad (7.50)$$

Da die Verbindungsmittel in einem Abstand a_2 von $3d$ angeordnet sind, entspricht der Nettoquerschnitt folglich $2/3$ des Bruttoquerschnittes und die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{\text{t,0,net,d}} = \frac{2 \cdot 30 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{3 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 1020 \text{ kN/m} \quad (7.51)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{\text{net}} = \frac{R_{\text{ges,d}}}{R_{\text{t,0,net,d}}} = \frac{1017 \text{ kN/m}}{1020 \text{ kN/m}} = 1,00 \quad (7.52)$$

$$\mu_{\text{brutto}} = \frac{R_{\text{ges,d}}}{R_{\text{t,0,brutto,d}}} = \frac{1017 \text{ kN/m}}{1530 \text{ kN/m}} = 0,66 \quad (7.53)$$

Wird der Abstand der Rohrniete a_1 , so wie hier, über den Mindestabstand hinaus vergrößert, kann durch eine höhere effektive Verbindungsmittelanzahl mit dieser Nietanordnung der maximale Wirkungsgrad erreicht werden. Dies bedeutet 64 Niete pro Meterstreifen, was einer großen Einsparung bei der Anzahl der Verbindungsmittel bedeutet, jedoch auch zu größeren Abmessungen der Laschen führt. Ist für eine Verbindung die Anzahl der Niete entscheidend und sollte dennoch ein duktiler Anschluss sichergestellt werden, kann mit Hohlnieten im Vergleich zu massiven Nieten etwa die doppelte Tragfähigkeit je Niet erreicht werden.

7-4.2 VERBINDUNG MIT INNENLIEGENDEM STAHLBLECH

7-4.2.1 Niete mit Kreisvollquerschnitt

In Tabelle 7.11 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreisvollquerschnitt für den in Kapitel 7-1.2 vorgestellten Zuglaschenstoß mit innenliegendem Stahlblech zusammengestellt.

Tabelle 7.11: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit innenliegendem Stahlblech

d	$f_{h,k}$	$M_{y,k}$	$R_{ax,k}$	$R_k (f)$	$R_k (g)$	$R_k (h)$	$\Delta R_k (g)$	$\Delta R_k (h)$	$R_k (g)+\Delta R_k$	$R_k (h)+\Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
2,0	58,7	357,0	1131,0	1407,9	624,8	470,7	156,2	117,7	781,0	588,4	653,0	588,4
2,5	58,4	697,3	1767,1	1750,9	806,1	733,6	201,5	183,4	1007,6	917,0	1020,3	917,0
3,0	58,1	1204,9	2544,7	2090,3	1004,6	1053,7	251,1	263,4	1255,7	1317,1	1469,2	1255,7
3,5	57,8	1913,3	3463,6	2426,1	1223,5	1430,5	305,9	357,6	1529,3	1788,1	1999,7	1529,3
4,0	57,5	2856,0	4523,9	2758,3	1465,7	1863,5	366,4	465,9	1832,2	2329,4	2611,9	1832,2
4,5	57,2	4066,5	5725,6	3087,0	1734,1	2352,4	433,5	588,1	2167,7	2940,5	3305,6	2167,7
5,0	56,9	5578,1	7068,6	3412,0	2031,1	2896,6	507,8	724,1	2538,9	3620,7	4081,0	2538,9
6,0	56,3	9639,0	10178,8	4051,3	2719,4	4149,1	679,9	1037,3	3399,3	5186,3	5876,7	3399,3
8,0	55,1	22848,0	18095,6	5286,8	4519,6	7297,2	1129,9	1824,3	5649,5	9121,6	10447,5	5286,8
10,0	53,9	44625,0	28274,3	6464,9	6942,4	11277,3	1735,6	2819,3	8678,0	14096,7	16324,2	6464,9

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch hier sinngemäß. Die volle plastische Tragfähigkeit kann bei dieser Verbindung nur mit Nieten mit einem Durchmesser $d \leq 2,5$ mm erreicht werden. Niete, bei denen sich ein plastisches Gelenk bildet, sind bis zu einem Durchmesser von 6 mm möglich. Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.11 dunkelgrau hinterlegte Niet mit einem Durchmesser d von 2,5 mm verwendet.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) zu:

Tabelle 7.12: Mindestabstände der Niete mit $d = 2,5$ mm

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	12,5 mm	15 mm
a_2	7,5 mm	8 mm
$a_{3,t}$	80,0 mm	80 mm
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	7,5 mm	–
$a_{4,t}$	7,5 mm	–
$a_{4,c}$	7,5 mm	–
e_1	7,5 mm	10 mm

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittelanzahl mit der realen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 5$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 5 \quad (7.54)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 125 \quad (7.55)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{ges,d} = \frac{0,9 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 125 \cdot 0,917 \text{ kN}}{1,3} = 794 \text{ kN/m} \quad (7.56)$$

Die Größe der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes ergibt sich aus Gl. (7.32) zu:

$$d_{head} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1767,1 \text{ N}}{3 \cdot \pi \cdot 15,6 \text{ N/mm}^2} + (2,5 \text{ mm})^2} = 7,4 \text{ mm} \quad (7.57)$$

Der Nettoquerschnittsnachweis ist, wie in Kapitel 7-2.3 erläutert, für Verbindungsmittel mit einem Durchmesser $\leq 5 \text{ mm}$, die ohne Vorbohren in das Holz appliziert werden, nicht zu führen, jedoch wird derzeit und wie in Kapitel 7-2.4 diskutiert bei Formpressprofilen aus Hartlaubholz ein Vorbohren empfohlen. Daher wird an dieser Stelle der Nettoquerschnittsnachweis geführt.

$$R_{t,0,net,d} = \frac{5,5 \cdot 2 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{8 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 842 \text{ kN/m} \quad (7.58)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{794 \text{ kN/m}}{842 \text{ kN/m}} = 0,94 \quad (7.59)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{794 \text{ kN/m}}{1530 \text{ kN/m}} = 0,52 \quad (7.60)$$

Um diese Verbindung herzustellen sind 625 Niete pro Meter erforderlich, was nur durch eine hohe Setzgeschwindigkeit wirtschaftlich realisierbar ist. Bei der Verwendung von massiven Nieten mit einem Durchmesser von 6 mm sind je nach Abstand a_1 mindestens 170 Niete notwendig.

Der Nachweis des Stahlbleches wird laut ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) geführt. Die Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ des Stahlbleches unter Vernachlässigung eines möglichen Lochspieles errechnet sich zu:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \right\} = \min \left\{ \frac{5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 1000}, \frac{0,9 \cdot \frac{5,5}{8} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 360 \text{ N/mm}^2}{1,25 \cdot 1000} \right\} = 891 \text{ kN/m}$$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ des Stahlbleches ergibt sich analog zu jener von Schraubverbindungen zu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \cdot 2,5 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}}{1,25} = 9.000 \text{ N} \geq \frac{k_{mod} \cdot s \cdot R_k}{\gamma_M} = 1.270 \text{ N}$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Stahllasche nachgewiesen (ASI, 2015b und 2017).

Durch die Verwendung von hohlen Nieten könnte die notwendige Verbindungsmittelanzahl, wie bereits in Kapitel 7-4.1.2 gezeigt, erheblich reduziert werden. Dies soll im Folgenden überprüft werden.

7-4.2.2 Niete mit Kreishohlquerschnitt

In Tabelle 7.13 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreishohlquerschnitt für den in Kapitel 7-1.2 vorgestellten Holz-Holz Zuglaschenstoß zusammengestellt. Für die Abmessungen der Niete mit Hohlkreisquerschnitt wurden jene aus der DIN 7340 (2011) verwendet. Da diese Rohrniete nur bis zu einem Durchmesser von 10 mm genormt sind, wurde die Tabelle für größere Durchmesser entsprechend erweitert.

Tabelle 7.13: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit innenliegendem Stahlblech

d_a	d_i	$f_{h,k}$	$M_{y,k}$	k_b	$R_{ax,k}$	$R_k (f)$	$R_k (g)$	$R_k (h)$	$\Delta R_k (g)$	$\Delta R_k (h)$	$R_k (g)+\Delta R_k$	$R_k (h)+\Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[-]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
4,0	3,4	57,5	1102	0,708	1255	2758	900	820	225	205	1124	1025	725	725
4,0	3,2	57,5	1394	0,794	1629	2758	1034	1033	259	258	1293	1291	940	940
4,0	3,0	57,5	1651	0,845	1979	2758	1126	1197	281	299	1407	1496	1143	1143
5,0	4,4	56,9	1777	0,623	1595	3412	1008	1018	252	254	1260	1272	921	921
5,0	4,0	56,9	2722	0,794	2545	3412	1368	1606	342	401	1710	2007	1469	1469
5,0	3,5	56,9	3665	0,879	3605	3412	1606	2064	402	516	2008	2580	2081	2008
6,0	5,2	56,3	3364	0,665	2533	4051	1372	1631	343	408	1715	2039	1463	1463
6,0	5,0	56,3	4061	0,742	3110	4051	1587	1999	397	500	1984	2499	1796	1796
6,0	4,5	56,3	5573	0,845	4453	4051	1944	2665	486	666	2430	3332	2571	2430
6,0	4,0	56,3	6783	0,896	5655	4051	2176	3119	544	780	2720	3899	3265	2720
8,0	7,2	55,1	6192	0,537	3438	5287	1551	2041	388	510	1939	2551	1985	1939
8,0	7,0	55,1	7542	0,640	4241	5287	1939	2682	485	671	2424	3353	2449	2424
8,0	6,5	55,1	10593	0,776	6150	5287	2600	3858	650	965	3250	4823	3551	3250
8,0	6,0	55,1	13209	0,845	7917	5287	3051	4688	763	1172	3814	5860	4571	3814
10,0	9,0	53,9	12093	0,537	5372	6465	2152	3154	538	788	2690	3942	3102	2690
10,0	8,5	53,9	17220	0,708	7846	6465	3202	4961	800	1240	4002	6201	4530	4002
10,0	8,0	53,9	21777	0,794	10179	6465	3936	6252	984	1563	4920	7815	5877	4920
12,0	10,0	52,7	32487	0,742	12441	7585	4794	7737	1198	1934	5992	9671	7183	5992
14,0	12,0	51,5	45339	0,691	14703	8649	5593	9085	1398	2271	6991	11357	8489	6991
16,0	14,0	50,3	60333	0,640	16965	9654	6304	10251	1576	2563	7880	12814	9795	7880
18,0	16,0	49,1	77469	0,588	19227	10602	6901	11198	1725	2799	8626	13997	11100	8626
20,0	18,0	47,9	96747	0,537	21488	11493	7361	11893	1840	2973	9201	14866	12406	9201

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch für Hohlquerschnitte sinngemäß. Die volle plastische Tragfähigkeit kann bei diesem Zuglaschenstoß für keine Niete erreicht werden, dafür sind die Lochleibungsfestigkeit des Formpressprofils zu hoch und die Stärken der einzelnen Fügeile zu gering. Für jene Niete, die eigentlich dem Versagensfall (h) zuzuordnen sind und somit die volle plastische Tragfähigkeit erreichen sollten, ist die Schubtragfähigkeit maßgebend. Die tatsächliche Schubtragfähigkeit kann jedoch in der Realität abweichen, da, wie bereits von Leijten (1998) festgestellt und in der Gl. (6.4) angeführt, mit zunehmender Verformung des Hohlquerschnittes das Verbindungsmittel immer stärker auf Zug beansprucht wird und hier im Grenzfall die Zugfestigkeit und nicht die Schubfestigkeit des Nietes die maßgebende Kenngröße für dessen Tragfähigkeit darstellt. Des Weiteren haben auch das gewählte Material und das Verhältnis des Außen- zum Innendurchmesser des hohlen Nietes einen Einfluss auf die Schubtragfähigkeit, siehe hierzu auch Kapitel 6-2.6 und Abbildung 6.8. Hier gilt es mit zukünftigen Untersuchungen festzustellen, wie sich das Verbindungsmittel in Kombination mit der Lochleibungsfestigkeit des Formpressprofils verhält und hier die Tragfähigkeit mit einer Begrenzung der Verformung festzulegen, ähnlich wie es bei der Ermittlung des Fließmomentes von

stiftförmigen Verbindungsmitteln erfolgt.

Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.13 hellgrau hinterlegte Rohrniet mit einem Außendurchmesser d_a von 14 mm und einem Innendurchmesser d_i von 12 mm verwendet.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) zu:

Tabelle 7.14: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 14$ mm

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	70 mm	100 mm
a_2	42 mm	42 mm
$a_{3,t}$	98 mm	100 mm
$a_{3,c}$ (150° – 210°)	42 mm	–
$a_{4,t}$	42 mm	–
$a_{4,c}$	42 mm	–
e_1	42 mm	45 mm

Da hier nicht die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird, sollte die effektive Verbindungsmittelanzahl nach Gl. (7.29) berechnet werden. Wird $n = 5$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5 \\ \left(5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100 \text{ mm}}{13 \cdot 14 \text{ mm}}} \right) \cdot \frac{90 - 0}{90} + 5 \cdot \frac{0}{90} \end{array} \right. = 3,66 \quad (7.61)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{42 \text{ mm}} = 23 \quad (7.62)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{\text{ges,d}}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{\text{ges,d}} = \frac{0,9 \cdot 3,66 \cdot 2 \cdot 23 \cdot 6,991 \text{ kN}}{1,3} = 816 \text{ kN/m} \quad (7.63)$$

Die Größe der Unterlegscheibe bzw. des Nietkopfes ergibt sich aus Gl. (7.32) zu:

$$d_{\text{head}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 14703 \text{ N}}{3 \cdot \pi \cdot 15,6 \text{ N/mm}^2} + (14 \text{ mm})^2} = 24,4 \text{ mm} \quad (7.64)$$

Da die Verbindungsmittel in einem Abstand a_2 von $3d$ angeordnet sind, entspricht der Nettoquerschnitt folglich $2/3$ des Bruttoquerschnittes abzüglich des Stahlbleches und die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{t,0,net,d} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{3 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 816 \text{ kN/m} \quad (7.65)$$

Der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt sich wie folgt:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{816 \text{ kN/m}}{816 \text{ kN/m}} = 1,00 \quad (7.66)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{816 \text{ kN/m}}{1530 \text{ kN/m}} = 0,53 \quad (7.67)$$

Mit dieser Verbindung wird der maximal mögliche Ausnutzungsgrad erreicht. Dazu sind 115 Niete pro Meter notwendig.

Der Nachweis des Stahlbleches wird laut ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) geführt. Die Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ des Stahlbleches unter Vernachlässigung eines möglichen Lochspieles errechnet sich zu:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 1000} \\ 0,9 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 360 \text{ N/mm}^2}{1,25 \cdot 1000} \end{array} \right\} = 864 \text{ kN/m}$$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ des Stahlbleches ergibt sich analog zu jener von Schraubverbindungen zu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_a \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \cdot 14 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}}{1,25} = 50.400 \text{ N} \geq \frac{k_{mod} \cdot s \cdot R_k}{\gamma_M} = 9.680 \text{ N}$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Stahllasche nachgewiesen (ASI, 2015b und 2017).

Die Verbindung mit innenliegendem Stahlblech ist, unabhängig von der Schwierigkeit der Herstellung eines möglichst passgenauen Schlitzes im Formpressprofil für das Stahlblech, nicht sehr effizient. Durch die geringe Stärke der Füge-teile, sind viele schlanke Niete erforderlich um eine ausreichende Duktilität sicherzustellen. Des Weiteren wird der Bruttoquerschnitt des Formpressprofils durch den Schlitz geschwächt, was in einem geringeren Wirkungsgrad bezogen auf den Bruttoquerschnitt im Vergleich zu Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen führt. Diese werden im folgenden Kapitel näher untersucht.

7-4.3 VERBINDUNG MIT AUßENLIEGENDEN STAHLBLECHEN

7-4.3.1 Niete mit Kreisvollquerschnitt

Stärke t_2 des Formpressprofils 15 mm

In Tabelle 7.15 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreisvollquerschnitt für den in Kapitel 7-1.3 vorgestellten Zuglaschenstoß mit 1,5 mm starken außenliegenden Stahlblechen und 15 mm starken Formpressprofilen zusammengestellt.

Tabelle 7.15: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 15 \text{ mm}$

d	$f_{h,k}$	$M_{y,k}$	$R_{ax,k}$	$R_k(j,l)$	$R_k(k,m)$	$\Delta R_k(k,m)$	$R_k(k,m) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
2,0	58,7	357,0	1131,0	879,9	395,8	99,0	494,8	653,0	494,8
2,5	58,4	697,3	1767,1	1094,3	556,0	139,0	695,0	1020,3	695,0
3,0	58,1	1204,9	2544,7	1306,4	745,1	186,3	931,3	1469,2	931,3
3,5	57,8	1913,3	3463,6	1516,3	1011,5	252,9	1264,4	1999,7	1264,4
4,0	57,5	2856,0	4523,9	1724,0	1317,7	329,4	1647,2	2611,9	1647,2
4,5	57,2	4066,5	5725,6	1929,4	1663,4	415,9	2079,3	3305,6	1929,4
5,0	56,9	5578,1	7068,6	2132,5	2048,2	512,0	2560,2	4081,0	2132,5
6,0	56,3	9639,0	10178,8	2532,1	2933,8	733,5	3667,3	5876,7	2532,1
8,0	55,1	22848,0	18095,6	3304,3	5159,9	1290,0	6449,9	10447,5	3304,3
10,0	53,9	44625,0	28274,3	4040,6	7974,3	1993,6	9967,9	16324,2	4040,6

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch hier sinngemäß. Die volle plastische Tragfähigkeit kann bei dieser Verbindung nur mit Nieten mit einem Durchmesser $d \leq 4 \text{ mm}$ erreicht werden. Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.15 dunkelgrau hinterlegte Niet mit einem Durchmesser d von 4 mm verwendet.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) zu:

Tabelle 7.16: Mindestabstände der Niete mit $d = 4 \text{ mm}$

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	20 mm	20 mm
a_2	12 mm	13 mm
$a_{3,t}$	80 mm	80 mm
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	12 mm	–
$a_{4,t}$	12 mm	–
$a_{4,c}$	12 mm	–
e_1	12 mm	15 mm

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittelanzahl mit der realen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 3$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 3 \quad (7.68)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} = 76 \quad (7.69)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{ges,d} = \frac{0,9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 76 \cdot 1,6472 \text{ kN}}{1,3} = 520 \text{ kN/m} \quad (7.70)$$

Der Nettoquerschnittsnachweis ist, wie in Kapitel 7-2.3 erläutert, für Verbindungsmittel mit einem Durchmesser $\leq 5 \text{ mm}$, die ohne Vorbohren in das Holz appliziert werden, nicht zu führen, jedoch wird derzeit und wie in Kapitel 7-2.4 diskutiert bei Formpressprofilen aus Hartlaubholz ein Vorbohren empfohlen. Daher wird an dieser Stelle der Nettoquerschnittsnachweis geführt:

$$R_{t,0,net,d} = \frac{9 \cdot 15 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{13 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 530 \text{ kN/m} \quad (7.71)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{520 \text{ kN/m}}{530 \text{ kN/m}} = 0,98 \quad (7.72)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{520 \text{ kN/m}}{765 \text{ kN/m}} = 0,68 \quad (7.73)$$

Für diese Verbindung sind 228 Niete pro Meter erforderlich, was nur durch eine hohe Setzgeschwindigkeit wirtschaftlich realisierbar ist.

Der Nachweis des Stahlbleches wird laut ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) geführt. Die Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ je Stahlblech unter Vernachlässigung eines möglichen Lochspieles errechnet sich zu:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 1000} \\ 0,9 \cdot \frac{9}{13} \cdot \frac{1,5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 360 \text{ N/mm}^2}{1,25 \cdot 1000} \end{array} \right\} = 269 \text{ kN/m} \geq \frac{R_{ges,d}}{2} = 260 \text{ kN/m}$$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ der Stahlbleche ergibt sich analog zu jener von Schraubverbindungen zu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \cdot 4 \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ mm}}{1,25} = 4.320 \text{ N} \geq \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = 1.140 \text{ N}$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Stahllaschen nachgewiesen (ASI, 2015b und 2017).

Stärke t_2 des Formpressprofiles 30 mm

In Tabelle 7.17 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreisvollquerschnitt für den in Kapitel 7-1.3 vorgestellten Zuglaschenstoß mit 3 mm starken außenliegenden Stahlblechen und 30 mm starken Formpressprofilen zusammengestellt.

Tabelle 7.17: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 30 \text{ mm}$

d	$f_{h,k}$	$M_{y,k}$	$R_{ax,k}$	$R_k(j,l)$	$R_k(k,m)$	$\Delta R_k(k,m)$	$R_k(k,m) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
2,0	58,7	357,0	1131,0	1759,9	470,7	117,7	588,4	653,0	588,4
2,5	58,4	697,3	1767,1	2188,6	733,6	183,4	917,0	1020,3	917,0
3,0	58,1	1204,9	2544,7	2612,9	1053,7	263,4	1317,1	1469,2	1317,1
3,5	57,8	1913,3	3463,6	3032,7	1295,6	323,9	1619,5	1999,7	1619,5
4,0	57,5	2856,0	4523,9	3447,9	1567,1	391,8	1958,8	2611,9	1958,8
4,5	57,2	4066,5	5725,6	3858,7	1867,1	466,8	2333,9	3305,6	2333,9
5,0	56,9	5578,1	7068,6	4265,0	2195,2	548,8	2744,0	4081,0	2744,0
6,0	56,3	9639,0	10178,8	5064,2	2933,8	733,5	3667,3	5876,7	3667,3
8,0	55,1	22848,0	18095,6	6608,5	5159,9	1290,0	6449,9	10447,5	6449,9
10,0	53,9	44625,0	28274,3	8081,1	7974,3	1993,6	9967,9	16324,2	8081,1

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch hier sinngemäß. Die volle plastische Tragfähigkeit kann bei dieser Verbindung mit Nieten mit einem Durchmesser $d \leq 8 \text{ mm}$ erreicht werden. Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.17 dunkelgrau hinterlegte Niet mit einem Durchmesser d von 8 mm verwendet.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) zu:

Tabelle 7.18: Mindestabstände der Niete mit $d = 8 \text{ mm}$

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	40 mm	40 mm
a_2	24 mm	26 mm
$a_{3,t}$	80 mm	80 mm
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	24 mm	–
$a_{4,t}$	24 mm	–
$a_{4,c}$	24 mm	–
e_1	24 mm	25 mm

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittelanzahl mit der realen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 3$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 3 \quad (7.74)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} = 38 \quad (7.75)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{ges,d} = \frac{0,9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 38 \cdot 6,4499 \text{ kN}}{1,3} = 1.018 \text{ kN/m} \quad (7.76)$$

Die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{t,0,net,d} = \frac{18 \cdot 30 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{26 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 1.059 \text{ kN/m} \quad (7.77)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{1.018 \text{ kN/m}}{1.059 \text{ kN/m}} = 0,96 \quad (7.78)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{1.018 \text{ kN/m}}{1.530 \text{ kN/m}} = 0,67 \quad (7.79)$$

Für diese Verbindung sind 114 Niete pro Meter erforderlich, was nur durch eine hohe Setzgeschwindigkeit wirtschaftlich realisierbar ist.

Der Nachweis der Stahlbleche wird laut ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) geführt. Die Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ je Stahlblech unter Vernachlässigung eines möglichen Lochspieles errechnet sich zu:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{3 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 1000} \\ 0,9 \cdot \frac{18}{26} \cdot \frac{3 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 360 \text{ N/mm}^2}{1,25 \cdot 1000} \end{array} \right\} = 538 \text{ kN/m} \geq \frac{R_{ges,d}}{2} = 509 \text{ kN/m}$$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ der Stahlbleche ergibt sich analog zu jener von Schraubverbindungen zu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}}{1,25} = 17.280 \text{ N} \geq \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = 4.465 \text{ N}$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Stahllaschen nachgewiesen (ASI, 2015b und 2017).

7-4.3.2 Niete mit Kreishohlquerschnitt

Stärke t_2 des Formpressprofils 15 mm

In Tabelle 7.19 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreishohlquerschnitt für den in Kapitel 7-1.3 vorgestellten Zuglaschenstoß mit 1,5 mm starken außenliegenden Stahlblechen und 15 mm starken Formpressprofilen zusammengestellt.

Tabelle 7.19: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 15$ mm

d_a	d_i	$f_{b,k}$	$M_{y,k}$	k_b	$R_{ax,k}$	$R_k (j,l)$	$R_k (k,m)$	$\Delta R_k (k,m)$	$R_k (k,m) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[-]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
2,0	1,6	58,7	174	0,794	407	880	219	55	274	235	235
2,0	1,4	58,7	235	0,879	577	880	282	71	353	333	333
2,5	2,0	58,4	340	0,794	636	1094	308	77	385	367	367
2,5	1,9	58,4	391	0,836	746	1094	348	87	435	431	431
2,5	1,7	58,4	478	0,890	950	1094	410	102	512	548	512
3,0	2,5	58,1	508	0,742	778	1306	359	90	449	449	449
3,0	2,4	58,1	588	0,794	916	1306	413	103	516	529	516
3,0	2,0	58,1	848	0,896	1414	1306	560	140	700	816	700
4,0	3,4	57,5	1102	0,708	1255	1724	580	145	725	725	725
4,0	3,2	57,5	1394	0,794	1629	1724	731	183	913	940	913
4,0	3,0	57,5	1651	0,845	1979	1724	847	212	1058	1143	1058
5,0	4,4	56,9	1777	0,623	1595	2133	720	180	900	921	900
5,0	4,0	56,9	2722	0,794	2545	2133	1135	284	1419	1469	1419
5,0	3,5	56,9	3665	0,879	3605	2133	1459	365	1824	2081	1824
6,0	5,2	56,3	3364	0,665	2533	2532	1153	288	1442	1463	1442
6,0	5,0	56,3	4061	0,742	3110	2532	1414	353	1767	1796	1767
6,0	4,5	56,3	5573	0,845	4453	2532	1885	471	2356	2571	2356
6,0	4,0	56,3	6783	0,896	5655	2532	2206	551	2757	3265	2532
8,0	7,2	55,1	6192	0,537	3438	3304	1443	361	1804	1985	1804
8,0	7,0	55,1	7542	0,640	4241	3304	1897	474	2371	2449	2371
8,0	6,5	55,1	10593	0,776	6150	3304	2728	682	3410	3551	3304
8,0	6,0	55,1	13209	0,845	7917	3304	3315	829	4143	4571	3304
10,0	9,0	53,9	12093	0,537	5372	4041	2230	557	2787	3102	2787
10,0	8,5	53,9	17220	0,708	7846	4041	3508	877	4385	4530	4041
10,0	8,0	53,9	21777	0,794	10179	4041	4421	1105	5526	5877	4041

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch hier sinngemäß. Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.19 dunkelgrau hinterlegte Niet mit einem Außendurchmesser d_a von 6 mm und einem Innendurchmesser d_i von 4,5 mm verwendet.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) zu:

Tabelle 7.20: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 6 \text{ mm}$

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	30 mm	30 mm
a_2	18 mm	19 mm
$a_{3,t}$	80 mm	80 mm
$a_{3,c} (150^\circ - 210^\circ)$	18 mm	–
$a_{4,t}$	18 mm	–
$a_{4,c}$	18 mm	–
e_1	18 mm	20 mm

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittelanzahl mit der realen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 3$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 3 \quad (7.80)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{19 \text{ mm}} = 52 \quad (7.81)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{ges,d} = \frac{0,9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 52 \cdot 2,356 \text{ kN}}{1,3} = 509 \text{ kN/m} \quad (7.82)$$

Die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{t,0,net,d} = \frac{13 \cdot 15 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{19 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 523 \text{ kN/m} \quad (7.83)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{509 \text{ kN/m}}{523 \text{ kN/m}} = 0,97 \quad (7.84)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{509 \text{ kN/m}}{765 \text{ kN/m}} = 0,67 \quad (7.85)$$

Für diese Verbindung sind 156 Niete pro Meter erforderlich.

Der Nachweis der Stahlbleche wird laut ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) geführt. Die Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ je Stahlblech unter Vernachlässigung eines möglichen Lochspieles errechnet sich zu:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 1000} \\ 0,9 \cdot \frac{13}{19} \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \\ \frac{\quad}{1,25 \cdot 1000} \end{array} \right\} = 266 \text{ kN/m} \geq \frac{R_{ges,d}}{2} = 255 \text{ kN/m}$$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ der Stahlbleche ergibt sich analog zu jener von Schraubverbindungen zu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \cdot 6 \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ mm}}{1,25} = 6.480 \text{ N} \geq \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = 1.631 \text{ N}$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Stahllaschen nachgewiesen (ASI, 2015b und 2017).

Stärke t_2 des Formpressprofils 30 mm

In Tabelle 7.21 sind die Tragfähigkeiten eines Verbindungsmittels mit Kreishohlquerschnitt für den in Kapitel 7-1.3 vorgestellten Zuglaschenstoß mit 3 mm starken außenliegenden Stahlblechen und 30 mm starken Formpressprofilen zusammengestellt.

Tabelle 7.21: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 30 \text{ mm}$

d_a	d_i	$f_{b,k}$	$M_{y,k}$	k_b	$R_{ax,k}$	$R_k (j,l)$	$R_k (k,m)$	$\Delta R_k (k,m)$	$R_k (k,m) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[Nmm]	[-]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
4,0	3,4	57,5	1102	0,708	1255	3448	689	172	862	725	725
4,0	3,2	57,5	1394	0,794	1629	3448	869	217	1086	940	940
4,0	3,0	57,5	1651	0,845	1979	3448	1007	252	1258	1143	1143
5,0	4,4	56,9	1777	0,623	1595	4265	771	193	964	921	921
5,0	4,0	56,9	2722	0,794	2545	4265	1217	304	1521	1469	1469
5,0	3,5	56,9	3665	0,879	3605	4265	1564	391	1955	2081	1955
6,0	5,2	56,3	3364	0,665	2533	5064	1153	288	1442	1463	1442
6,0	5,0	56,3	4061	0,742	3110	5064	1414	353	1767	1796	1767
6,0	4,5	56,3	5573	0,845	4453	5064	1885	471	2356	2571	2356
6,0	4,0	56,3	6783	0,896	5655	5064	2206	551	2757	3265	2757
8,0	7,2	55,1	6192	0,537	3438	6609	1443	361	1804	1985	1804
8,0	7,0	55,1	7542	0,640	4241	6609	1897	474	2371	2449	2371
8,0	6,5	55,1	10593	0,776	6150	6609	2728	682	3410	3551	3410
8,0	6,0	55,1	13209	0,845	7917	6609	3315	829	4143	4571	4143
10,0	9,0	53,9	12093	0,537	5372	8081	2230	557	2787	3102	2787
10,0	8,5	53,9	17220	0,708	7846	8081	3508	877	4385	4530	4385
10,0	8,0	53,9	21777	0,794	10179	8081	4421	1105	5526	5877	5526
12,0	9,0	52,7	44580	0,845	17813	9482	7294	1824	9118	10284	9118
14,0	12,0	51,5	45339	0,691	14703	10811	6424	1606	8030	8489	8030
16,0	14,0	50,3	60333	0,640	16965	12068	7249	1812	9061	9795	9061
18,0	16,0	49,1	77469	0,588	19227	13253	7918	1979	9897	11100	9897
20,0	18,0	47,9	96747	0,537	21488	14366	8410	2102	10512	12406	10512

Die in Kapitel 7-4.1.1 angeführten Überlegungen zur Wahl des Nietes gelten auch hier sinngemäß. Für die weitere Bemessung wird der in der Tabelle 7.21 dunkelgrau hinterlegte Niet mit einem Außendurchmesser d_a von 12 mm und einem Innendurchmesser d_i von 9 mm verwendet.

Die Mindestabstände der Niete ergeben sich aus Tabelle 7.4 und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) zu:

Tabelle 7.22: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 12$ mm

Mindestabstände	erforderlich	gewählt
a_1	60 mm	60 mm
a_2	36 mm	38 mm
$a_{3,t}$	84 mm	85 mm
$a_{3,c}$ (150° – 210°)	36 mm	–
$a_{4,t}$	36 mm	–
$a_{4,c}$	36 mm	–
e_1	36 mm	40 mm

Da hier die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes erreicht wird und eine Minimierung des Lochspieles in der Herstellung der Nietverbindung angenommen wird, kann hier, wie in Kapitel 7-2.9 erläutert, die effektive Verbindungsmittelanzahl mit der realen Verbindungsmittelanzahl gleichgesetzt werden. Wird $n = 3$ gewählt, folgt daraus:

$$n_{ef} = n = 3 \quad (7.86)$$

Für die Anzahl der Verbindungsmittelreihen m werden die Niete unter Einhaltung des gewählten Abstandes a_2 auf einen Meterstreifen aufgeteilt.

$$m = \frac{1000 \text{ mm}}{a_2} = \frac{1000 \text{ mm}}{38 \text{ mm}} = 26 \quad (7.87)$$

Die gesamte Tragfähigkeit der Verbindung $R_{ges,d}$ bezogen auf einen Meterstreifen errechnet sich aus Gl. (7.30) zu:

$$R_{ges,d} = \frac{0,9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 26 \cdot 9,118 \text{ kN}}{1,3} = 985 \text{ kN/m} \quad (7.88)$$

Die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes auf Zug in Faserrichtung ergibt sich zu:

$$R_{t,0,net,d} = \frac{26 \cdot 30 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 68 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9}{38 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 1.047 \text{ kN/m} \quad (7.89)$$

Somit kann nun auch der Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Brutto- und den Nettoquerschnitt ermittelt werden:

$$\mu_{net} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,net,d}} = \frac{985 \text{ kN/m}}{1.047 \text{ kN/m}} = 0,94 \quad (7.90)$$

$$\mu_{brutto} = \frac{R_{ges,d}}{R_{t,0,brutto,d}} = \frac{985 \text{ kN/m}}{1.530 \text{ kN/m}} = 0,64 \quad (7.91)$$

Für diese Verbindung sind 78 Niete pro Meter erforderlich. Im Vergleich zur Verbindung mit innenliegendem Stahlblech bedeutet dies eine Einsparung von 37 Nieten, bei einem höheren Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Bruttoquerschnitt.

Der Nachweis des Stahlbleches wird laut ÖNORM B 1993-1-1 (2017) und ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) geführt. Die Grenzzugkraft $N_{t,Rd}$ je Stahlblech unter Vernachlässigung eines möglichen Lochspieles errechnet sich zu:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{3 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 1000} \\ 0,9 \cdot \frac{26}{38} \cdot \frac{3 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 360 \text{ N/mm}^2}{1,25 \cdot 1000} \end{array} \right\} = 532 \text{ kN/m} \geq \frac{R_{ges,d}}{2} = 493 \text{ kN/m}$$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ der Stahlbleche ergibt sich analog zu jener von Schraubverbindungen zu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}}{1,25} = 25.920 \text{ N} \geq \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = 6.312 \text{ N}$$

Somit ist die Tragfähigkeit der Stahlaschen nachgewiesen (ASI, 2015b und 2017).

7-4.4 MOMENTENSTOß

7-4.4.1 Niete mit Kreishohlquerschnitt

Für den in Abbildung 7.4 dargestellten Anschluss werden wie bei herkömmlichen Momentenstößen, die mit Verbindungsmitteln auf Abscheren ausgeführt werden, jene Verbindungsmittel nachgewiesen die vom Schwerpunkt der Verbindungsmittelgruppe am weitesten entfernt liegen. In diesem Fall trifft das auf die Niete in den äußeren Ecken zu. Als erster Schritt wird der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung der Niete in den Ecken bestimmt. Wird der Stoß ausschließlich durch ein Moment beansprucht wird der Winkel wie folgt berechnet:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{x}{y} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{155 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \right) = 60^\circ \quad (7.92)$$

mit:

- α Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung der Decklagen in °
- x Abstand des Nietes vom Schwerpunkt der Verbindungsmittelgruppe in Faserrichtung der Decklagen
- y Abstand des Nietes vom Schwerpunkt der Verbindungsmittelgruppe quer zur Faser der Decklagen

Somit folgen daraus folgende Mindestabstände:

Tabelle 7.23: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 20 \text{ mm}$

Mindestabstände	erforderlich	vorhanden
a_1	80,0 mm	80 mm
a_2	60,0 mm	60 mm
$a_{3,t}$	140,0 mm	140 mm
$a_{4,t}$	74,6 mm	75 mm

Die Tragfähigkeit eines Nietes pro Scherfuge ist in Tabelle 7.24 angegeben. Für die Berechnung der Lochleibungsfestigkeit der Laschen aus Buchenfurniersperrholz wurde Gl. (7.3) angewendet.

Tabelle 7.24: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes pro Scherfuge

d_a	d_i	$f_{h,1,k}$	$f_{h,2,k}$	β	$M_{y,k}$	k_b	$R_{ax,k}$	$R_k(g)$	$R_k(h)$	$R_k(j)$	$R_k(k)$	$\Delta R_k(j)$	$\Delta R_k(k)$	$R_k(j) + \Delta R_k$	$R_k(k) + \Delta R_k$	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[Nmm]	[-]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
20,0	18,0	64,24	33,03	0,51	96747	0,537	21488	28908	9908	6557	8027	1639	2007	8196	10033	12406	8196

Nun kann die Momententragfähigkeit des Anschlusses rückgerechnet werden.

$$M_{R,d} = \frac{s \cdot R_k \cdot k_{\text{mod}} \cdot I_p}{\gamma_M \cdot \sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{2 \cdot 8196 \text{ N} \cdot 0,9 \cdot 309.200 \text{ mm}^2}{1,3 \cdot \sqrt{(155 \text{ mm})^2 + (90 \text{ mm})^2} \cdot 10^6} = 19,58 \text{ kNm} \quad (7.93)$$

mit:

$M_{R,d}$ Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Anschlusses

s Anzahl der Scherfugen

R_d Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Nietes pro Scherfuge

I_p Polares Trägheitsmoment der Verbindungsmittelgruppe:

$$I_p = \sum (x_i^2 + y_i^2) \quad (7.94)$$

Die Festigkeit des Formpressprofils auf Biegung wird mangels derzeitigen Versuchsergebnissen aus den Bemessungsrichtlinien für BauBuche Q übernommen. Die charakteristische Festigkeit $f_{m,k}$ von 60 N/mm² ist für Profile mit einer Höhe zwischen 300 mm < $h \leq 1000$ mm mit dem Höhenbeiwert k_h nach Gl. (7.95) zu reduzieren (Blaß und Streib, 2017).

$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^{0,12} = \left(\frac{300}{330} \right)^{0,12} = 0,989 \quad (7.95)$$

Für die Berechnung des Widerstandsmomentes des Nettoquerschnittes W_{netto} wurden auch die Schwächungen des Querschnitts durch die Niete im Bereich der Biegedruckzone abgezogen, siehe hierzu die Ausführungen im Kapitel 7-2.3. Die Momententragfähigkeit des Brutto- bzw. Nettoquerschnittes des Formpressprofils ergibt sich zu:

$$M_{R,\text{brutto},d} = f_{m,d} \cdot W_{\text{brutto}} = \frac{0,9 \cdot 59,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 544.500 \text{ mm}^3}{1,2 \cdot 10^6} = 24,22 \text{ kNm} \quad (7.96)$$

$$M_{R,netto,d} = f_{m,d} \cdot W_{netto} = \frac{0,9 \cdot 59,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 478.561 \text{ mm}^3}{1,2 \cdot 10^6} = 21,28 \text{ kNm} \quad (7.97)$$

Daraus folgt ein Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Nettoquerschnitt von 0,92 und ein Wirkungsgrad bezogen auf den Bruttoquerschnitt von 0,81. Hieraus ist ersichtlich, dass bereits mit wenigen Verbindungsmitteln ein sehr guter Wirkungsgrad des Anschlusses erreicht werden kann. Um ein möglichst duktilen Verhalten des Anschlusses sicherzustellen, sollten die Verbindungsmittel so angepasst sein, dass nicht der Nettoquerschnittsnachweis maßgebend wird.

7-4.4.2 Niete mit Kreisvollquerschnitt

Für den in Abbildung 7.5 dargestellten Anschluss werden wie bei herkömmlichen Momentenstößen, die mit Verbindungsmitteln auf Abscheren ausgeführt werden, jene Verbindungsmittel nachgewiesen die vom Schwerpunkt der Verbindungsmittelgruppe am weitesten entfernt liegen. In diesem Fall trifft das auf die Niete in den äußeren Ecken zu. Als erster Schritt wird der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung der Niete in den Ecken bestimmt. Wird der Stoß ausschließlich durch ein Moment beansprucht wird der Winkel wie folgt berechnet:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{135 \text{ mm}}{136 \text{ mm}}\right) = 45^\circ \quad (7.98)$$

mit:

- α Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung der Decklagen in °
- x Abstand des Nietes vom Schwerpunkt der Verbindungsmittelgruppe in Faserrichtung der Decklagen in mm
- y Abstand des Nietes vom Schwerpunkt der Verbindungsmittelgruppe quer zur Faser der Decklagen in mm

Somit folgen daraus folgende Mindestabstände:

Tabelle 7.25: Mindestabstände der Niete mit $d = 6 \text{ mm}$

Mindestabstände	erforderlich	vorhanden
a_1	26,5 mm	45 mm
a_2	18,0 mm	34 mm
$a_{3,t}$	80,0 mm	80 mm
$a_{4,t}$	20,5 mm	29 mm

Die Tragfähigkeit eines Nietes pro Scherfuge ist in Tabelle 7.26 angegeben. Für die Berechnung der Lochleibungsfestigkeit ist keine Reduktion in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung notwendig, da der Durchmesser des Nietes $\leq 8 \text{ mm}$ beträgt. Für die Berechnung der Lochleibungsfestigkeit der Laschen aus Buchenfurniersperrholz wurde Gl. (7.3) angewendet. Der Versagensfall (k) ist maßgebend, somit ist durch die Bildung von zwei plastischen Gelenken im Niet ein duktilen Verhalten der Verbindung gewährleistet.

Tabelle 7.26: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes pro Scherfuge

d	$f_{h,1,k}$	$f_{h,2,k}$	β	$M_{y,k}$	$R_{ax,k}$	$R_k (g)$	$R_k (h)$	$R_k (j)$	$R_k (k)$	$\Delta R_k (j)$	$\Delta R_k (k)$	$R_k (j)^+$ ΔR_k	$R_k (k)^+$ ΔR_k	$R_{v,k}$	R_k
[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[Nmm]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
6,0	75,5	56,3	0,7	9639,0	10178,8	10190,1	5064,2	3784,5	3140,5	946,1	785,1	4730,6	3925,6	5876,7	3925,6

Nun kann die Momenten Tragfähigkeit des Anschlusses rückgerechnet werden.

$$M_{R,d} = \frac{s \cdot R_k \cdot k_{\text{mod}} \cdot I_p}{\gamma_M \cdot \sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{2 \cdot 3925,6 \text{ N} \cdot 0,9 \cdot 734.850 \text{ mm}^2}{1,3 \cdot \sqrt{(135 \text{ mm})^2 + (135 \text{ mm})^2} \cdot 10^6} = 19,57 \text{ kNm} \quad (7.99)$$

mit:

$M_{R,d}$ Bemessungswert der Momenten Tragfähigkeit des Anschlusses in Nmm

s Anzahl der Scherfugen

R_d Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Nietes pro Scherfuge in N

I_p Polares Trägheitsmoment der Verbindungsmittelgruppe in mm^2 :

$$I_p = \sum (x_i^2 + y_i^2) \quad (7.100)$$

Für die Berechnung des Widerstandsmomentes des Nettoquerschnittes W_{netto} wurden auch die Schwächungen des Querschnitts durch die Niete im Bereich der Biegedruckzone abgezogen. Siehe hierzu die Ausführungen im Kapitel 7-2.3. Die Momenten Tragfähigkeit des Brutto- bzw. Nettoquerschnittes des Formpressprofils ergibt sich zu:

$$M_{R,\text{brutto},d} = f_{m,d} \cdot W_{\text{brutto}} = \frac{0,9 \cdot 59,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 544.500 \text{ mm}^3}{1,2 \cdot 10^6} = 24,22 \text{ kNm} \quad (7.101)$$

$$M_{R,\text{netto},d} = f_{m,d} \cdot W_{\text{netto}} = \frac{0,9 \cdot 59,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 469.914 \text{ mm}^3}{1,2 \cdot 10^6} = 20,90 \text{ kNm} \quad (7.102)$$

Daraus folgt ein Wirkungsgrad der Verbindung bezogen auf den Nettoquerschnitt von 0,94 und ein Wirkungsgrad bezogen auf den Bruttoquerschnitt von 0,81. Die Größe der Zuglaschen konnte im Vergleich zum Momentenstoß mit Hohlنieten bei annähernd gleicher Tragfähigkeit um ein Viertel verkleinert werden. Dies führt zu einer geringeren Exzentrizität des Anschlusses und somit zu kleineren Zusatzmomenten durch eventuelle Querkräfte.

7-5 FAZIT

Diese erste Potenzialanalyse hat gezeigt, dass es möglich ist bei entsprechender Verbindungsmittelanzahl einen guten Wirkungsgrad und ein duktilen Verhalten des Anschlusses durch die Verwendung von Nieten sicherzustellen.

Die volle plastische Tragfähigkeit des Nietes kann bei der Verwendung von Hohlنieten aus S235, aufgrund der geringen Stärke und der hohen Lochleibungsfestigkeit der Füge teile in den wenigsten Fällen sichergestellt werden, da hier die Schubtragfähigkeit des Nietes maßgebend wird. Massive Niete aus S235 sind in der Lage die volle plastische Tragfähigkeit zu erreichen. Hier ist mit Durchmessern des Nietes von 2 mm bis zu 6 mm, je nach Anschlussstyp und Stärke der Füge teile zu rechnen. Daraus resultiert jedoch auch ein Anschluss mit einer großen Anzahl an Verbindungsmitteln, der nur durch einen schnellen manuellen Setzvorgang oder einer vollautomatisierten Applikation der Niete wirtschaftlich herzustellen ist.

Die Erstellung einer Verbindung, bei der die Niete aus S235 zumindest ein Fließgelenk bilden können, gestaltet sich einfacher. Hier ist bei massiven Nieten ein Durchmesser von 4 – 10 mm je nach Anschlussstyp und Stärke der Füge teile zu erwarten. Bei der Verwendung von Hohlنieten kann durch die Wahl eines entsprechenden Außen- bzw. Innendurchmessers die Duktilität des Nietes je nach Erfordernis eingestellt werden. Entsprechende Außendurchmesser des Hohlنietes reichen von 6 – 20 mm. Der Hohlنiet kann im Vergleich zu massiven Nieten, bei Sicherstellung eines Fließgelenkes im Versagensfall, je nach Anschlussstyp und Stärke der Füge teile die 1,6 – 2,7-fache Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel erreichen. Ist ein Anschluss mit einer möglichst geringen Anzahl an Nieten, welche sich dennoch duktil

verhalten, notwendig, ist die Verwendung von Nieten mit einem hohlen Schaft sinnvoll.

Die Verwendung von innenliegenden Stahlblechen führt zu geringen Fügeteilstärken, woraus eine große Anzahl an schlanken Nieten zur Sicherstellung der Duktilität resultiert. Außerdem wird der Bruttoquerschnitt des Formpressprofils durch den notwendigen Schlitz für das innenliegende Stahlblech geschwächt, was zu einem niedrigeren Wirkungsgrad bezogen auf den Bruttoquerschnitt im Vergleich zu Verbindungen mit außenliegenden Laschen führt. Hier ist die Verwendung von außenliegenden Laschen aus Stahl oder Holzwerkstoffen sinnvoller.

Bei der Verwendung von Hohlнитеn ist im Vergleich zu massiven Nieten ein größerer Anschluss notwendig, um die Mindestabstände der Niete sicherzustellen. Durch die geringere Tragfähigkeit der Hohlните im Vergleich zu massiven Nieten mit dem gleichen (Außen-) Durchmesser und der daraus folgenden geringeren Spannung im Bereich der Lochleibung, wäre eine Reduktion der Mindestabstände und somit der Größe des Anschlusses für hohle Niete denkbar.

Die Verwendung von alternativen Nietwerkstoffen wie Aluminiumlegierungen, die im Vergleich zu S235 geringere Festigkeiten aufweisen, verspricht eine höhere Duktilität bei gleichem Nietdurchmesser. Dies kann besonders bei der Fügung von Profilen mit geringer Stärke eine ausreichende Duktilität sicherstellen.

Da sich das Tragverhalten von Passbolzen wie jenes von Nietverbindungen verhält, können diese wie massive Niete bemessen werden. Die notwendige große Anzahl an Verbindungsmitteln bei vergleichsweise kleinem Durchmesser und hohem Applikationsaufwand ist unwirtschaftlich. Die Verwendung von Hohlbolzen, angelehnt an den historischen Flugzeugbau, führt analog zur Verwendung von Hohlнитеn zu einer Reduktion der notwendigen Verbindungsmittel, deren Anzahl für einen wirtschaftlichen Einsatz von Passbolzen dennoch zu hoch anzusehen ist.

Neben einer hohen Duktilität und Tragfähigkeit der Verbindung sei hier die hohe Steifigkeit als weitere wichtige Anforderung einer Verbindung zu nennen. Sie verhindert zu große Verformungen des Tragwerks. Des Weiteren ist für statisch unbestimmte Tragwerke eine klar zuordenbare Steifigkeit der Verbindung notwendig, um die Schnittkraftverläufe der einzelnen Bauteile realistisch zu bestimmen.

Je kleiner das Lochspiel desto geringer der Schlupf einer Verbindung. Dies erlaubt eine klar zuordenbare Steifigkeit der Verbindung und eine frühere Aufnahme und Weiterleitung der Belastungen bei Wechselbeanspruchungen. Durch eine entsprechenden Ausführung und Applikation des Nietes kann das Lochspiel minimiert und die Steifigkeit maßgeblich erhöht werden.

KAPITEL 8: AUSFÜHRUNGSVARIANTEN DER NIETE

8-1 ALLGEMEINES

Der Einsatz von Formpressprofilen als weitgespannte Decken- oder Dachkonstruktionen im Hochbau, möglicherweise im Verbund mit Holz, Holzprodukten oder anderen Materialien wie in Abbildung 8.1 dargestellt, bietet nach (Loik, 2015) das größte Potential. Daher sind, wie im Hochbau üblich, nur geringe dynamische Beanspruchungen, wie durch Windeinwirkungen auf die Dachkonstruktion, zu erwarten. Eine Ausnahme hiervon stellt die außergewöhnliche Beanspruchung durch Erdbeben dar, wofür eine ausreichende Duktilität des Tragwerkes notwendig ist und im Holzbau maßgebend die Verbindungsmittel zu sorgen haben (Schickhofer, 2009).

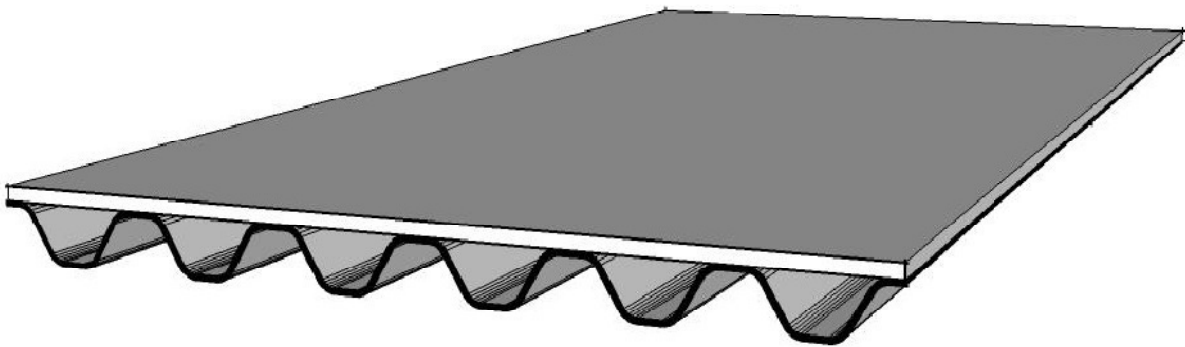


Abbildung 8.1: Einsatz von Formpressprofilen als Deckenelemente im Verbund (Loik, 2015)

Die zu erwartende Stärke der Formpressprofile liegt bei 15 – 30 mm. Zur Fügung dieser Formpressprofile werden, wie in Kapitel 7-5 angeführt, bei Nieten mit vollem Schaft Durchmesser von 2 – 10 mm und bei Nieten mit hohlem Schaft Außendurchmesser von 6 – 20 mm als sinnvoll erachtet.

Ist durch die Fertigungsanlage im Werk nur eine begrenzte Länge bzw. Breite der Formpressprofilelemente herstellbar, können bereits im Werk durch hochautomatisierte Nietverfahren diese Elemente zu größeren Bauteilen gefügt werden. Auch die Herstellung des gesamten Verbundbauteiles bis hin zu vollständigen Modulen kann werkseitig durch Nietung erfolgen. In diesen Fällen kann im Allgemeinen von einem beidseitigen Zugang durch automatisierte Maschinen zur Herstellung der Nietverbindung ausgegangen werden.

Vor Ort ist es notwendig die Formpressprofile untereinander und mit anderen Bauteilen zu verbinden. Hier sind Anschlüsse mit geringer Verbindungsmittellanzahl bei hoher Tragfähigkeit kombiniert mit einem schnellem Setzvorgang der einzelnen Niete notwendig, um die Montagezeit und somit die Kosten zu senken. Für die Montage von Nieten, die einen beidseitigen Zugang benötigen, werden oftmals neben der Zugänglichkeit von beiden Seiten, zwei Personen zur Herstellung des Anschlusses dieser flächigen Elemente benötigt. Hierfür ist auch ein höherer Koordinationsaufwand dieser Personen notwendig, da meist kein direkter Sichtkontakt gegeben ist. Aus diesen Gründen ist auf der Baustelle Nietverbindungen, die nur einen einseitigen Zugang benötigen der Vorzug zu geben.

Im Folgenden sollen nun drei ausgewählte Niettypen, die prinzipiell für die Fügung von Formpressprofilen infrage kommen, vorgestellt werden. Augenmerk hierbei wird vor allem auf die

Ausführung der Niete und die Herstellung der Nietverbindung gelegt. Die Grundlage hierfür bietet die umfassende Recherche zu den unterschiedlichen Niettypen in den Kapiteln 5 und 6.

Unabhängig von den unterschiedlichen Niettypen sei hier angemerkt, dass die Verwendung gewölbter Unterlegscheiben, siehe hierzu auch Kapitel 6-3, im Sinne einer Tellerfeder eine Möglichkeit bietet eine gewisse Vorspannung in der Verbindung zu erzeugen, um somit ein eventuelles Lockern des Nietes beispielsweise durch Quellen / Schwinden der Füge­teile zu verhindern bzw. zu reduzieren und ein besseres Tragverhalten unter dynamischen Einwirkungen zu generieren.

8-2 HOHLNIET

Der Hohlriet, vorgestellt in Kapitel 5-2.1.4, eignet sich gut zur Fügung von Formpressprofilen oder zur Herstellung eines Holz-Holz oder Holz-Stahl Verbundbauteiles im Werk. Als geeigneter Hohlriet wird der Rohrriet nach DIN 7340 (2011) vorgeschlagen. Da diese Niete nur bis zu einem Außendurchmesser von 10 mm genormt sind, wird es notwendig sein die Abmessungen des Rohrrietes nach oben hin zu erweitern, um sie an die Bedürfnisse im Holzbau anzupassen.

Für die Applikation des Hohlrietes wird das System von Leijten, welches im Kapitel 6-5 detailliert vorgestellt wurde, vorgeschlagen. Kann der Setz- bzw. Schließkopf des Nietes ausreichend groß ausgeführt werden, um eine ausreichende axiale Tragfähigkeit zur Sicherstellung der Seilwirkung oder einer möglichen Vorspannung zu gewährleisten, kann auf Unterlegscheiben verzichtet werden. Gegenüber für Hohlrietten bisher üblichen Setzvorgängen bietet diese Applikation den Vorteil, dass die Rohrriete an die Bohrlochwandungen gepresst werden und so eine exakte Passung zwischen Niet und Bohrloch gesichert ist. Die Matrizenform und ein geeigneter Pressdruck sind entscheidend für eine optimale Nietverbindung.

Für die Ausführung dieser Applikation sind zwar ein Vorbohren und ein Zugang von beiden Seiten notwendig, sie bietet aber die Möglichkeit mit einer übersichtlichen Anzahl an Nieten eine leistungsfähige Verbindung herzustellen. Da die Niete hohl sind können diese Öffnungen genutzt werden, um Kabel durchzuführen ohne dafür zusätzliche Schwächungen des Querschnittes in Kauf nehmen zu müssen.

8-3 DURCHZIEHNIET

Der bereits in Kapitel 5-3.2.7 besprochene Durchziehriet bietet den Vorteil, dass nur eine Seite der Verbindung zugänglich sein muss. Damit ist diese Verbindungsmittellösung für den Einsatz auf der Baustelle prädestiniert. Eine mögliche Applikation der Niete mit automatisierten Maschinen wird zudem angeführt.

Durch die Ausbildung eines Hohlquerschnittes des Nietes nach dem Setzen, bietet auch der Durchziehriet Duktilität bei hoher Tragfähigkeit. Wird die konische Ausbildung des Nietdorns am Schließkopfe entsprechend ausgeführt, kann durch den Durchziehvorgang die Niethülse derart aufgeweitet werden, dass etwaige Bohrlochtoleranzen kompensiert werden können und noch keine Spaltgefahr für den Holzbauteil besteht. Der Dorn ist Teil der Setzvorrichtung und die Niethülsen sind am Dorn magaziniert, wodurch hohe Setzgeschwindigkeiten erreicht werden können.

Derzeit sind Durchziehriete in Außendurchmessern von 2 –6 mm üblich, hier ist zu erwarten, dass bei Außendurchmessern bis 20 mm, wie sie für den Holzbau benötigt werden, stärkere und damit schwerere Maschinen benötigt werden, um den Nietdorn durchzuziehen und die Niete an die Bohrlochwandung zu pressen. Bei der Verwendung von kleineren Nietten sind die Durchziehkräfte geringer, dafür natürlich auch die Anzahl der erforderlichen Niete höher. Hier gilt es einen Kompromiss zu finden, der schließlich zu einer optimierten, wirtschaftlichen Montage führt.

Der Durchziehriet muss an der Schließkopffseite angepasst werden um ein Durchziehen des Nietschaftes zu verhindern. Hierfür ist der Schließkopf eines Presslaschennietes (Kapitel 5-3.2.4) oder eines Spreizblindnietes (Kapitel 5-3.2.3) geeignet. Durch den Setzvorgang wird die Niethülse an der Schließkopffseite aufgeweitet und bietet somit einen großen Auflagebereich. Dies reduziert einerseits

örtlich hohe Beanspruchungen und gleicht andererseits größere Toleranzen aus.

8-4 SCHLIEßRINGNIET

Der in Kapitel 5-2.1.5 behandelte Schließringniet benötigt für seine Applikation beidseitigen Zugang und ist damit nicht überall einsetzbar. Der Schaft ist nicht hohl wie bei den anderen Varianten, wodurch eine höhere Verbindungsmittellanzahl bei reiner Scher-Lochleibungs-Tragwirkung notwendig ist. Der große Vorteil des Schließringnietes liegt in seiner hohen Setzgeschwindigkeit und in der Möglichkeit diese Nietverbindung vorzuspannen. Dadurch wird sie auch für dynamische Einwirkungen, wie z.B. in Folge eines Erdbebens, als geeignet angesehen.

Eine planmäßige Vorspannung wird aufgrund des Quell- und Schwindverhaltens von Holz nur für den Einsatz in Nutzungsklasse 1 empfohlen. Die Grenzgleitkraft der Verbindung durch die planmäßige Vorspannung kann mit Gl. (8.1) ermittelt werden. Diese Formel wurde aus der ÖNORM B 1993-1-8 (2015b) für gleitfeste Verbindungen übernommen und adaptiert. Die Festigkeit des planmäßig vorgespannten Bolzens sollte analog zum Stahlbau 8.8 oder 10.9 betragen.

$$R_{s,d} = F_{ax,pre,d} \cdot \mu \cdot s \cdot k_s \quad (8.1)$$

mit:

$R_{s,d}$ Grenzgleitkraft des Verbindungsmittels durch die planmäßige Vorspannung in N

$F_{ax,pre,d}$ planmäßige Vorspannung des Verbindungsmittels in N

μ Reibungsbeiwert der Füge-teile
 (Vorschlag: $\mu_{\text{Holz-Holz}} = 0,15$; $\mu_{\text{Holz-Stahl}} = 0,25$) (Schickhofer, 2016)

s Anzahl der Scherfugen

k_s Beiwert zur Berücksichtigung des Lochspiels (ohne Langlöcher: 1,0)

Unabhängig von der Gleittragfähigkeit der Verbindung durch die Vorspannung ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen, dass die Verbindung als reine Scher-Lochleibungs-Verbindung ausreichend tragfähig ist.

Der zusätzliche Arbeitsschritt des notwendigen Vorbohrens der Füge-teile könnte durch ein Gewinde am Ende des Bolzens entfallen. Dieses Gewinde muss in der Lage sein ein Spalten dieser dünnen Formpressprofile aus Hartlaubholz beim Eindrehen des Nietes zu verhindern. Durch eine konische Ausbildung des Schaftteiles kann das Lochspiel minimiert werden und somit die volle Grenzgleitkraft durch eine Vorspannung genutzt werden.

KAPITEL 9: SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK

Formpressprofile bieten eine effiziente Möglichkeit die guten Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Hartlaubholz zu nutzen. Die durchgeführte Untersuchung unter Einbindung bekannter Verbindungsmittel zur Fügung von Holzprodukten zeigte, dass unter anderem stiftförmige Verbindungsmittel, die auf Abscheren beansprucht werden, ein hohes Potential bieten um eine effiziente und duktile Verbindung dieser 15–30 mm starken Profile herzustellen. Herkömmliche Verbindungsmittel scheiden aus, da die Lagesicherheit des Verbindungsmittels nicht sichergestellt werden kann (z.B. Stabdübel) oder die Applikation zu aufwendig ist (z.B. Passbolzen). Die Verwendung von Nieten, die im Metallbau erfolgreich zur Fügung von dünnen Profilen verwendet werden, stellt eine mögliche und gute Alternative dar.

Die Recherche zu den vorhandenen Nietverbindungen ergab ein weites Feld an unterschiedlichen Niettypen, je nach Einsatzgebiet, Zugänglichkeit oder zu fügenden Materialien. Im modernen Flugzeugbau werden die Niete aufgrund der hohen dynamischen Beanspruchungen nach wie vor anderen Verbindungslösungen vorgezogen. Bereits mit geringen Anpassungen, wie die Verwendung eines Flachkopfes, ist es möglich einige dieser Niete an die Anforderungen im konstruktiven Holzbau anzupassen. Stanzniete, deren großer Vorteil die hohen Setzgeschwindigkeiten darstellen, können zur Fügung der Formpressprofile nicht verwendet werden, dazu wird ein plastisches Verformungsvermögen und ein homogenes Material der Füge-teile zur Sicherstellung einer gleichbleibend guten Verbindungsqualität benötigt.

Im historischen Holzflugzeugbau war es gängig Niete, insbesondere Hohl-niete, zur Fügung von dünnwandigen Sperrholzplatten zu verwenden. Das Bestreben die Flugzeuge leicht und sicher auszuführen führte schnell zu Richtlinien zur Optimierung der Bauteile und Anschlüsse. Die Recherche lieferte erste Erkenntnisse zum Verhalten der Niete unter Beanspruchung, insbesondere des möglichen Abscherens und Beulens bei Verwendung von Hohl-nieten.

Leijten befasste sich in seiner Abschlussarbeit mit Rohrverbindern zur Fügung von VH und BSH, die auf Abscheren beansprucht werden. Durch diese Rohr-niete konnte er eine hochtragfähige Verbindung mit einem großen Verformungspotential und einer klar zuordenbaren Steifigkeit realisieren.

Auf Grundlage dieser Recherchen war es möglich das Verhalten der Niete unter Beanspruchung festzustellen, welches jenem von Passbolzen, die auf Abscheren beansprucht werden, gleicht. Somit konnte basierend auf dem derzeitigen Stand des Wissens zur Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Furnierschichtholz aus Hartlaubholz ein erster Ansatz zur Potentialabschätzung von Nietverbindungen mit vollem und hohlem Schaft erstellt werden. Dazu wurden verschiedene Anschlüsse die auf Zug oder Biegung beansprucht werden, bemessen.

Diese erste Potenzialanalyse hat gezeigt, dass es möglich ist bei entsprechender Verbindungsmittelanzahl einen guten Wirkungsgrad und ein duktileres Verhalten des Anschlusses durch die Verwendung von Nieten sicherzustellen. Bei der Verwendung von Nieten mit einem vollen Schaft ist es notwendig eine große Anzahl an Verbindungsmitteln zu applizieren um einen hohen Wirkungsgrad der Verbindung und ein duktileres Verhalten der Niete sicherzustellen. Durch die Verwendung von Hohl-nieten können größere und damit tragfähigere Niete verwendet werden, was die Anzahl der notwendigen Verbindungsmittel reduziert.

Die in Kapitel 8 vorgestellten Niettypen sind als Diskussionsgrundlage zu betrachten, da ihre Praxistauglichkeit für die hier untersuchten Formpressprofile noch zu prüfen ist. Für eine genauere

Beurteilung des Tragverhaltens der Nietverbindung zur Fügung von Formpressprofilen aus Hartlaubholz und eine Optimierung des Anschlusses sind noch weitere auf diese Masterarbeit aufbauende Forschungsarbeiten, besonders auch numerischer und experimenteller Natur, notwendig.

Zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit gibt es Bemessungsrichtlinien für Furnierschichtholz und Furniersperrholz, jedoch wird die Holzart nur über die charakteristische Rohdichte berücksichtigt. Eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Eigenschaften von Nadelholz und ring- oder zerstreutporiger Laubhölzer erfolgt nicht. Die Lochleibungsfestigkeit von Vollholz aus Laubholz ist auf Grundlage zahlreicher Versuche bekannt. Der Einfluss der Homogenisierung des Holzproduktes durch die Verklebung von Hartlaubholz Furnieren und der Querlagen auf die Lochleibungsfestigkeit ist noch nicht bestimmt worden.

Durch die geringere Tragfähigkeit der Rohrniete bezogen auf den Außendurchmesser im Vergleich zu massiven Verbindungsmitteln und der daraus folgenden geringeren Spannungen im Bereich der Lochleibung ist es denkbar die Mindestabstände für Niete mit Hohlquerschnitten zu reduzieren. Dies kann die Größe des notwendigen Anschlusses maßgebend reduzieren.

Bei der Applikation von stiftförmigen Verbindungsmitteln in dünnwandige Profile aus Hartlaubholz wird im Allgemeinen ein Vorbohren der Füge-teile empfohlen. Hier ist zu prüfen, ob die höhere Querkraftfestigkeit der Formpressprofile durch die vorhandenen Querlagen eine Installation der Niete ohne Vorbohren der Füge-teile unter Berücksichtigung des Nietdurchmessers und der Applikationsgeschwindigkeit ermöglicht.

Für eine exakte Bestimmung des maßgebenden Versagensfalles einer Niete mit hohlem Schaft ist die Hypothese zur Bestimmung des Fließmomentes und des Beulens zu prüfen.

ANHANG A VERZEICHNISSE

A-1 Literaturverzeichnis

- Austrian Standards Institute, 1997. *ÖNORM ISO 2859-1: Annahmestichprobenprüfung anhand der Anzahl fehlerhafter Einheiten oder Fehler (Attributprüfung) - Teil 1: Nach der annehmbaren Qualitätsgrenzlage (AQL) geordnete Stichprobenanweisungen für die Prüfung einer Serie von Losen*. Ausgabe 1997-05-01, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2000. *ÖNORM EN ISO 3269: Mechanische Verbindungselemente-Annahmeprüfung*. Ausgabe 2000-11-01, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2001. *ÖNORM EN ISO 14589: Blindniete – Mechanische Prüfung*. Ausgabe 2001-06-01, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2011. *ÖNORM EN 12369-2: Holzwerkstoffe – Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Sperrholz*. Ausgabe 2011-08-01, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2014. *ÖNORM EN 1999-1-1: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln*. Ausgabe 2014-04-01, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2015a. *ÖNORM B 1995-1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Holzbau*. Ausgabe 2015-06-15, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2015b. *ÖNORM B 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Ausgabe 2015-11-01, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2016. *ÖNORM EN 14374 Entwurf: Holzbauwerke – Furnierschichtholz (LVL) – Anforderungen*. Ausgabe 2016-06-15, Austrian Standards Institute.
- Austrian Standards Institute, 2017. *ÖNORM B 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Ausgabe 2017-11-01, Austrian Standards Institute.
- Becker Jens, 2017: *Bootsbau Becker*. Online verfügbar unter <http://bootsbau-becker.de>, zuletzt geprüft am 16.11.2017.
- BFW, 2011. *Praxisinformation Nr.24: Waldinventur 2007/09*. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft.
- BFW, 2014. *Fact Sheet: Auswirkungen des Klimawandels auf Österreichs Wälder*. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft.
- Bittner Joachim, 1951. *Furniere – Sperrholz – Schichtholz: Erster Teil*. 2. Auflage, Werkstattbücher Heft 76, Springer Verlag.
- Blaß Hans Joachim, Colling Francois, 2015. *Load-carrying capacity of dowelled connections*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Augsburg University of Applied Sciences.
- Blaß Hans Joachim, Sandhaas Carmen, 2016. *Ingenieurholzbau – Grundlagen der Bemessung*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Blaß Hans Joachim, Streib Johannes, 2017. *BauBuche Buchen-Furnierschichtholz – Bemessungshilfe für Entwurf und Berechnung nach Eurocode 5*. 2. überarbeitete Auflage. Pollmeier.
- BMLFUW, 2015. *Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich: Österreichischer Waldbericht 2015*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Böllhoff, 2017. *Rivset, Stanznietechnik für perfekte Verbindungen*. Katalog, Böllhoff.

- Bralo, 2015. *Katalog Blindniete*. Bralo.
- Bralo, 2017. *Produkte Bralo*. Online verfügbar unter <http://www.bralo.com/de/produkte>, zuletzt geprüft am 29.10.2017.
- Brandner Reinhard, 2017. *Klebertechnologie und Holzwerkstoffe*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- BVM-Technik, 2017. *Blindnietechnik*. Online verfügbar unter <http://www.bvm-technik.com/content/bleche-fuegen/blindnietechnik/>, zuletzt geprüft am 29.10.2017.
- Conzetti Milena, 2014. *Laubholz am Wendepunkt*. Werk, bauen + wohnen; Wald und Holz 3-2014.
- DIBt, 2012a. *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-33.2-16: Max Exterior Fassadensystem*. Deutsches Institut für Bautechnik.
- DIBt, 2012b. *Europäische Technische Zulassung ETA-09/0002: fischer-Zykon-Plattenanker FZP-N für Max Exterior - Fassadenplatten*. Deutsches Institut für Bautechnik.
- DIBt, 2014. *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-847: Furnierschichtholz „Kerto-S“ und „Kerto-Q“ nach EN 14374*. Deutsches Institut für Bautechnik.
- DIBt, 2016. *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-757: Wolf-Nagelplatten Typ 101 als Holzverbindungsmittel*. Deutsches Institut für Bautechnik.
- DIBt, 2017. *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-778: 2K-EP-Klebstoff GSA-Harz und GSA-Härter für das Einkleben von Stahlstäben in Holzbaustoffe*. Deutsches Institut für Bautechnik.
- DIN, 2003a. *DIN 8580: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung*. Ausgabe 2003-09, Deutsches Institut für Normung.
- DIN, 2003b. *DIN 8593-0: Fertigungsverfahren Fügen – Teil 0: Allgemeines; Einordnung, Unterteilung, Begriffe*. Ausgabe 2003-09, Deutsches Institut für Normung.
- DIN, 2011. *DIN 7340: Rohrniete aus Rohr gefertigt*. Ausgabe 2011-03, Deutsches Institut für Normung.
- Elmendorf Armin, 1920. *Data on the design of plywood for aircraft*. Report No. 84, National Advisory Committee for Aeronautics.
- Enders-Comberg Markus, 2015. *Leistungsfähige Verbindungen des Ingenieurholzbaus*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau Band 28, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Forest Europe, 2015. *Summary for Policy Makers: State of Europe's Forests 2015*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe.
- Fundermax, 2015. *Technik Exterior*. Ausgabe Januar 2015, Fundermax.
- Genzcke, Chief Engineer, 1924. *Structural methods employed by the Schütte-Lanz airship company*. National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Memorandum No.313.
- Hübner Ulrich, 2013. *Mechanische Kenngrößen von Buchen-, Eschen- und Robinienholz für lastabtragende Bauteile*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Jelec Blazenka, 2016. *Untersuchungen zugbeanspruchter faserparallel eingeklebter Bleche in Furnierschichtholz aus Buche*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Kerb Konus, 2017. *Stanz-Niet-System für dünne Formteile, Tuk-Rivet*. Technische Druckschrift Nr.45, Kerb Konus.
- Köberl Daniel, 2017. *Analysen betreffend eines hochleistungsfähigen, geschraubten Rohrverbinders für Anwendungen in Hartlaubholzprodukten*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Koerbitz Uwe, 2017: *Konstruktionsatlas*. Online verfügbar unter <https://www.konstruktionsatlas.de/>, zuletzt geprüft am 29.10.2017.
- Künne Bernd, 2001. *Einführung in die Maschinenelemente: Gestaltung – Berechnung – Konstruktion*. 2. Auflage, Teubner.

- Leeb Wolfgang, Hübner Ulrich, 2006. *Zuschnitt 23, Laubholz tragfähig und edel*. proHolz Austria.
- Leijten, A.J.M., 1998. *Densified veneer wood reinforced timber joints with expanded tube fasteners*. Thesis, Delft University Press.
- Lexer Manfred J., Jandl Robert, Nabernegg Stefan, Bednar-Friedl Birgit, Themeßl Matthias, Wolf Angelika, Kriechbaum Michael, Pech Michael, 2014. *CCCA Fact Sheet #11: Auswirkungen des Klimawandels auf die Holzproduktion in Österreich*. Climate Change Center Austria.
- Loik Markus Bernhard, 2015. *Formgepresste UHPP-Leichtbauprofile für die Herstellung von Holz-Holz-Verbundbauteilen*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Maskarade, 2017. *Innerarosa – infrastructure touristique avec parking*. Online verfügbar unter <http://maskarade.fr/projets/architecture/realisations/innerarosa/>, zuletzt geprüft am 15.12.2017.
- Niederländer Jörn, 2015a. *Die Verwendung von Kupfernieten im Bootsbau*. Bootswirtschaft Ausgabe 3/2015.
- Niederländer Jörn, 2015b. *Kupfernieten im Bootsbau (Teil 2)*. Bootswirtschaft Ausgabe 4/2015.
- Oberer Ferdinand, 2012. *Effizient bauen mit Laubholz*. Die neue Holzbau AG.
- OIB, 2015a. *ETA-12/0540: Uso Fiume of chestnut*. Österreichisches Institut für Bautechnik.
- OIB, 2015b. *ETA-14/0354: FST*. Österreichisches Institut für Bautechnik.
- Pilgrim, 1940. *Bolzenverbindungen, Bolzen in Holz*. Ringbuch der Luftfahrttechnik, Reichsluftfahrtministerium.
- Pollmeier, 2016. *Baubuche: Produktvorstellung*. Pollmeier Massivholz GmbH & Co.KG
- Prodema, 2017. *ProdEX: Technical Catalogue, Exteriors*. 8. Edition, Prodema.
- proHolz Austria, 2013. *Zuschnitt Nr. 51*. Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz.
- Reca Norm, 2017: *Gesamtkatalog zu den Nieten*. Online verfügbar unter <https://shop.recanorm.de/Gesamtkatalog/Niete/>, zuletzt geprüft am 29.10.2017.
- Rossmann Axel, 2017. *Probleme der Maschinenelemente erkennen, verhüten und lösen*. Band 2A, turbo consult.
- Schickhofer Gerhard, 2006. *Holzbau, Der Roh- und Werkstoff Holz*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Schickhofer Gerhard, 2009. *Holzbau, Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Schickhofer Gerhard, 2016. *Formelsammlung Holzbau*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Schlecht Berthold, 2015. *Maschinenelemente 1 – Festigkeit, Wellen, Verbindungen, Federn, Kupplungen*. 2. Aktualisierte Auflage, Pearson.
- Schmidt Michael, Knorz Markus, Torno Stefan, 2014. *Bauen mit Laubholz*. LWF aktuell 98/2014.
- Schneider, et al., 2016. *Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. 22. Auflage, Bundesanzeiger Verlag.
- Staudacher Robert, 2016. *Ausgewählte mechanische Kennwerte von Fichten-, Buchen- und Birkenfurnier*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Titgemeyer, 2017. *Tifas LockBolt, Schließringbolzen-System Standard*. Prospekt, Tb1421, Titgemeyer.
- TOX Pressotechnik, 2009. *Typenblatt 80.04: TOX-Clinchniet*.
- TOX Pressotechnik, 2014. *TOX-Verbindungssysteme*.
- Trayer, G.W., 1928. *Bearing Strength of wood under steel aircraft bolts and washers and other factors influencing fitting design*. Technical Notes, National Advisory Committee for Aeronautics, No. 296.

- Unterweger Harald, 2011. *Stahlbau GL*. Institut für Stahlbau, TU Graz.
- Ursinus Oskar, 1920. *Luftsport – Rohrniet Verbindungen*. Ausgabe 6,7, Jahr 1920
- Ursinus Oskar, 1921. *Luftsport – Herstellung einer Rohrniete*. Ausgabe 1, Jahr 1921
- Virgolini Eva, 2017. *Experimentelle und theoretische Untersuchungen an in Holz eingeklebten Blechen*. Institut für Holzbau & Holztechnologie, TU Graz.
- Volkersen Olaf, 1953. *Die Schubkraftverteilung in Leim-, Niet- und Bolzenverbindungen*. Energie und Technik, März-Juli 1953.
- Wikipedia, 2016: *Sprengniet*. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Sprengniet>, zuletzt geprüft am 29.10.2017.
- Winter Hermann, 1942. *Richtlinien für den Holzflugzeugbau*. Ringbuch im Auftrage des Umstellungsausschusses des Industrierates des Reichsmarschalls für die Fertigung von Luftwaffengerät und des Reichsluftfahrtministeriums, Braunschweig.
- Winter Hermann, 1944. *Richtlinien für den Holzflugzeugbau – Bolzen und Rohrniete in Holz*. Bericht Nr. 44-09, Institut für Maschinenkonstruktion und Leichtbau, TU Braunschweig.
- Wittel Herbert, Muhs Dieter, Jannasch Dieter, Voßiek Joachim, 2011. *Roloff / Matek Maschinenelemente: Normung Berechnung, Gestaltung*. 20. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag.
- Würth, 2016. *Niettechnik*. Würth.
- Zeppenfeld Günther, 1991. *Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie*. Fachbuchverlag Leipzig.

A-2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Veränderung der Waldflächen von Nadel- und Laubholz (BMLFUW, 2015).....	2
Abbildung 1.2: Veränderung der Waldflächen der einzelnen Baumarten (BMLFUW, 2015).....	2
Abbildung 1.3: Potenziell natürliche Waldgesellschaften im Ertragswald (BFW, Hauk, 2011)	3
Abbildung 2.1: BSH aus Fichte kombiniert mit Esche (Maskarade, 2017)	6
Abbildung 2.2: Produktionsweg der BauBuche (Pollmeier, 2016)	7
Abbildung 2.3: Träger aus BauBuche GL70 (Pollmeier, 2016).....	8
Abbildung 2.4: Platte aus BauBuche Q (Pollmeier, 2016).....	8
Abbildung 2.5: Formpressprofil mit Deckplatte aus Buchensperrholz (Loik, 2015)	9
Abbildung 3.1: Gliederung der ingenieurmäßigen Verbindungen im Holzbau (Schickhofer, 2009)....	10
Abbildung 3.2: Stabdübel (Schickhofer, 2009).....	12
Abbildung 3.3: Passbolzen mit Unterlegscheiben (Schickhofer, 2009).....	12
Abbildung 3.4: links: Holzschrauben, rechts: Gewindestangen (Schickhofer, 2009).....	13
Abbildung 3.5: Einlassdübel (Schickhofer, 2009)	14
Abbildung 3.6: Einpressdübel (Schickhofer, 2009)	14
Abbildung 3.7: Nagelplattensysteme (Schickhofer, 2009).....	15
Abbildung 4.1: Einordnung der Nietverfahren nach DIN 8580 (2003a).....	17
Abbildung 4.2: Tragverhalten von Schraubverbindungen (Unterweger, 2011).....	17
Abbildung 5.1: Gliederung Nietverbindungen	19
Abbildung 5.2: Herstellung einer Vollnietverbindung (Wittel, et al., 2011).....	20
Abbildung 5.3: Vollniet mit Halbrundkopf (Wittel, et al., 2011).....	21
Abbildung 5.4: Vollniet mit Senkkopf (Wittel, et al., 2011).....	22

Abbildung 5.5: Vollniet mit Linsenkopf (Wittel, et al., 2011).....	22
Abbildung 5.6: Vollniet mit Flachrundkopf (Wittel, et al., 2011).....	22
Abbildung 5.7: Vollniet mit Flachsenkkopf (Wittel, et al., 2011).....	23
Abbildung 5.8: Halbhohlriet: mit Flachrundkopf (links) bzw. mit Senkkopf (rechts) (Wittel, et al., 2011).....	23
Abbildung 5.9: Halbhohlriet mit angebohrtem Nietstift vor (links) und nach dem Fügen (rechts) (Wittel, et al. 2011).....	23
Abbildung 5.10: Rohrniet vor (links) und nach der Applikation (rechts) (Wittel, et al., 2011).....	24
Abbildung 5.11: Zweiteiliger offener Hohlriet vor (links) und nach der Applikation (rechts) (Wittel, et al., 2011).....	24
Abbildung 5.12: Zweiteiliger geschlossener Hohlriet (Würth, 2016)	25
Abbildung 5.13: Niet mit Schließring: 1: glatter Schaftteil, 2: Schließringen, 3: Sollbruchstelle, 4: Zugteil, 5: Schließring (Wittel, et al., 2011)	25
Abbildung 5.14: Schließringniet während (links) und nach dem Setzvorgang (rechts) (Wittel, et al., 2011).....	26
Abbildung 5.15: Stanznieten mit Vollniet: 2: Vollniet mit Ringnut, 3: Fügeiteile, 4: Matrize, 5: Nietstempel, 6: Niederhalter (Wittel, et al., 2011)	27
Abbildung 5.16: Stanznieten mit Halbhohlriet: 1: Halbhohlriet, 3: Fügeiteile, 4: Matrize, 5: Nietstempel, 6: Niederhalter (Wittel, et al., 2011)	28
Abbildung 5.17: Prozessablauf beim Setzen eines Clinchnietes (TOX Pressotechnik, 2014).....	30
Abbildung 5.18: Einstufiges Durchsetzfügen ohne Schneidanteil mit starrer Matrize: 1: Fügeiteile, 2: starre Matrize, 4: Stempel (Wittel, et al., 2011).....	30
Abbildung 5.19: Einstufiges Durchsetzfügen mit Schneidanteil und beweglicher Matrize: 1: Fügeiteile, 2 bewegliche Matrize, 4: Stempel (Wittel, et al., 2011).....	31
Abbildung 5.20: Elemente des Zugdornnietes: 1: Blindniethülse, 2: Schaftende, 3: Blindnietsetzkopf, 4: Blindnietenschaft, 5: Blindniethülßenbohrung, 6: Nietdorn, 7: Nietdornkopf, 8: Sollbruchstelle, 9: Nietdornenschaft, 10: Nietdornende (Wittel, et al., 2011).....	32
Abbildung 5.21: Zugdornniet nach der Applikation: 1: Blindnietsetzkopf, 2: Schließkopf (Wittel, et al., 2011).....	32
Abbildung 5.22: Setzvorgang bei einem Hammerschlag- Blindniet (Reca Norm, 2017).....	34
Abbildung 5.23: Setzvorgang bei einem Spreiz-Blindniet (BVM-Technik, 2017).....	34
Abbildung 5.24: Setzvorgang bei einem Presslaschenniet (Bralo, 2017)	35
Abbildung 5.25: Becherniet (Würth, 2016).....	36
Abbildung 5.26: Setzvorgang bei einem rillierten Blindniet (Bralo, 2017)	36
Abbildung 5.27: Durchziehniet (Wittel, et al., 2011).....	37
Abbildung 5.28: Durchziehniet demontierbar (Koerbitz, 2017)	38
Abbildung 5.29: Sprengniet (Koerbitz, 2017).....	38
Abbildung 6.1: Sperrholzverbindungen mit Hohlrietten im Holzflugzeugbau (Gentzcke, 1924).....	40
Abbildung 6.2: Furnierdicke von Sperrholz und Vielschichtsperrholz in Abhängigkeit der Plattendicke: a: Normalsperrholz aus Buche oder Birke; b: Vielschichtsperrholz mit einer Furnierstärke von 0,3 mm; c: Vielschichtsperrholz mit einer Furnierstärke von 0,5 mm (Winter, 1942)	41
Abbildung 6.3: Lochleibungs-Formänderungsverlauf von Vielschichtsperrholz aus Buche mit 0,5 mm	

starken Furnieren (Winter, 1942)	42
Abbildung 6.4: Abstandsbezeichnungen für Zuglochleibung (Winter, 1944)	43
Abbildung 6.5: Spaltversuch (Elmendorf, 1920)	44
Abbildung 6.6: Dimension der Hohlschrauben in Zoll (Trayer, 1928)	46
Abbildung 6.7: Belastungs- und Wirkungsgradkurven für hohle Flugzeugbolzen; es gilt: A: Elastische Grenzspannung in Pfund / Zoll ² und Ordinaten für relative Effizienzkurven; 800 Pfund / Zoll ² = 5,516 N/mm ² (Trayer, 1928).....	47
Abbildung 6.8: Scherfestigkeit von Hohlbolzen verschiedener Werkstoffe im Flugzeugbau in Abhängigkeit vom Verhältnis der Durchmesser d_a/d_i in N/mm ² (Winter, 1944).....	49
Abbildung 6.9: Befestigung der Außenhaut eines Bootes mit Kupfernieten (Becker, 2017)	50
Abbildung 6.10: Befestigung von Fassadenplatten mittels Blindnieten (Fundermax, 2015).....	51
Abbildung 6.11: Fassadenblindniet mit Aluhülse und Nirodorn (Fundermax, 2015).....	51
Abbildung 6.12: Hinterschnitt-Plattenanker (Fundermax, 2015).....	51
Abbildung 6.13: Befestigung von Fassadenplatten mittels Hinterschnitt-Plattenankern (Fundermax, 2015).....	52
Abbildung 6.14: Schnitt durch die Verbindung (Leijten, 1998).....	53
Abbildung 6.15: Prinzip der Rohrnetapplikation (Leijten, 1998)	54
Abbildung 6.16: Versagensmechanismus des Rohrprofils (Leijten, 1998).....	55
Abbildung 6.17: Einschnittige Rohrprofil-Verbindung.....	56
Abbildung 7.1: Zuglaschenstoß als zweischnittige Holz-Holz Verbindung	59
Abbildung 7.2: Zuglaschenstoß als zweischnittige Holz-Stahlblech Verbindung (innenliegendes Stahlblech).....	60
Abbildung 7.3: Zuglaschenstoß als zweischnittige Holz-Stahlblech Verbindung (außenliegende Stahlbleche).....	60
Abbildung 7.4: Momentenstoß als zweischnittige Holz-Holz Verbindung mit hohlen Nieten.....	61
Abbildung 7.5: Momentenstoß als zweischnittige Holz-Holz Verbindung mit massiven Nieten.....	62
Abbildung 7.6: Schadensbilder von zweischnittigen Nietverbindungen mit faserverstärkten Kunststoffen (Rossmann, 2017).....	63
Abbildung 7.7: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. charakteristische Rohdichte; Beanspruchung in Faserrichtung der Decklagen; Verbindungsmitteldurchmesser 10 mm.....	66
Abbildung 7.8: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. Verbindungsmitteldurchmesser; Beanspruchung in Faserrichtung der Decklagen	67
Abbildung 7.9: Lochleibungsfestigkeiten für Beanspruchung quer zur Faserrichtung der Decklagen. 68	
Abbildung 7.10: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. Last-Faserwinkel bezogen auf die Decklagen; Verbindungsmitteldurchmesser 10 mm	69
Abbildung 7.11: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit vs. Last-Faserwinkel bezogen auf die Decklagen; Verbindungsmitteldurchmesser 20 mm	69
Abbildung 7.12: Tragfähigkeitsvorhersage der Verbindung pro Verbindungsmittel und Scherebene im Vergleich zu den Testergebnissen (Leijten, 1998).....	70
Abbildung 7.13: Bezeichnung der Verbindungsmittelabstände (Blaß und Sandhaas, 2016).....	71
Abbildung 7.14: Abmessungen des elliptischen Hohlquerschnittes	75
Abbildung 7.15: Reduktion des Fließmomentes in Abhängigkeit vom Durchmesser Verhältnis $d_{z,a} / d_{y,a}$	

..... 76
Abbildung 8.1: Einsatz von Formpressprofilen als Deckenelemente im Verbund (Loik, 2015) 108

A-3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Klebbarkeit verschiedener Holzarten (Zeppenfeld, 1991) 15
 Tabelle 5.1: Kenngrößen von Titgemeyer Schließringnieten (Titgemeyer, 2017)..... 26
 Tabelle 5.2: charakteristische Tragfähigkeiten für Stanzniete (Kerb Konus, 2017) 27
 Tabelle 5.3: charakteristische Scherzugtragfähigkeit der Rivset Stanzniete (Böllhoff, 2017)..... 29
 Tabelle 5.4: charakteristische Tragfähigkeiten genormter Blindniete in [N] (Wittel, et al., 2011)..... 33
 Tabelle 5.5: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Hammerschlagnieten (Bralo, 2015) 34
 Tabelle 5.6: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Spreiz-Blindnieten (Bralo, 2015) 35
 Tabelle 5.7: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Presslaschennieten (Bralo, 2015) 35
 Tabelle 5.8: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Bechernieten (Bralo, 2015) 36
 Tabelle 5.9: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Blindnieten rilliert (Bralo, 2015)..... 36
 Tabelle 5.10: charakteristische Tragfähigkeiten von Bralo Durchziehnieten (Bralo, 2015)..... 37
 Tabelle 6.1: Kritische Randabstände bei Zuglochleibungsbeanspruchung von Normalsperrholz aus Buche (Winter, 1944)..... 43
 Tabelle 6.2: Spaltwiderstand von dreischichtigen Sperrholzplatten verschiedener Holzarten bezogen auf Birkenperrholz (Elmendorf 1920) 45
 Tabelle 6.3: Mindestabstände (Leijten, 1998)..... 55
 Tabelle 7.1: Mindestabstände 71
 Tabelle 7.2: Mindestabstände für Beanspruchungen parallel zur Faserrichtung für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 10 mm..... 72
 Tabelle 7.3: Mindestabstände für Beanspruchungen quer zur Faserrichtung für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 10 mm..... 72
 Tabelle 7.4: Mindestabstände der Niete 79
 Tabelle 7.5: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für den Holz-Holz Zuglaschenstoß 84
 Tabelle 7.6: Mindestabstände der Niete mit $d = 6$ mm 84
 Tabelle 7.7: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes aus Aluminium mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für den Holz-Holz Zuglaschenstoß..... 86
 Tabelle 7.8: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für den Holz-Holz Zuglaschenstoß 86
 Tabelle 7.9: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 8$ mm 87
 Tabelle 7.10: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 20$ mm 88
 Tabelle 7.11: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit innenliegendem Stahlblech..... 90
 Tabelle 7.12: Mindestabstände der Niete mit $d = 2,5$ mm 90
 Tabelle 7.13: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit innenliegendem Stahlblech..... 92
 Tabelle 7.14: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 14$ mm 93

Tabelle 7.15: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 15$ mm	95
Tabelle 7.16: Mindestabstände der Niete mit $d = 4$ mm	95
Tabelle 7.17: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreisvollquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 30$ mm	97
Tabelle 7.18: Mindestabstände der Niete mit $d = 8$ mm	97
Tabelle 7.19: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 15$ mm	99
Tabelle 7.20: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 6$ mm	100
Tabelle 7.21: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes mit einem Kreishohlquerschnitt pro Scherfuge für einen Zuglaschenstoß mit außenliegenden Stahlblechen; $t_2 = 30$ mm	101
Tabelle 7.22: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 12$ mm	102
Tabelle 7.23: Mindestabstände der Niete mit $d_a = 20$ mm	104
Tabelle 7.24: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes pro Scherfuge	104
Tabelle 7.25: Mindestabstände der Niete mit $d = 6$ mm	105
Tabelle 7.26: Tragfähigkeitspotenzial eines Nietes pro Scherfuge	105

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl