

# Ausziehverhalten axial beanspruchter Schraubengruppen

M-4-11/2010



**Stefan Plieschounig**  
Institut für Holzbau und Holztechnologie  
Technische Universität Graz



# Ausziehverhalten axial beanspruchter Schraubengruppen

Masterarbeit von

Stefan Plieschounig, BSc

Eingereicht am

Institut für Holzbau und Holztechnologie  
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften  
Technische Universität Graz

Begutachter

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer

Betreuer

Dipl.-Ing. Gernot Pirnbacher

Graz, November 2010



„Das Leben ist wie ein Fahrrad.  
Man muss sich vorwärts bewegen,  
um das Gleichgewicht nicht zu verlieren.“

ALBERT EINSTEIN



# Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Stefan Plieschounig

Graz, November 2010

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen Personen danken, die mich beim Entstehen dieser Arbeit unterstützt haben.

Dem Leiter des Instituts für Holzbau und Holztechnologie Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer danke ich für die Möglichkeit meine Masterarbeit am genannten Institut zu verfassen, für die mir bereitgestellte Infrastruktur und die abschließende Begutachtung der Arbeit.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Gernot Pirnbacher für die fachkundigen Ratschläge und den engagierter Einsatz. Seine vorbildliche Unterstützung war mir eine große Hilfe und trug wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Für die tatkräftige Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Versuche bedanke ich mich bei Herrn Ing. Bernd Heissenberger und Herrn Thomas Kröpfl. Mein Dank gilt auch allen anderen am Institut für Holzbau und Holztechnologie und bei der holzbau.forschungs.gmbh tätigen Personen, die mich mit Ratschlägen und Hilfestellungen unterstützten.

Weiters danke ich Herrn Dipl.-Ing. Josef Linder, Herrn Ing. Uwe Fülöp und Herrn Reinhard Holzschuster des Labors für Konstruktiven Ingenieurbau für die fachkundige Unterstützung bei der Versuchsplanung, sowie für die unkomplizierte und rasche Anfertigung diverser Einbauteile.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich während meiner gesamten Studienzzeit in vielfältiger Weise unterstützt hat und mir so ein geregelteres Studium ermöglichte.

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	XI
Abstract	XII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Ziel der Arbeit .....	1
1.3 Gliederung der Arbeit .....	2
<b>2 Stand des Wissens</b>	<b>3</b>
2.1 Allgemeines .....	3
2.1.1 Versagensmechanismen .....	3
2.1.2 Einflussparameter .....	4
2.2 Normative Festlegungen .....	6
2.2.1 Eurocode 5 .....	6
2.2.1.1 ÖNORM EN 1995-1-1: 2009-07-01 .....	6
2.2.1.2 ÖNORM B 1995-1-1: 2009-07-01 .....	9
2.2.2 DIN 1052: 2008-12 .....	9
2.2.3 SIA 265: 2003 .....	12
2.2.4 Gegenüberstellung der normativen Bestimmungen .....	14
2.3 Grundlagen der Statistik .....	15
2.3.1 Statistische Kennwerte .....	15
2.3.1.1 Lageparameter .....	15
2.3.1.2 Streuungsparameter .....	16
2.3.2 Diagrammtypen .....	17
<b>3 Vorversuche</b>	<b>19</b>
3.1 Versuchsplanung .....	19
3.1.1 Prüfmaschine .....	19
3.1.2 Auswahl der Versuchsmaterialien .....	20
3.1.2.1 Verwendete Schrauben .....	20

3.1.2.2	Verwendetes Holz .....	20
3.1.3	Entwicklung der Versuchskonfigurationen .....	21
3.1.3.1	Ausziehfestigkeit .....	21
3.1.3.2	Erforderliche Mindestabstände .....	23
3.1.3.3	Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment .....	24
3.1.4	Versuchsbezeichnung .....	26
3.2	Versuchsdurchführung .....	27
3.2.1	Herstellung der Prüfkörper .....	27
3.2.1.1	Abmessungen .....	27
3.2.1.2	Nummerierung .....	28
3.2.1.3	Lagerung .....	28
3.2.2	Ablauf der Ausziehversuche .....	28
3.2.3	Ablauf der Eindrehversuche .....	29
3.2.4	Durchgeführte Messungen .....	30
3.2.5	Nachbearbeitung .....	31
3.2.6	Erweiterung des Prüfumfanges .....	32
3.3	Versuchsdaten .....	34
3.3.1	Datenerfassung .....	34
3.3.2	Feuchtegehalt .....	35
3.3.3	Rohdichten .....	35
3.3.4	Ausziehfestigkeit .....	36
3.3.5	Bereinigung des Datensatzes .....	37
3.3.5.1	Merkmal „Ast“ .....	37
3.3.5.2	Merkmal „Mark“ .....	38
3.3.5.3	Merkmal „Reaktionsholz“ .....	39
3.3.5.4	Merkmal „Ansammlung von Harz“ .....	40
3.3.5.5	Merkmal „Aufspalten des Prüfkörpers“ .....	41
3.4	Auswertung .....	42
3.4.1	Rohdichte .....	42
3.4.2	Feuchtegehalt .....	44
3.4.3	Jahringbreite .....	45
3.4.4	Ausziehfestigkeit einer Schraube .....	46
3.4.5	Erforderliche Mindestabstände .....	47
3.4.6	Vergleich der Ausziehfestigkeiten aller Vorversuche .....	50
3.4.7	Anpresskraft einer Schraube in Abhängigkeit vom Drehmoment ...	50

<b>4</b>	<b>Hauptversuche</b>	<b>55</b>
4.1	Versuchsplanung	55
4.1.1	Prüfmaschine, Versuchsmaterial, Versuchsbezeichnung	55
4.1.2	Entwicklung der Versuchskonfiguration	56
4.2	Versuchsdurchführung	57
4.2.1	Herstellung der Prüfkörper	57
4.2.1.1	Abmessungen	57
4.2.1.2	Nummerierung, Lagerung	58
4.2.2	Aufbau der Prüfvorrichtung	58
4.2.3	Ablauf der Gruppenausziehversuche	59
4.2.4	Durchgeführte Messungen	60
4.2.5	Nachbearbeitung	61
4.2.6	Erweiterung des Prüfumfangs	61
4.2.6.1	Gruppenausziehversuche	61
4.2.6.2	Blockscherversuche	62
4.3	Versuchsdaten	63
4.3.1	Datenerfassung	63
4.3.2	Bereinigung des Datensatzes	63
4.3.2.1	Merkmal „Ast“	64
4.3.2.2	Merkmal „Reaktionsholz“	64
4.3.2.3	Merkmal „Ansammlung von Harz“	65
4.4	Auswertung	66
4.4.1	Datenumfang	66
4.4.2	Rohdichte	67
4.4.3	Feuchtegehalt	68
4.4.4	Jahringbreite	68
4.4.5	Untersuchung verschiedener Einflüsse	69
4.4.6	Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe	70
4.4.7	Blockscherversagen des Holzes	71
4.4.8	Faserparalleler Mindestabstand	74
4.4.9	Anpresskraft nach dem Eindrehen	76
4.4.10	Exzentrizität der resultierenden Gesamtkraft	76

---

<b>5</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>81</b>
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	81
5.2	Resümee .....	82
5.3	Ausblick und zukünftige Forschungsaufgaben .....	83
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>85</b>
	Veröffentlichungen .....	85
	Normen .....	86
	Internetquellen .....	87
	Datenblätter und Zulassungen .....	87
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>89</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>93</b>
<b>A</b>	<b>Anordnung der Versuchsserien je Prüfkörper</b>	<b>95</b>
A.1	Vorversuche .....	95
A.1.1	Erforderliche Mindestabstände .....	95
A.1.2	Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment .....	98
A.1.3	Erweiterter Prüfumfang .....	98
A.2	Hauptversuche .....	100

# Kurzfassung

## Ausziehverhalten axial beanspruchter Schraubengruppen

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Untersuchung des Tragverhaltens von Schraubengruppen, die durch eine axiale Zugkraft beansprucht werden. In Verbindungen werden selbstbohrende Holzschrauben in Großgruppen mit bis zu 180 Stück eingesetzt, wodurch die Kenntnis der effektiv wirksamen Verbindungsmittelanzahl in einer Verbindung von großer Bedeutung ist.

In dieser Arbeit wird die Gruppenwirkung anhand von über 1000 Schraubenprüfungen, die in Vollholzquerschnitten der Holzart Fichte mit selbstbohrenden Schrauben mit einem Durchmesser  $d$  von 6 mm durchgeführt wurden, untersucht. Ausgehend von Einzelschrauben, sowie Schraubenpaaren mit unterschiedlichen Abständen parallel und normal zur Faserrichtung wurden Referenzwerte erarbeitet. Basierend auf den gewonnenen Daten konnten in weiterer Folge Prüfungen mit mehreren Schrauben geplant und durchgeführt werden. Dabei wurden quadratische Schraubengruppen mit 4, 9, 16 und 25 Schrauben untersucht. Die Ergebnisse bestätigen die geltenden Regeln betreffend die effektiv wirksame Verbindungsmittelanzahl  $n_{ef} = n^{0,9}$  für bestimmte Konfigurationen. Bei günstiger Konstruktionsform (gesperrte Holzoberfläche) ist eine wesentliche Verbesserung bis hin zu  $n_{ef} \approx n$  erkennbar und wird in fortführenden Arbeiten im Detail untersucht.

# Abstract

## Withdrawal behaviour of screw groups under axial load

This master thesis deals with the analysis of the load bearing characteristics of screw groups loaded with an axial tensile force. In connections self-tapping screws are used in groups of up to 180 fasteners. Hence, the knowledge of the effective number of screws in a connection is of great importance.

The presented work looks into the group effect using more than 1000 withdrawal tests. For this purpose specimens made of Norway spruce and self-tapping screws with a diameter  $d$  of 6 mm were used. Single screws and pairs of screws with different spacings parallel and perpendicular to the grain were tested to determine reference values. Based on the discovered data tests with more screws were planned and carried out. In doing so, square screw groups with 4, 9, 16 and 25 screws were examined. The results confirm the current design rules for specific configurations, which regulate the effective number of fasteners  $n_{ef} = n^{0.9}$ . Under favourable conditions (confined surface of the wood specimen) a significant enhancement up to  $n_{ef} \approx n$  can be observed. This issue will be examined in detail by further research projects.

# 1 Einleitung

In diesem Kapitel werden zunächst die Motivation und das Ziel der vorliegenden Masterarbeit beschrieben und abschließend ein Überblick über den Aufbau und die Gliederung der Arbeit gegeben.

## 1.1 Motivation

Selbstbohrende Holzschrauben gewannen in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung im Ingenieurholzbau und sind heute kaum wegzudenken. Ihr Vorteil gegenüber anderen stiftförmigen mechanisch wirksamen Verbindungsmitteln liegt darin, dass sie Kräfte nicht nur auf Abscheren, sondern durch ihr Gewinde vor allem auch in Richtung der Schraubenachse übertragen können. Selbstbohrende Holzschrauben werden nicht nur in Verbindungen, sondern gerne auch als Verstärkungselemente eingesetzt, wobei sie gegenüber eingeklebten Gewindestangen oder aufgeklebten Holzwerkstoffplatten unter anderem durch ihre einfache Montage überzeugen.

Während in der Vergangenheit das Tragverhalten von auf Herausziehen beanspruchten Einzelschrauben bereits vielfach untersucht und die verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt wurden, ist über das Zusammenwirken von mehreren Schrauben innerhalb einer Verbindung wenig bekannt. In der Praxis wird bei der Berechnung der Gesamttragfähigkeit einer Verbindung mit mehreren Verbindungsmitteln die Summe aller Einzeltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit je nach Norm abgemindert oder auch nicht. Im modernen Holzbau wird die Anzahl der Verbindungsmittel innerhalb einer Verbindung zunehmend größer und erreicht mitunter mehr als 100 Stück. Daher gewinnt die genaue Kenntnis der Gruppenwirkung, d.h. die effektiv wirksame Verbindungsmittelanzahl in einer Verbindung, zunehmend an Bedeutung.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Gruppenwirkung von auf Herausziehen beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben in Vollholzquerschnitten der Holzart Fichte.

Im Rahmen von Vorversuchen wurden verschiedenen Parameter variiert und deren Auswirkung auf die axiale Zugtragfähigkeit der Holzschrauben untersucht. Dazu wurden zunächst Einzelschrauben geprüft, um Referenzwerte für die Ausziehfestigkeit des verwendeten Schraubentyps zu erhalten. Weiters wurde das Tragverhalten von Schraubenpaaren erforscht, um deren Abstand optimieren zu können bzw. Kenntnis über die gegenseitige Beeinflussung von zwei benachbarten Schrauben zu erhalten. Bei beiden Konfigurationen wurde die Einschraubrichtung, d.h. der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Tangente an die Jahrringe im Querschnitt, variiert. Bei den Prüfungen mit Schraubenpaaren wurde zwischen dem Abstand  $a_1$  in faserparalleler Richtung und dem Abstand  $a_2$  normal zur Faser unterschieden, wobei die Abstände beginnend bei  $2 \cdot d$

bis zu den im Eurocode 5 angegebenen Mindestabständen von 7·d bzw. 5·d in Schritten von jeweils 1·d geprüft wurden.

In weiterer Folge konnten mit den aus den Vorversuchen gewonnenen Daten die Hauptversuche geplant werden. Die Abstände zwischen den einzelnen Schrauben innerhalb einer Großgruppe wurden in beide Richtungen mit 5·d festgelegt und die angestrebte Einschraubrichtung als radial gewählt. Es wurden Prüfserien mit einem quadratischen Schraubenbild mit 4, 9, 16 und 25 Schrauben durchgeführt, wobei sich die größte Schraubengruppe aus der Maximalkraft der Prüfmaschine ergab.

## 1.3 Gliederung der Arbeit

Das Kapitel 2 beschäftigt sich mit dem aktuellen Stand des Wissens der für die vorliegende Arbeit relevanten Themenbereiche. Es werden der aktuelle Forschungsstand, bereits bekannte Erkenntnisse zur axialen Tragfähigkeit von selbstbohrenden Holzschrauben, die entsprechenden deutschsprachigen Normen, sowie die für die Auswertung relevanten statistischen Grundlagen erläutert.

Die im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit durchgeführten Schraubenausziehprüfungen stellen den Hauptteil dieser Arbeit dar und gliedern sich in zwei Teile, wobei in Kapitel 3 die Vorversuche und in Kapitel 4 die Hauptversuche beschrieben werden. Jedes dieser Kapitel beschreibt in ähnlicher Weise den gesamten Ablauf der jeweiligen Versuche beginnend bei der Planung und der Entwicklung der entsprechenden Versuchskonfigurationen über die Vorbereitung, die Durchführung und die Nachbearbeitung der Prüfungen bis hin zur Auswertung der gewonnenen Daten.

In Kapitel 5 kommt es zu einer abschließenden Betrachtung der erzielten Ergebnisse, wobei neben einer Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse, ein Ausblick auf zukünftige Forschungsaufgaben im Bereich der Gruppenwirkung von selbstbohrenden Holzschrauben gegeben wird.

## 2 Stand des Wissens

In diesem Kapitel wird bereits bekanntes Wissen bezüglich der Ausziehfestigkeit von Holzschrauben zusammengefasst und unter anderem auf jene Parameter, die die Ausziehfestigkeit beeinflussen, näher eingegangen. Weiters wird ein Überblick über die deutschsprachigen Normen gegeben und deren Unterschiede erläutert. Abschließend werden die statistischen Kennwerte und Diagrammtypen, die für das Verständnis der im Rahmen der vorliegenden Arbeit gemachten statistischen Versuchsauswertung von Bedeutung sind, betrachtet.

### 2.1 Allgemeines

Blaß [1], Blaß und Bejtka [2], Krenn und Schickhofer [5], sowie Schickhofer et al. [11] geben einen guten Einblick in das Wirken von selbstbohrenden Holzschrauben als Verbindungsmittel und dienen als Grundlage für die folgende einleitende Beschreibung.

Bei den Holzschrauben wird zunächst zwischen den genormten und den bauaufsichtlich zugelassenen Holzschrauben unterschieden. Letztere können im Gegensatz zu genormten Schrauben ohne Vorbohren eingeschraubt werden. Außerdem erfolgt eine Unterscheidung zwischen Teil- und Vollgewindeholzschrauben. Die bauaufsichtlich zugelassenen selbstbohrenden Holzschrauben sind mit Längen bis zu 800 mm und Durchmesser bis zu 12 mm erhältlich. Diese Holzschrauben werden sowohl in Verbindungen, wie auch als Querszug- oder Quersdruckverstärkungen bei Quersanschlüssen, Durchbrüchen und Ausklinkungen im Bereich des Auflagers verwendet. Dazu sind sie unter anderem auch in etwas modifizierter Form und unter einem anderen Namen mit Längen bis zu 2400 mm erhältlich. Aufgrund der äußerst hohen Zugtragfähigkeit der selbstbohrenden Holzschrauben sollte stets eine Anordnung angestrebt werden, bei der die Schrauben vorwiegend in Richtung ihrer Achse beansprucht werden, da sie dabei das größte Leistungspotenzial zeigen.

In den folgenden beiden Abschnitten werden zunächst die möglichen Versagensmechanismen einer axial beanspruchten Schraubengruppe beschrieben. Weiters sind jene Parameter angeführt, die das Tragverhalten von auf Herausziehen beanspruchten Schrauben beeinflussen.

#### 2.1.1 Versagensmechanismen

Bei in Schraubenlängsrichtung beanspruchten Holzschrauben kann es zu verschiedenen Versagensmechanismen kommen, die in diesem Abschnitt beschrieben werden. Als Literatur wurden dazu Racher [9], Schickhofer [10] und Schickhofer et al. [11] verwendet, wobei nachfolgend nur die wörtlich entnommenen Stellen separat gekennzeichnet sind.

Ein Versagen auf Herausziehen bzw. Hineindrücken tritt dann auf, wenn „[...] es bei einer entsprechenden Belastung zum Überschreiten der Scher- bzw. Schubfestigkeit im, durch die Umrisslinie des Schraubengewindes gebildeten, Bereich des Holzes“ kommt, wie dies

Schickhofer [10] beschreibt. Zusätzlich kann es bei druckbeanspruchten Schrauben zu einem Knickversagen der Schraube selbst bzw. zu einem Versagen des Holzes auf Querdruk im an die Schraubenspitze anschließenden Bereich kommen.

Bei entsprechend geringen Dicken der anschließenden Holzteile, ist für Teilgewindeschrauben beginnend bei einem Eindringen des Schraubenkopfes in das Holz ein komplettes Durchziehen des Kopfes durch das Holz bzw. den Holzwerkstoff möglich, d.h. es kommt zu einem sogenannten Versagen auf Kopfdurchziehen.

Die Holzschraube selbst kann durch einen Stahlbruch versagen. Dieser kann sowohl im Gewindeteil als auch am Übergang vom Kopf zum Schaft auftreten und limitiert das Leistungspotenzial einer Schraube bzw. einer Schraubengruppe und betrifft vor allem Stahlblech-Holz-Verbindungen, wo bei ausreichend dicken Stahlblechen ein Versagen auf Kopfdurchziehen ausgeschlossen werden kann.

Bei Verbindungen mit mehreren Schrauben kann es darüber hinaus zu einem sogenannten Blockscherversagen kommen. Nach Racher [9] resultiert dieses Versagen „[...] aus Schubspannungen in einer Ebene und Zugspannungen in einer Ebene rechtwinklig dazu.“ Vergleichbar mit dem Versagen auf Herausziehen kommt es dabei zu einem Versagen auf Abscheren bzw. Rollschub in jenem Bereich, der durch die Umrisslinie der Schraubengewinde am Rand der Verbindungsmittelgruppe definiert ist. Zusätzlich versagt das Holz in der projizierten Fläche der Schraubengruppe auf Querdruk.

## 2.1.2 Einflussparameter

Die axiale Ausziehfestigkeit von selbstbohrenden Holzschrauben wird von vielen Parametern unterschiedlich stark beeinflusst. In den verschiedenen Normen des deutschsprachigen Raumes, siehe Abschnitt „2.2 Normative Festlegungen“, werden für die Bemessung von Holzschrauben die Eindringtiefe des Gewindes, der Gewindeaußendurchmesser und der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes, sowie die Rohdichte berücksichtigt. Andere Faktoren, wie der Feuchtegehalt, die Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt des Einbaus bzw. während der Nutzung oder auch ein eventuelles Vorbohren, werden von den angesprochenen Normen zur Berechnung der Ausziehfestigkeit nicht näher betrachtet. Der Einfluss der Abstände zwischen den Schrauben und zu den Rändern des Holzes wird in den Normen durch die Angabe von Mindestabständen berücksichtigt.

Im Rahmen einer Studie von Pirnbacher [8] wurden mehr als 5500 Schraubenausziehprüfungen durchgeführt und dabei die verschiedenen Einflussgrößen variiert. Einige der untersuchten Parameter zeigten eine signifikante Auswirkung auf die Ausziehfestigkeit der Schrauben. In Glg. 2.1 bis Glg. 2.5 sind die in [8] vorgeschlagenen Faktoren zur Erhöhung bzw. zur Abminderung der Ausziehfestigkeit aufgrund der festgestellten Einflüsse angeführt.

Ausgehend von einer Einbindetiefe von 0 mm steigt die Ausziehfestigkeit bis zu einer Einbindetiefe von  $2 \cdot d$  stark an und nimmt anschließend nur noch gering zu, sodass eine Berücksichtigung dieses Effektes gemäß Glg. 2.1 auf der konservativen Seite nahegelegt wird, wobei die Ausziehfestigkeit ab einer Einbindetiefe von mehr als  $2 \cdot d$  um den Faktor

$k_{emb}$  erhöht wird.

$$k_{emb} = 1,15 \quad \text{für } l_{emb} \geq 2 \cdot d \quad \text{Glg. 2.1}$$

Wobei  $k_{emb}$  ...der Faktor zur Berücksichtigung der Einbindetiefe [-],

$l_{emb}$  ....die Einbindetiefe des Schraubengewindes unter der Holzoberfläche [mm] und

$d$  .....der Außendurchmesser des Schraubengewindes [mm] ist.

Sinkt der Feuchtegehalt unter 10%, verhält sich das Material zunehmend spröde, sodass es vermehrt zu einem Aufspalten des Prüfkörpers kommt. Demgegenüber steht eine Abnahme der Ausziehfestigkeit um 0,65% je Prozent des Feuchtegehalts bei einer Holzfeuchte größer 12%, sodass der Einfluss des Feuchtegehalts mit dem in Glg. 2.2 angegebenen Faktor  $k_{mc}$  für einen Feuchtegehalt im Bereich von 8 bis 20% berücksichtigt werden kann.

$$k_{mc} = \begin{cases} 1,00 \\ 1,00 - 0,0065 \cdot (u - 12) \end{cases} \quad \text{für } \begin{cases} 8 \leq u \leq 12 \\ 12 < u \leq 20 \end{cases} \quad \text{Glg. 2.2}$$

Wobei  $k_{mc}$  .....der Faktor zur Berücksichtigung des Feuchtegehalts [-] und

$u$  .....der Feuchtegehalt des Holzes [%] ist.

Der Einfluss des Schraubendurchmessers wird mit dem in Glg. 2.3 angegebenen Kennwert  $k_{diam}$  berücksichtigt, wobei angemerkt sei, dass der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung und das verwendete Material, d.h. Vollholz oder Brett-schichtholz, keinen großen Unterschied im Trend bewirkten.

$$k_{diam} = 2,44 \cdot d^{-0,428} \quad \text{Glg. 2.3}$$

Wobei  $k_{diam}$  ..der Faktor zur Berücksichtigung des Schraubendurchmessers [-] und

$d$  .....der Außendurchmesser des Schraubengewindes [mm] ist.

Auch die Schraubenspitze beeinflusst die Ausziehfestigkeit einer Schraube. Durch die Verjüngung im Bereich der Spitze ist ebendort die Größe der übertragbaren Kraft im Vergleich zum restlichen Schraubengewinde geringer. Dieser Effekt kann über die korrigierte Gewindelänge  $l_{korr}$  gemäß Glg. 2.4 erfasst werden, wobei sich diese Korrektur als Mittelwert der verschiedenen Prüfserien ergab.

$$l_{korr} = l_{thread} - k_{length} \cdot d \quad \text{Glg. 2.4}$$

mit  $k_{length} = 1,17$

Wobei  $l_{korr}$  ....die korrigierte Gewindelänge der Schraube [mm],

$l_{\text{thread}}$  .die Länge des Gewindes der Schraube [mm],

$k_{\text{length}}$  .der Faktor zur Berücksichtigung der Schraubenspitze [-] und

$d$  .....der Außendurchmesser des Schraubengewindes [mm] ist.

Zur Berücksichtigung des Winkels  $\alpha$  zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes wurde die Hankinson-Formel adaptiert, siehe Glg. 2.5.

$$k_{\text{Hankinson, modified}} = \frac{1}{(\sin \alpha)^{2,2} + 1,30 \cdot (\cos \alpha)^{2,2}} \quad \text{Glg. 2.5}$$

Wobei  $k_{\text{Hankinson, modified}}$  ...der modifizierte Hankinson-Faktor [-] und

$\alpha$  .....der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes [°] ist.

Temperaturen im Bereich von  $-20\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$  zeigten keine Auswirkung auf die Ausziehfestigkeit für Schrauben, welche parallel zur Faser eingedreht wurden. Für normal zur Faserrichtung eingedrehte Schrauben zeigte sich ein gegenläufiger Effekt, welcher sich bei globaler Betrachtung aufhebt. Bei Temperaturen unter  $0\text{ °C}$  ist jedoch zunehmend mit Sprödbrüchen des Holzes bereits während des Eindrehens der Schrauben zu rechnen.

Weiters wurde festgestellt, dass keine Unterscheidung zwischen vorgebohrt und nicht vorgebohrt eingebrachten Schrauben erforderlich ist, da die 5%-Quantilwerte der Ausziehfestigkeit lediglich um 1,3% voneinander abweichen.

## 2.2 Normative Festlegungen

Nachstehend werden die verschiedenen Normen des deutschsprachigen Raumes erläutert und in weiterer Folge in Abschnitt „2.2.4 Gegenüberstellung der normativen Bestimmungen“ miteinander verglichen. Es sei angemerkt, dass nur jene Teilbereiche der Normen wiedergegeben werden, die sich mit dem Ausziehversagen des eingeschraubten Gewindeteils, dem Blockscherversagen und der Gruppenwirkung von mehreren Schrauben innerhalb einer Verbindung, sowie dem Vorbohren beschäftigen.

Die verschiedenen Normen benennen den für die Berechnung des Ausziehwiderstandes verwendeten Gewindeaußendurchmesser unterschiedlich. Die ÖNORM EN 1995-1-1 bezeichnet ihn als Außendurchmesser des Gewindes, die DIN 1052 als Nenndurchmesser bzw. auch nur als Durchmesser und in die SIA 265 als Schraubendurchmesser.

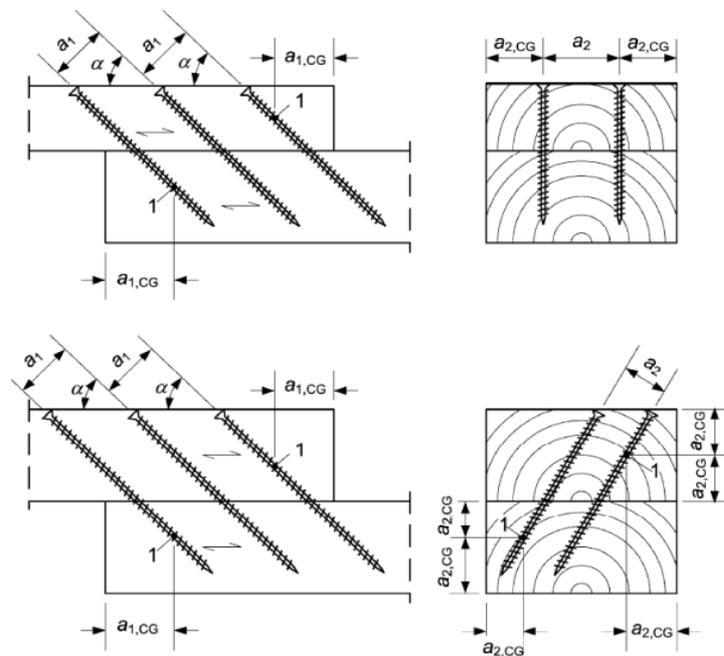
### 2.2.1 Eurocode 5

#### 2.2.1.1 ÖNORM EN 1995-1-1: 2009-07-01

In diesem Abschnitt sind die Bestimmungen der ÖNORM EN 1995-1-1 „Eurocode 5 -

Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1 Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“ [21] zu den oben angeführten relevanten Teilbereichen angeben.

Für eine Beanspruchung auf Herausziehen sind unter Punkt „8.7.2 Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse (Herausziehen)“ in Ziff. (2) „die Mindestabstände untereinander sowie von Hirnholzenden und Rändern bei in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben [...]“ angegeben. Diese Mindestabstände sind in Abb. 2.1 definiert. Die Werte können der Tab. 2.1 entnommen werden, wobei „[...]“ die Holzdicke  $t \geq 12 \cdot d$  vorausgesetzt wird. Mit diesen geometrischen Festlegungen wird das Blockscherversagen, d.h. „das Scherversagen entlang des Umfangs einer Gruppe von Schrauben [...]“, verhindert.



Legende: 1: Schwerpunkt des Schraubengewindes im Bauteil

Abb. 2.1 Abstände untereinander sowie von den Hirnholzenden und den Rändern [21]

Mindestschraubenabstand in einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene	Mindestschraubenabstand rechtwinklig zu einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene	Mindestabstand der Hirnholzenden zum Schwerpunkt des Schraubengewindes im Bauteil	Mindestrandabstand des Schwerpunkts des Schraubengewindes im Bauteil
$a_1$	$a_2$	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7 \cdot d$	$5 \cdot d$	$10 \cdot d$	$4 \cdot d$

Tab. 2.1 Mindestabstände untereinander sowie von den Hirnholzenden und den Rändern bei in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben [21]

Weiters wird in Ziff. (3) festgelegt, dass „die geringste Einbindetiefe des Gewindeteils auf

der Seite der Schraubenspitze [...]  $6 \cdot d$  betragen sollte.

Unter dem selben Punkt ist in Ziff. (4) bzw. Ziff. (5) die eigentliche Bemessung auf Herausziehen „für Verbindungen mit Schrauben nach EN 14592 [...]“ geregelt, wie nachfolgend beschrieben wird.

Sind die beiden Anforderungen  $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$  und  $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$  (mit dem Außendurchmesser des Gewindes  $d$  und dem Innendurchmesser des Gewindes  $d_1$ ) erfüllt, „sollte der charakteristische Ausziehewiderstand [...]“ nach Glg. 2.6 berechnet werden.

$$F_{\alpha, \alpha, Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{\alpha, k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1, 2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad \text{Glg. 2.6}$$

$$\text{mit } f_{\alpha, k} = 0, 52 \cdot d^{-0, 5} \cdot l_{ef}^{-0, 1} \cdot \rho_k^{0, 8} \quad \text{und } k_d = \min \begin{cases} d/8 \\ 1 \end{cases}$$

Wobei  $F_{\alpha, \alpha, Rk}$  ...der charakteristische Wert des Ausziehewiderstandes der Verbindung unter einem Winkel  $\alpha$  zur Faserrichtung [N],

$f_{\alpha, k}$  ....der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung [N/mm<sup>2</sup>],

$n_{ef}$  .....die wirksame Anzahl von Schrauben [-],

$d$  .....der Außendurchmesser des Gewindes [mm],

$l_{ef}$  .....die Eindringtiefe des Gewindeteils [mm],

$\rho_k$  .....der charakteristische Wert der Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] und

$\alpha$  .....der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung ( $\alpha \geq 30^\circ$ ) ist.

Werden die beiden weiter oben genannten Bedingungen betreffend den „Außen- und Innendurchmesser des Gewindes nicht erfüllt, sollte der charakteristische Ausziehewiderstand [...]“ gemäß Glg. 2.7 angenommen werden.

$$F_{\alpha, \alpha, Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{\alpha, k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1, 2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_\alpha} \right)^{0, 8} \quad \text{Glg. 2.7}$$

Wobei  $f_{\alpha, k}$  ....der nach EN 14592 [20] bestimmte charakteristische Ausziehparameter rechtwinklig zur Faserrichtung [N/mm<sup>2</sup>] für die zugehörige Rohdichte  $\rho_\alpha$  und

$\rho_\alpha$  .....die zugehörige Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] für  $f_{\alpha, k}$  ist.

Alle weiteren Symbole sind in den Erläuterungen zu Glg. 2.6 zu finden.

Weiters hält die ÖNORM EN 1995-1-1 [21] unter Punkt „8.1.2 Verbindungen mit mehreren Verbindungsmitteln“ in Ziff. (2) ganz allgemein fest, „[...] dass die Tragfähigkeit einer Verbindung mit mehreren Verbindungsmitteln gleichen Typs und gleicher Abmessung geringer sein kann als die Summe der Einzeltragfähigkeiten jedes einzelnen Verbindungsmittels.“

In Ziff. (8) unter Punkt „8.7.2 Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse (Herausziehen)“ wird beschrieben, dass „bei einer Verbindung mit einer Schraubengruppe, die durch eine Kraftkomponente in Schaftrichtung beansprucht wird, [...]“ die Gruppenwirkung durch die in Glg. 2.8 angegebene „[...] wirksame Anzahl der Schrauben“ zu berücksichtigen ist.

$$n_{ef} = n^{0,9} \qquad \text{Glg. 2.8}$$

Wobei  $n_{ef}$  .....die wirksame Anzahl der Schrauben [-] und

$n$  .....die Anzahl der Schrauben, die in einer Verbindung zusammenwirken [-], ist.

Unter Punkt „10.4.5 Schrauben“ regelt die ÖNORM EN 1995-1-1 [21] in Ziff. (1) bis Ziff. (3) das Vorbohren: „[...] Bei sämtlichen Schrauben in Laubholz und bei Schrauben in Nadelholz [...] mit einem Durchmesser von  $d > 6$  mm ist [...]“ vorzubohren. Im Bereich des Schaftes sollte der Durchmesser des Führungslochs jenem des Schraubenschaftes entsprechen. Hingegen sollte der Durchmesser des Führungslochs „[...] für den Gewindeteil [...] etwa 70% des Schaftdurchmessers“ betragen. „Bei Rohdichten des Holzes über  $500 \text{ kg/m}^3$  sollte der erforderliche Durchmesser für das Vorbohren durch Prüfungen ermittelt werden.“ Wird bei selbstbohrenden Holzschrauben vorgebohrt, „[...] darf der Durchmesser des Führungslochs nicht größer als der Innendurchmesser des Gewindes  $d_1$  sein.“

### 2.2.1.2 ÖNORM B 1995-1-1: 2009-07-01

Die ÖNORM B 1995-1-1 „Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1 Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“ [16] legt die nationalen Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-1 [21] fest.

Diese Norm besagt, dass Schrauben, „[...] deren Tragfähigkeiten in Übereinstimmung mit ÖNORM EN 14592 und mit ÖNORM EN 1995-1-1 festgelegt sind“ gemäß Eurocode 5 zu bemessen sind. Ansonsten ist „[...] auf Europäische Technische Zulassungen zurückzugreifen.“

### 2.2.2 DIN 1052: 2008-12

Die deutsche Norm DIN 1052 „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau“ [14] macht die nachfolgend beschriebenen Angaben.

Zunächst führt diese Norm unter Punkt „12.6 Verbindungen mit Holzschrauben“ in Ziff. (1) an, dass die angeführten Festlegungen nur „[...] für die Anwendung von Holzschrauben mit einem Gewinde nach DIN 7998 mit mindestens 4 mm Nenndurchmesser“ bzw. für Schrauben, deren „[...] Eignung durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist“, gelten.

Unter Punkt „12.8.2 Holzschrauben“ wird auf die Tragfähigkeit von Holzschrauben bei Beanspruchung in Richtung der Stiftachse eingegangen. In Ziff. (1) werden die Tragfähigkeitsklassen, die den „[...] Widerstand gegen Herausziehen aus Nadelholz bei Beanspruchung in Schaftrichtung [...]“ bzw. den „[...] Widerstand gegen Kopfdurchziehen [...]“ beschreiben, angeführt. Gemäß Ziff. (5) dürfen „Holzschrauben mit einem Gewinde nach DIN 7998 [...] in die Tragfähigkeitsklasse 2A eingestuft werden.“ Für alle anderen Schrauben hat ein Nachweis zu erfolgen bzw. ist die Klasse der jeweiligen bauaufsichtlichen Regelung zu entnehmen.

In Ziff. (8) verweist die Norm für „die Mindestabstände, Mindestholzdicken und Einschraubtiefen [...]“ auf die unter Punkt „12.6 Verbindungen mit Holzschrauben“ genannten Werte. Ebendort ist in Ziff. (9) die „Einschraubtiefe im Bauteil mit der Schraubenspitze [...]“ mit mindestens  $4 \cdot d$  angegeben.

Unter Punkt „12.6 Verbindungen mit Holzschrauben“ werden in Ziff. (10) die „[...] Mindestabstände der Holzschrauben im Holz untereinander und von den Rändern [...]“ geregelt, wobei die Definition in Abb. 2.2 zu finden ist. Tab. 2.2, welche sinngemäß für Schrauben gilt, gibt die zugehörigen Werte an, wobei keine Differenzierung zwischen auf Abscheren bzw. auf Herausziehen beanspruchten Schrauben gemacht wird.

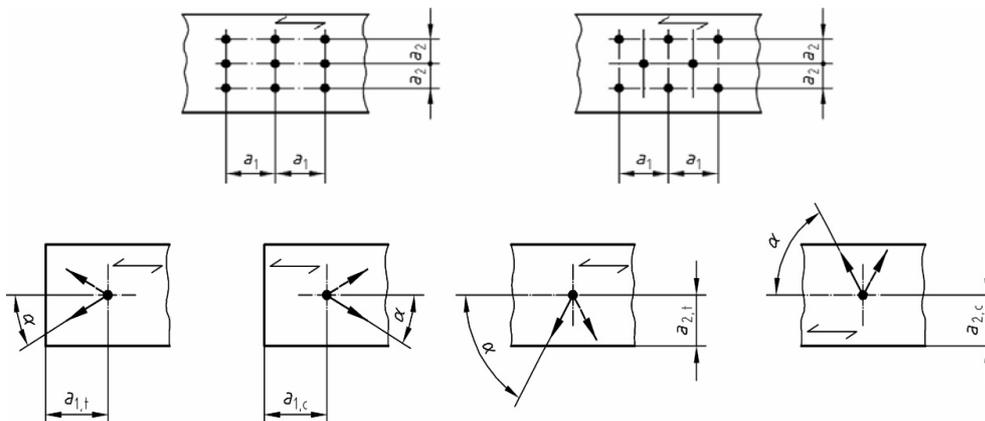


Abb. 2.2 Definitionen der Verbindungsmittelabstände [14]

		nicht vorgebohrt		vorgebohrt
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_1$	parallel zur Faserrichtung	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(7+8 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(3+2 \cdot \cos\alpha) \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5+7 \cdot \cos\alpha) \cdot d$		
$a_2$	rechtwinklig zur Faserrichtung	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$
$a_{1,t}$	beanspruchtes Hirnholzende	$d < 5 \text{ mm}$ : $(7+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(15+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$	$(7+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$ : $(10+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d$		
$a_{1,c}$	unbeanspruchtes Hirnholzende	$d < 5 \text{ mm}$ : $7 \cdot d$	$15 \cdot d$	$7 \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$ : $10 \cdot d$		
$a_{2,t}$	beanspruchter Rand	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5+2 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(7+2 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	$(3+4 \cdot \sin\alpha) \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5+5 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	$d \geq 5 \text{ mm}$ : $(7+5 \cdot \sin\alpha) \cdot d$	
$a_{2,c}$	unbeanspruchter Rand	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$

$\alpha$  ist der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Tab. 2.2 Mindestabstände von Nägeln [14]

Gemäß DIN 1052 [14] unter „12.8.2 Holzschrauben“ in Ziff. (3) darf „der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes von Holzschrauben [...]“ mit Glg. 2.9 ermittelt werden, wobei der Winkel  $\alpha$  zwischen der Achse der Schraube und der Faserrichtung zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$  liegen muss.

$$R_{\alpha, k} = \min \left\{ \frac{f_{1, k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha}; f_{2, k} \cdot d_k^2 \right\} \quad \text{Glg. 2.9}$$

Wobei  $R_{\alpha, k}$  ...der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes von Holzschrauben [N],

$f_{1, k}$  .....der charakteristische Wert des Ausziehparameters [N/mm<sup>2</sup>],

$f_{2, k}$  .....der charakteristische Wert des Kopfdurchziehparameters [N/mm<sup>2</sup>],

$l_{ef}$  .....die Gewindelänge im Holzteil mit der Schraubenspitze [mm],

$d$  .....der Nenndurchmesser der Holzschraube [mm],

$d_k$  .....der Außendurchmesser des Schraubenkopfes [mm] (gegebenenfalls einschließlich der Unterlegscheibe) und

$\alpha$  .....der Winkel zwischen der Achse der Schraube und der Faserrichtung [°] ist.

Die Werte für  $f_{1,k}$  und  $f_{2,k}$  sind in Abhängigkeit von den Tragfähigkeitsklassen in Tab. 2.3 angeführt.

Tragfähigkeitsklasse	$f_{1,k}$	Tragfähigkeitsklasse	$f_{2,k}$
1	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
2	$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
Charakteristische Rohdichte $\rho_k$ in $\text{kg/m}^3$ , jedoch höchstens $500 \text{ kg/m}^3$ .			

Tab. 2.3 charakteristische Werte für die Ausziehparameter und die Kopfdurchziehparameter in  $\text{N/mm}^2$  für Holzschrauben [14]

Sofern das Gewinde nach DIN 7998 ausgeführt und der Nenndurchmesser  $d > 8 \text{ mm}$  ist, legt die DIN 1052 unter Punkt „12.6 Verbindungen mit Holzschrauben“ in Ziff. (3) bzw. Ziff. (4) fest, dass „[...] die zu verbindenden Teile auf die Tiefe des glatten Schaftes mit dem Schaftdurchmesser und auf die Länge des Gewindeteiles mit  $0,7 \cdot d$  vorzubohren“ sind. Bei einem Nenndurchmesser  $d \leq 8 \text{ mm}$  darf vorgebohrt werden.

In Ziff. (12) ist angegeben, dass „bei Holzschraubenverbindungen ohne Vorbohrung [...] die Teile eine Mindestdicke“  $t_{\min}$  aufweisen müssen, die für Bauteile aus Vollholz in Glg. 2.10 angegeben ist.

$$t_{\min} = \max \left\{ 14 \cdot d; (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \right\} \quad \text{Glg. 2.10}$$

Wobei  $t_{\min}$  .....die Mindestdicke für Bauteile aus Vollholz [mm],

$\rho_k$  .....die charakteristische Rohdichte [ $\text{kg/m}^3$ ] und

$d$  .....der Durchmesser [mm] ist.

### 2.2.3 SIA 265: 2003

In diesem Abschnitt wird auf die entsprechenden Angaben der Schweizer Norm SIA 265 „Holzbau“ [25] eingegangen.

Unter Punkt „6.5.1 Allgemeines“ definiert diese Norm selbstbohrende Schrauben als „[...] Schrauben mit einem Verhältnis des Kerndurchmessers zum Außendurchmesser im Gewinde von mindestens  $0,6$  [...]“. Um mit den in der Norm angegebenen Bemessungswerten selbstbohrende Schrauben bemessen zu dürfen, müssen diese eine Mindestzug-

festigkeit von  $800 \text{ N/mm}^2$  aufweisen und einen Außendurchmesser  $d_a$  von 4 bis 10 mm. Für Holzschrauben wird eine Stahlgüte von 4.6 und ein Schaftdurchmesser  $d_s$  von 4 bis 16 mm gefordert.

Für eine Beanspruchung auf Herausziehen gibt die SIA 265 unter Punkt „6.5.3 Beanspruchung in Schaftrichtung“ zunächst Mindestabstände, welche in Tab. 2.4 zu finden sind, an. Diese geometrischen Festlegungen sollen das „Ausscheren eines Holzteils“ verhindern.

minimale Abstände	Abstand zwischen den Schrauben	Randabstand
senkrecht zur Faserrichtung	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$
parallel zur Faserrichtung (im Hirnholz)	$4 \cdot d$	$2,5 \cdot d$

Tab. 2.4 minimale Abstände für in Schaftrichtung belastete Schrauben [25]

Weiters ist festgelegt, dass „die minimale Einschraubtiefe  $l$  [...] für Holzschrauben  $6 \cdot d$ “ und „für selbstbohrende Schrauben  $8 \cdot d$ “ beträgt, wobei die anrechenbare Einschraubtiefe  $l_{ef}$  in Abb. 2.3 dargestellt ist.

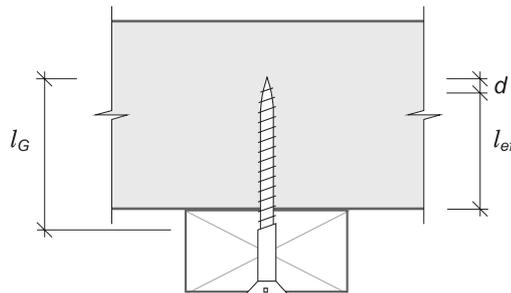


Abb. 2.3 anrechenbare Einschraubtiefe [25]

Die Bemessung auf Herausziehen erfolgt über den in Glg. 2.11 angegebenen „[...] Bemessungswert des Auszieh- und des Eindrückwiderstandes einer Schraubengruppe [...]“.

$$R_{\alpha, d} = n^{0,9} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef}) \cdot f_{v, \alpha, d} \quad \text{Glg. 2.11}$$

Wobei  $R_{\alpha, d}$  ...der Bemessungswert des Auszieh- und des Eindrückwiderstandes einer Schraubengruppe [N],

$n$  .....die Anzahl gemeinsam in der Verbindung wirkender Schrauben [-],

$d$  .....der Schraubendurchmesser [mm],

$l_{ef}$  .....die anrechenbare Einschraubtiefe [mm] und

$f_{v, \alpha, d}$  ..der Bemessungswert der Scherfestigkeit [ $\text{N/mm}^2$ ] ist.

„Der Bemessungswert der Scherfestigkeit  $f_{v, \alpha, d}$  auf Herausziehen ist [...]“ gemäß Glg.

2.12 anzunehmen.

$$f_{v, \alpha, d} = \frac{f_{v, 90, d}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} \quad \text{Glg. 2.12}$$

$$\text{mit } f_{v, 90, d} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{-0,2} \cdot \rho_k$$

Wobei  $f_{v, \alpha, d}$  ..der Bemessungswert der Scherfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>],

$f_{v, 90, d}$  ..der Bemessungswert der Scherfestigkeit auf Herausziehen senkrecht zur Faserrichtung [N/mm<sup>2</sup>],

$d$  .....der Schraubendurchmesser [mm],

$l_{ef}$  .....die anrechenbare Einschraubtiefe [mm],

$\rho_k$  .....die charakteristische Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] und

$\alpha$  .....der Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung [°] ist.

Weiters legt die SIA 265 unter Punkt „6.5.1 Allgemeines“ fest, dass die Notwendigkeit von Vorbohrungen „[...] den Angaben der Schraubenhersteller [...]“ zu entnehmen ist.

## 2.2.4 Gegenüberstellung der normativen Bestimmungen

Um die Bemessung nach den jeweiligen Normen durchführen zu dürfen, werden unterschiedliche Forderungen an die verwendeten Schrauben gestellt. Im nationalen Dokument zum Eurocode, der ÖNORM B 1995-1-1, ist geregelt, dass nur Schrauben in Übereinstimmung mit der ÖNORM EN 14592 und der ÖNORM EN 1995-1-1 verwendet werden dürfen bzw. in anderen Fällen auf Europäische Technische Zulassungen zurückzugreifen ist. Die DIN 1052 sieht eine sehr ähnliche Regelung vor und lässt Schrauben mit einem Gewinde gemäß DIN 7998 bzw. Schrauben mit einer entsprechenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu. Die Schweizer Norm SIA 265 trifft Festlegungen betreffend der Durchmesser und legt für selbstbohrende Schrauben eine Mindestzugfestigkeit bzw. für Holzschrauben eine erforderliche Stahlgüte fest.

„Das Scherversagen entlang des Umfangs einer Gruppe von Schrauben [...]“, wie das Blockscherversagen in der ÖNORM EN 1995-1-1 bezeichnet wird, berücksichtigen alle drei Normen über die Festlegung von minimalen Abständen zwischen den Schrauben und zu den Rändern der Bauteile. Darüber hinaus wird in allen angeführten Normen die minimale Einschraubtiefe festgelegt, wobei diese im Bereich von 4-d bis 8-d liegt.

Die Bemessung, d.h. die Berechnung des Ausziehwiderstandes, erfolgt über unterschiedliche Formeln, die durchwegs die tatsächliche Scherfläche zwischen dem Gewinde der Schraube und dem umgebenden Holz, sowie die Scherfestigkeit beinhalten. Auch der Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes wird in allen drei Normen berücksichtigt.

Das Zusammenwirken mehrerer Schrauben innerhalb einer Verbindung wird hingegen nur von der SIA 265 und dem Eurocode 5 über eine effektiv wirksame Anzahl von Schrauben erfasst.

Auch das Vorbohren ist unterschiedlich geregelt. So legen der Eurocode 5 und die DIN 1052 das Vorbohren in Abhängigkeit des Durchmessers der Schraube fest. Die SIA 265 hingegen verweist in diesem Zusammenhang auf die Angaben der Schraubenhersteller.

## 2.3 Grundlagen der Statistik

In diesem Abschnitt wird auf die für die Auswertung der Prüfungen herangezogenen statistischen Parameter und auf die Arten der statistischen Darstellung eingegangen. Als Literatur wurden dazu Brandner [3], Hartung et al. [4] und Schwarze [13], sowie wikibooks.org [26] und wikipedia.org [27] herangezogen, wobei nachfolgend die entnommenen Stellen nicht separat zitiert werden.

### 2.3.1 Statistische Kennwerte

#### 2.3.1.1 Lageparameter

Das **arithmetische Mittel** oder der **Mittelwert** (engl.: arithmetic mean, AM), einer Datenreihe wird mit der in Glg. 2.13 angegebenen Formel als Summe aller Werte geteilt durch die Gesamtanzahl der Werte berechnet.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Glg. 2.13}$$

Wobei  $\bar{x}$  .....das arithmetische Mittel,

$n$  .....die Gesamtanzahl der Beobachtungswerte und

$x_i$  .....der i-te Beobachtungswert ist.

Das **k-Quantil** ist jener Wert, der die geordnete Datenreihe so teilt, dass k Prozent der Werte unter und 100-k Prozent der Werte über dem Quantil zu liegen kommen. Das 25%-Quantil und das 75%-Quantil werden auch als **unteres** bzw. **oberes Quartil** bezeichnet.

Der **Median** oder **Zentralwert** ist jener Wert, der die geordnete Datenreihe der Beobachtungswerte in zwei gleiche Teile zerlegt. Er repräsentiert somit das 50%-Quantil der vorliegenden Beobachtungswerte. Der Median ist bei einer ungeraden Gesamtanzahl somit jener Wert in der Mitte der geordneten Datenreihe. Bei einer geraden Anzahl ist jeder beliebige Wert, der zwischen den beiden Werten in der Mitte der Reihe zu liegen kommt, ein Median. Um dennoch einen Wert angeben zu können, wird festgelegt, dass sich der Median als arithmetisches Mittel der beiden genannten Werte berechnet, vgl. Glg. 2.14. Im Vergleich zum arithmetischen Mittel ist der Median weniger empfindlich gegenüber

Ausreißern, d.h. weit von allen übrigen entfernt liegende Werte beeinflussen den Wert des Medians kaum.

$$\tilde{x}_{0,50} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & \text{falls } n \text{ ungerade} \\ 0,50 \cdot (x_{n/2} + x_{(n+2)/2}) & \text{falls } n \text{ gerade} \end{cases} \quad \text{Glg. 2.14}$$

Wobei  $\tilde{x}_{0,50}$  ... der Median,

$x_i$  ..... der i-te Beobachtungswert und

$n$  ..... die Gesamtanzahl der Beobachtungswerte ist.

Das **Minimum** bzw. das **Maximum** grenzen die untersuchte Datenreihe ab und geben den kleinsten bzw. den größten Wert wieder.

### 2.3.1.2 Streuungsparameter

Die **Varianz** ist ein häufig angewandtes Maß für die Streuung einer Variablen. Sie wird als arithmetisches Mittel der quadrierten Abweichungen der Beobachtungswerte  $x_i$  von ihrem arithmetisches Mittel  $\bar{x}$ , wie in Glg. 2.15 angegeben, berechnet und berücksichtigt somit größere Abstände zum Mittelwert stärker als näher liegende Werte.

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Glg. 2.15}$$

Wobei  $s^2$  ..... die Varianz,

$n$  ..... die Gesamtanzahl der Beobachtungswerte,

$x_i$  ..... der i-te Beobachtungswert und

$\bar{x}$  ..... das arithmetische Mittel der Datenreihe ist.

Die **Standardabweichung** (engl.: standard deviation, SD) ist ein weiteres Streuungsmaß, welches man durch Ziehen der positiven Quadratwurzel aus der Varianz erhält, vgl. Glg. 2.16. Somit hat die Standardabweichung gegenüber der Varianz den Vorteil, dass sie die gleiche Dimension wie die Beobachtungswerte aufweist.

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Glg. 2.16}$$

Wobei  $s$  ..... die Standardabweichung,

$s^2$  ..... die Varianz,

$n$  ..... die Gesamtanzahl der Beobachtungswerte,

$x_i$  ..... der i-te Beobachtungswert und

$\bar{x}$  .....das arithmetische Mittel der Datenreihe ist.

Der **Variationskoeffizient** (engl.: coefficient of variation, COV) berechnet sich gemäß Glg. 2.17 als Quotient aus der Standardabweichung und dem arithmetischen Mittelwert. Der Variationskoeffizient ist somit dimensionslos und eignet sich daher gut zum Vergleich der Streuungen unterschiedlicher Messreihen.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \qquad \text{Glg. 2.17}$$

Wobei  $v$ .....der Variationskoeffizient,

$s$ .....die Standardabweichung und

$\bar{x}$  .....das arithmetische Mittel der Datenreihe ist.

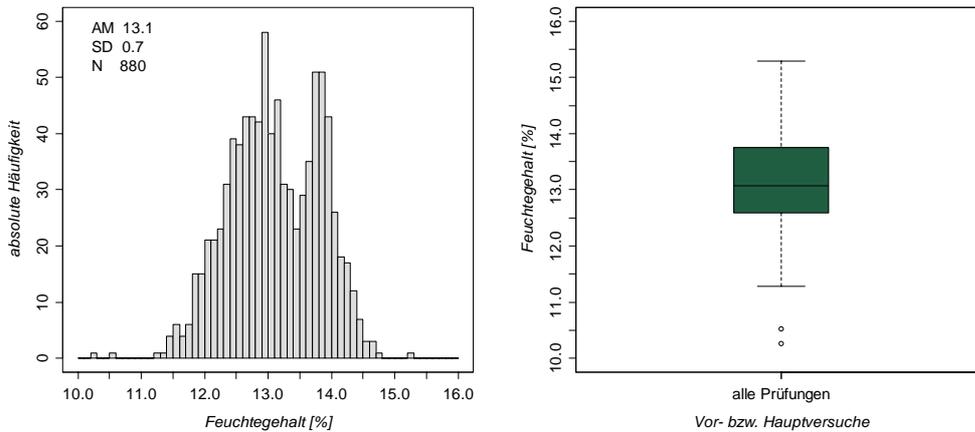
Der **Quartilabstand** (engl.: interquartile range, IQR) beinhaltet 50% der Daten und berechnet sich aus der Differenz des oberen und des unteren Quartils.

## 2.3.2 Diagrammtypen

Das **Histogramm** ist eine einfache Möglichkeit zur Darstellung einer Häufigkeitsverteilung, wobei die Beobachtungswerte zunächst in Klassen zusammengefasst werden und anschließend deren Häufigkeit durch aneinanderstoßende Rechtecke über den Klassen aufgetragen wird. Die Breite der Klassen kann unterschiedlich gewählt werden, wodurch die Klassenhäufigkeit nicht durch die Höhe des Rechtecks sondern durch die Fläche der Rechtecke repräsentiert wird. Abb. 2.4 (a) zeigt ein Histogramm des Feuchtegehalts basierend auf dem bereinigten Datensatz aller Vor- und Hauptversuche. Darüber hinaus sind darin das arithmetische Mittel und die Standardabweichung der Datenreihe, sowie die Gesamtanzahl der Beobachtungswerte numerisch angeführt.

Ein **Box-Plot** liefert im Vergleich zu einem Histogramm eine wesentlich übersichtlichere graphische Darstellung einer Beobachtungsreihe, insbesondere ist deren Lage und Streuung besser erkennbar. Nachfolgend werden die verschiedenen Elemente eines solchen Diagramms anhand des in Abb. 2.4 (b) gezeigten Box-Plots erläutert.

Die Box wird durch das untere und das obere Quartil begrenzt, sodass sie 50% der Daten umfasst. Die horizontale Linie im Inneren der Box zeigt den Median. Die Whiskers (Schnurhaare) zeigen das Minimum bzw. das Maximum der Verteilung, sofern diese nicht mehr als das 1,5-fache des Quartilabstands vom Median entfernt sind. Gibt es Werte, die außerhalb dieses Abstands liegen, so werden diese als Ausreißer bezeichnet und separat als einzelne Punkte dargestellt.



(a) Histogramm

(b) Box-Plot

Abb. 2.4 Verteilung der Feuchtegehalte aller Vor- und Hauptversuche

Tab. 2.5 bietet eine übersichtliche Auflistung aller Kennwerte, die einem Box-Plot entnommen werden können.

Kennwert	Beschreibung	Lage im Box-Plot
Minimum	kleinster Datenwert des Datensatzes	Ende eines Whiskers oder entferntester Ausreißer
unteres Quartil	die kleinsten 25% der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert	Beginn der Box
Zentralwert oder Median	die kleinsten 50% der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert	horizontaler Strich innerhalb der Box
oberes Quartil	die kleinsten 75% der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert	Ende der Box
Maximum	größter Datenwert des Datensatzes	Ende eines Whiskers oder entferntester Ausreißer
Spannweite	gesamter Wertebereich des Datensatzes	Länge des gesamten Box-Plots (inklusive Ausreißer)
Quartilabstand	Wertebereich in dem sich die mittleren 50% der Daten befinden	Ausdehnung der Box

Tab. 2.5 Zusammenfassung der Kennwerte eines Box-Plots [27]

Betrachtet man die Daten eines Datensatzes getrennt nach Kategorien, d.h. möchte man einzelne Beobachtungsreihen des Gesamtdatensatzes miteinander vergleichen, so kann es sinnvoll sein, die Box-Plots zu erweitern. Durch die Darstellung von Einschnürungen (engl.: notches) der Box im Bereich des Medians kann eine Aussage über die Beeinflussung der Mediane zweier Kategorien gemacht werden. Dabei erstreckt sich die Einschnürung über einen Bereich von  $\pm 1,58 \cdot IQR / \sqrt{n}$ . Sich nicht überlappende Einschnürungen sind ein starker Hinweis darauf, dass sich die Mediane signifikant unterscheiden. Weiters kann je nach Anzahl der Werte die Box unterschiedlich breit dargestellt werden.

## 3 Vorversuche

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit durchgeführten Vorversuche beschrieben. Mit Hilfe dieser Versuche wurden

- die Ausziehfestigkeit einer Schraube,
- die erforderlichen Mindestabstände zwischen benachbarten Schrauben parallel und normal zur Faserrichtung, sowie
- die momentane Anpresskraft einer Schraube in Abhängigkeit vom aufgebrachtten Drehmoment während des Eindrehens ermittelt.

Im weiteren Verlauf der Arbeit bildeten diese drei Parameter die Grundlage für die Planung der Hauptversuche.

### 3.1 Versuchsplanung

Die Planung der Vorversuche umfasste die Auswahl der Versuchsmaterialien und die Entwicklung von Versuchskonfigurationen zur Bestimmung der drei genannten Parameter.

#### 3.1.1 Prüfmaschine

Die Planung der Versuche erfolgte dahingehend, dass die am Institut für Holzbau und Holztechnologie vorhandene statische Stand-Prüfmaschine lignum\_uni\_275 der Allround-Line der Firma Zwick GmbH & Co. KG [29] für die Durchführung der Versuche herangezogen werden konnte, siehe Abb. 3.1.



Abb. 3.1 Universalprüfmaschine lignum\_uni\_275

Die Materialprüfmaschine besteht aus einer horizontal liegenden Traverse, die im Last-

rahmen in vertikaler Richtung mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt werden kann. Die maximale Prüfkraft dieser Prüfmaschine liegt bei 275 kN.

### 3.1.2 Auswahl der Versuchsmaterialien

#### 3.1.2.1 Verwendete Schrauben

Da die maximale Schraubenanzahl innerhalb einer Schraubengruppe durch die Maximalkraft der Prüfmaschine begrenzt wird und um im Rahmen der Hauptversuche dennoch große Schraubengruppen prüfen zu können, wurden Schrauben mit einem Nenn-durchmesser von 6 mm gewählt, die im Gegensatz zu Schrauben mit einem größeren Nenn-durchmesser einen deutlich geringeren Bemessungswert der Ausziehfestigkeit aufweisen. Nachfolgend ist die genaue Bezeichnung der für die Vorversuche verwendeten Teilgewindeschraube angegeben.

- Holzbauschraube „Star Drive“  
der Firma Schmid Schrauben Hainfeld GmbH  
Abmessungen: 6,0 x 300 mm  
Gewindelänge: 75 mm

Abb. 3.2 ist der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-435 [28] entnommen und zeigt eine Skizze der gewählten Schraube. Die entsprechenden Abmessungen sind in Tab. 3.1 ohne Angabe der zugehörigen Toleranzen angeführt.

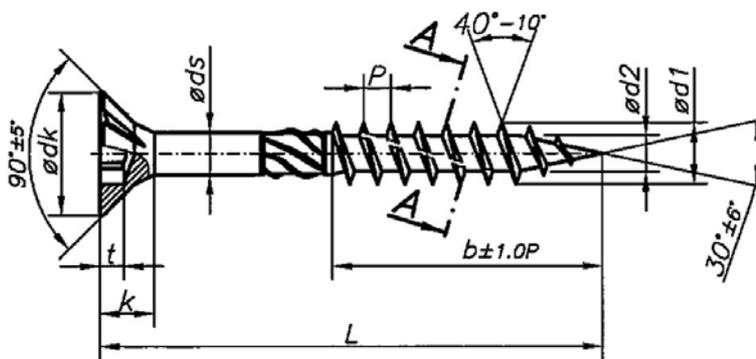


Abb. 3.2 Skizze der verwendeten Holzbauschraube [28]

Außendurchmesser $d_1$	6,0	Kopfdurchmesser $d_k$	12,0
Kerndurchmesser $d_2$	3,8	Kopfhöhe $k$	5,5
Schaftdurchmesser $d_s$	4,2	Schraubenlänge $L$	300,0
Gewindesteigung $p$	2,6	Gewindelänge $b$	75,0

Tab. 3.1 Schraubengeometrie, Angaben in Millimeter [28]

#### 3.1.2.2 Verwendetes Holz

Das Ausgangsmaterial für die Herstellung der Prüfkörper bildeten am Institut für Holzbau

und Holztechnologie vorrätige Vollholzträger der Holzart Fichte, die der Sortierklasse S 10 zugeordnet sind und einen Querschnitt von ca. 120 x 180 mm aufweisen.

Aus diesen Vollholzträgern wurden zunächst 40 Stück ausgewählt und anschließend deren Rohdichten und Jahrringbreiten aufgenommen. Um der angestrebten Normalverteilung der Rohdichten und der Jahrringbreiten gerecht zu werden, wurden im Anschluss an die erste Aufnahme einzelne Träger ausgetauscht. In weiterer Folge wurden die 40 Träger fortlaufend von 1 bis 40 nummeriert und in zwei Gruppen geteilt, wobei wiederum darauf geachtet wurde, dass sowohl innerhalb der Trägergruppe I, als auch in der Gruppe II die entsprechende Verteilung weitestgehend erhalten blieb. Diese Aufteilung in zwei Trägergruppen war erforderlich, um auch bei den Versuchsserien mit nur 20 Prüfungen Holzkörper mit ähnlichen Eigenschaften je Gruppe vorliegen zu haben.

Die Lagerung der Träger erfolgte ab diesem Zeitpunkt bei Normalklima, d.h. bei einer Raumtemperatur von  $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $(65 \pm 5)\%$ . Unter diesen Bedingungen stellt sich im Holz ein Feuchtegehalt  $u$  von etwa 12% ein, vgl. „Normalklima“ im Holz-Lexikon [7] und Punkt „5.3.3.1 Holzfeuchte“ in ÖNORM EN 384 [23].

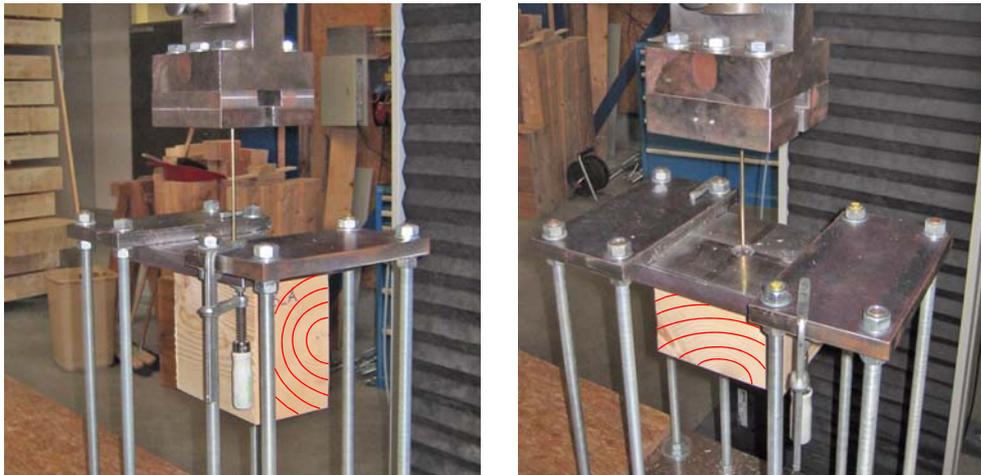
### 3.1.3 Entwicklung der Versuchskonfigurationen

Nachfolgend werden die drei unterschiedlichen Versuchskonfigurationen zur Bestimmung der drei gesuchten Parameter näher erläutert.

#### 3.1.3.1 Ausziehfestigkeit

Die Versuche zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben  $f_{\alpha, \text{single}}$  erfolgten gemäß ÖNORM EN 1382 [19], die „[...] Prüfverfahren zur Bestimmung der Ausziehtragfähigkeit von Verbindungsmitteln festlegt, die in Holz (Vollholz und Brettschichtholz) eingeschlagen wurden.“

Der Winkel  $\alpha$  zwischen der Schraubenachse und der Fasserrichtung wurde mit  $90^\circ$  festgelegt und blieb bei allen Versuchen unverändert. Variiert wurde hingegen die Einschraubrichtung  $\beta$ , d.h. der Winkel zwischen der Schraubenachse und der Tangente an die Jahrringe im Holzquerschnitt, zwischen tangential und radial, vgl. Abb. 3.3 (a) und (b).



(a) Tangentiale Einschraubrichtung

(b) Radiale Einschraubrichtung

Abb. 3.3 Variation der Einschraubrichtung

Um ein aussagekräftiges Ergebnis erzielen zu können, wurde für die Versuche zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit festgelegt, dass je Einschraubrichtung 40 Versuche durchzuführen sind. Hierfür wurde aus allen 40 ausgewählten Vollholzträgern je ein Prüfkörper gewonnen und darin jeweils ein Versuch der tangentialen und der radialen Serie durchgeführt. Dies führte zu den in Tab. 3.2 angegebenen Versuchsserien. Deren Anordnung im Prüfkörper ist in Abb. 3.4 zu sehen.

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraubrichtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Trägergruppe
1p_1n_1_0d_t	40	tangential	1_A bis 40_A	I bzw. II
1p_1n_1_0d_r	40	radial	1_A bis 40_A	I bzw. II

Tab. 3.2 Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben (Prüfkörper-Typ A)

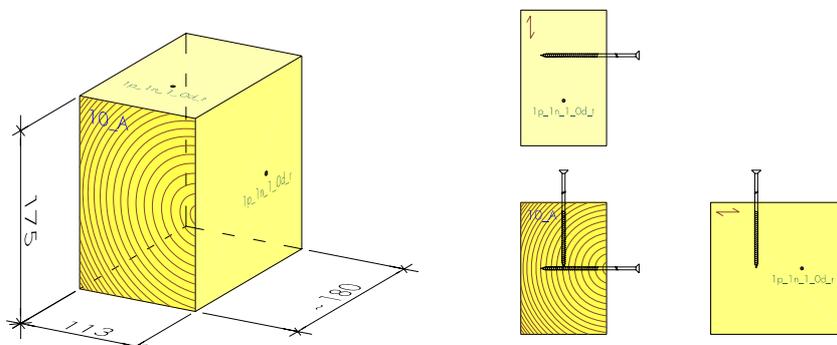


Abb. 3.4 Prüfkörper-Typ A

### 3.1.3.2 Erforderliche Mindestabstände

Die Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände zwischen den einzelnen Schrauben einer Schraubengruppe erfolgte durch Ausziehprüfungen von Schraubenpaaren in Anlehnung an die ÖNORM EN 1382 [19].

Zusätzlich zur tangentialen bzw. radialen Einschraubrichtung wurde bei diesen Versuchen der Abstand zwischen den beiden Schrauben variiert. Außerdem erfolgte eine Unterscheidung zwischen dem Mindestabstand  $a_1$  in faserparalleler Richtung und dem Mindestabstand  $a_2$  normal zur Faserrichtung, vgl. Abb. 3.5 (a) und (b). In Anlehnung an die im Eurocode 5 angegebenen Mindestabstände, vgl. Abschnitt „2.2.1 Eurocode 5“, wurden die Versuchsserien mit einem von  $2 \cdot d$  bis  $7 \cdot d$  variierenden faserparallelen Abstand  $a_1$  geplant. Der Abstand  $a_2$  rechtwinklig zur Faser wurde im Bereich von  $2 \cdot d$  bis  $5 \cdot d$  untersucht.



(a) Abstand  $a_1$  parallel zur Faserrichtung



(b) Abstand  $a_2$  normal zur Faserrichtung

Abb. 3.5 Variation der Schraubenabstände

Unter Berücksichtigung und Variation der genannten Parameter führte dies zu insgesamt 20 Versuchsserien, wobei jede Serie 20 Prüfungen umfasste. Tab. 3.3, Tab. 3.4, Tab. 3.5 und Tab. 3.6 geben detaillierte Angaben zu den Versuchsserien je tangentialer und radialer Einschraubrichtung bzw. je Abstand  $a_1$  und  $a_2$  an. Angaben zur Anordnung der Versuchsserien in den Prüfkörpern, sowie die Prüfkörper selbst sind in Anhang A unter Punkt „A.1.1 Erforderliche Mindestabstände“ zu finden.

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraubrichtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Trägergruppe
2p_1n_2_2d_t	20	tangential	2_G bis 38_G	I
2p_1n_2_3d_t	20	tangential	2_G bis 38_G	I
2p_1n_2_4d_t	20	tangential	2_G bis 38_G	I
2p_1n_2_5d_t	20	tangential	2_H bis 38_H	I

Tab. 3.3 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ G und H)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
2p_1n_2_6d_t	20	tangential	2_G bis 38_G	I
2p_1n_2_7d_t	20	tangential	2_H bis 38_H	I

Tab. 3.3 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ G und H)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
2p_1n_2_2d_r	20	radial	1_D bis 40_D	II
2p_1n_2_3d_r	20	radial	1_E bis 40_E	II
2p_1n_2_4d_r	20	radial	1_E bis 40_E	II
2p_1n_2_5d_r	20	radial	1_E bis 40_E	II
2p_1n_2_6d_r	20	radial	1_D bis 40_D	II
2p_1n_2_7d_r	20	radial	1_E bis 40_E	II

Tab. 3.4 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für radial eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ D und E)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
1p_2n_2_2d_t	20	tangential	1_J bis 40_J	II
1p_2n_2_3d_t	20	tangential	1_J bis 40_J	II
1p_2n_2_4d_t	20	tangential	1_J bis 40_J	II
1p_2n_2_5d_t	20	tangential	1_J bis 40_J	II

Tab. 3.5 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_2$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ J)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
1p_2n_2_2d_r	20	radial	2_B bis 38_B	I
1p_2n_2_3d_r	20	radial	2_C bis 38_C	I
1p_2n_2_4d_r	20	radial	2_B bis 38_B	I
1p_2n_2_5d_r	20	radial	2_C bis 38_C	I

Tab. 3.6 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_2$  für radial eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ B und C)

Gemeinsam mit den Versuchen zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraube können diese Versuche unter dem Begriff „Ausziehversuche“ zusammengefasst werden.

### 3.1.3.3 Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment

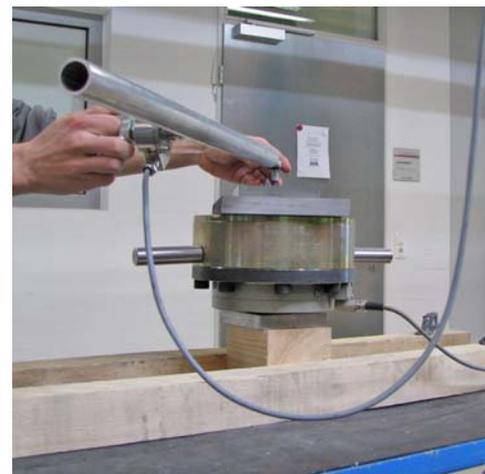
Um im Rahmen der Hauptversuche eine gleichmäßige Beanspruchung aller Schrauben innerhalb einer Gruppe sicherstellen zu können, sind die Schrauben vor der Prüfung so einzudrehen, dass jede Schraube eine annähernd gleich große Anpresskraft aufweist. Ein direktes Messen dieser Vorkräfte, d.h. der Anpresskraft jeder einzelnen Schraube, wäre

nur mit speziellen Messschrauben möglich. Da das Herstellen und Einbringen solcher Messschrauben zu kosten- und arbeitsintensiv gewesen wäre, wurde diese Variante nicht weiter verfolgt. Es können jedoch auch über das aufgebrachte Drehmoment während des Eindrehvorgangs Rückschlüsse auf die Anpresskraft gezogen werden. Zu diesem Zweck wurden Versuche durchgeführt, bei denen die aktuelle Anpresskraft in Abhängigkeit vom momentan aufgebrachten Drehmoment aufgezeichnet wurde.

Auch hier wurde wie in den bereits beschriebenen Versuchskonfigurationen zwischen tangentialer und radialer Einschraubrichtung unterschieden. Weiters wurde bei einigen Versuchen die Schraube diskret, d.h. stufenweise mit einem Drehmomentschlüssel, und bei den anderen Versuchen kontinuierlich, d.h. ohne Absetzen des Schlüssels mit einer Kraftmessung in bekanntem Abstand, eingedreht, wie dies in Abb. 3.6 (a) bzw. (b) zu sehen ist. Bei den diskret durchgeführten Versuchen musste der Schlüssel immer wieder abgesetzt und das Drehmoment am Schlüssel neu eingestellt werden. Um die Reibung des Schraubenkopfes an der Platte beim Wiederaufnehmen des Eindrehvorgangs zu verringern, wurde deshalb bei einigen Versuchen zusätzlich eine Unterlagscheibe aus Teflon zwischen den Schraubenkopf und die Stahlplatte gelegt.



(a) Diskretes Eindrehen der Schraube



(b) Kontinuierliches Eindrehen der Schraube

Abb. 3.6 Variation der Art des Eindrehens

Die Anzahl der Versuche je Versuchskonfiguration sind in Tab. 3.7 angeführt. Die Abmessungen der Prüfkörper und die Lage der jeweiligen Versuche können dem Anhang A unter Punkt „A.1.2 Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment“ entnommen werden.

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraubrichtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Trägergruppe
1p_1n_1_di_t	20	tangential	1_F bis 40_F	II
1p_1n_1_di_r	20	radial	1_F bis 40_F	II
1p_1n_1_ko_t	15	tangential	1_F bis 32_F	II

Tab. 3.7 Versuchsserien zur Bestimmung der Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment (Prüfkörper-Typ F)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraubrichtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Trägergruppe
1p_1n_1_ko_r	15	radial	1_F bis 32_F	II
1p_1n_1_te_t	5	tangential	35_F bis 40_F	II
1p_1n_1_te_r	5	radial	35_F bis 40_F	II

Tab. 3.7 Versuchsserien zur Bestimmung der Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment (Prüfkörper-Typ F)

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit werden diese Versuche zur Bestimmung der Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment vereinfacht als „Eindrehversuche“ bezeichnet.

### 3.1.4 Versuchsbezeichnung

Wie Abb. 3.7 zeigt, setzt sich die Bezeichnung der einzelnen Versuche aus der Träger-Nummer, dem Prüfkörper-Typ, der Anzahl der hintereinander liegenden Schrauben in faserparalleler Richtung, sowie in jener Richtung normal zur Faser, der Gesamtanzahl der Schrauben, den Schraubenabständen  $a_1$  oder  $a_2$  bzw. der Art des Eindrehens und der tangentialen bzw. radialen Einschraubrichtung zusammen. Somit ist jeder Versuch eindeutig benannt und die Kenntnis der Bezeichnung ermöglicht eine eindeutige Aussage über das verwendete Ausgangsmaterial, sowie über die jeweilige Versuchskonfiguration. Die Bandbreite der einzelnen Parameter kann Tab. 3.8 entnommen werden, wobei darin auch Angaben zu den Vorversuchen des erweiterten Prüfumfangs, die jedoch erst in Abschnitt „3.2.6 Erweiterung des Prüfumfangs“ erläutert werden, enthalten sind.

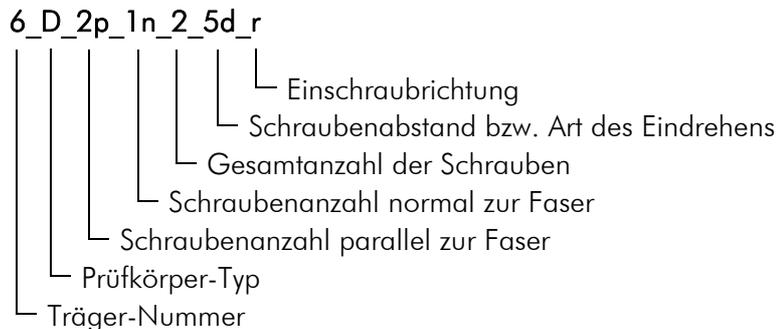


Abb. 3.7 Bezeichnung der Vorversuche

Bezeichnung	Ausziehversuche		Eindrehversuche
	geplant	erweitert	
Träger-Nummer	1 / 2 / ... / 40	41 / 42 / ... / 80	1 / 2 / ... / 40
Prüfkörper-Typ	A / B / C / D / E / G / H / J	K / L / M	F
Schraubenanzahl parallel zur Faser	1p / 2p	1p / 2p	1p

Tab. 3.8 Bandbreite der Parameter in der Bezeichnung der Vorversuche

Bezeichnung	Ausziehversuche		Eindrehversuche
	geplant	erweitert	
Schraubenanzahl normal zur Faser	1 n / 2n	1 n / 2n	1 n
Gesamtanzahl der Schrauben	1 / 2	1 / 2	1
Schraubenabstand bzw. Art des Eindrehens	0d / 2d / 3d / 4d / 5d / 6d / 7d	0d / 2d / 3d / 4d / 5d / 6d / 7d / 14d	di / ko / te
Einschraubrichtung	r / t	r / t	r / t

Tab. 3.8 Bandbreite der Parameter in der Bezeichnung der Vorversuche

Sollten dennoch in ein und demselben Prüfkörper mehrere Versuche der gleichen Konfiguration durchgeführt werden, kann die Bezeichnung am Ende problemlos um ein „\_A“ bzw. „\_B“ erweitert werden.

## 3.2 Versuchsdurchführung

Beginnend bei der Herstellung der Prüfkörper werden in diesem Abschnitt die Durchführung und auch die Nachbearbeitung der Vorversuche näher erläutert.

### 3.2.1 Herstellung der Prüfkörper

#### 3.2.1.1 Abmessungen

Die vorausgewählten Vollholzträger, welche bereits bei Normalklima lagerten, wurden zunächst auf einen konstanten Querschnitt von 113 x 175 mm gehobelt. Anschließend wurden die unterschiedlichen Prüfkörper hergestellt, wobei darauf geachtet wurde, dass fehlerhafte Stellen (z.B. größere Äste) ausgeschnitten wurden. Um diese Anforderung der Elimination von unerwünschten Bereichen im Träger leichter erfüllen und um den Ein- und Ausbau der Prüfkörper in die Prüfvorrichtung möglichst einfach halten zu können, wurde für die Prüfkörper eine maximale Länge von etwa 30 cm festgelegt. Es sei angemerkt, dass die Versuchskörper des Typs B und G, C und H, sowie D und J zunächst als Ganzes aus dem Träger geschnitten wurden und erst später nach Festlegung der genannten Maximallänge geteilt wurden. Die genauen Abmessungen ergaben sich aus der Versuchskonfiguration selbst, sowie aus den gewählten Mindestabständen zwischen den einzelnen Versuchen, welche im selben Prüfkörper durchgeführt wurden, und den Abständen zu den Rändern des Prüfkörpers. Abb. 3.8 zeigt einen Träger der jeweiligen Gruppe mit den daraus hergestellten Prüfkörpern, wobei die relative Lage der Prüfkörper innerhalb des Trägers durchaus variiert wurde, um die unerwünschten Stellen materialsparend ausschneiden zu können.

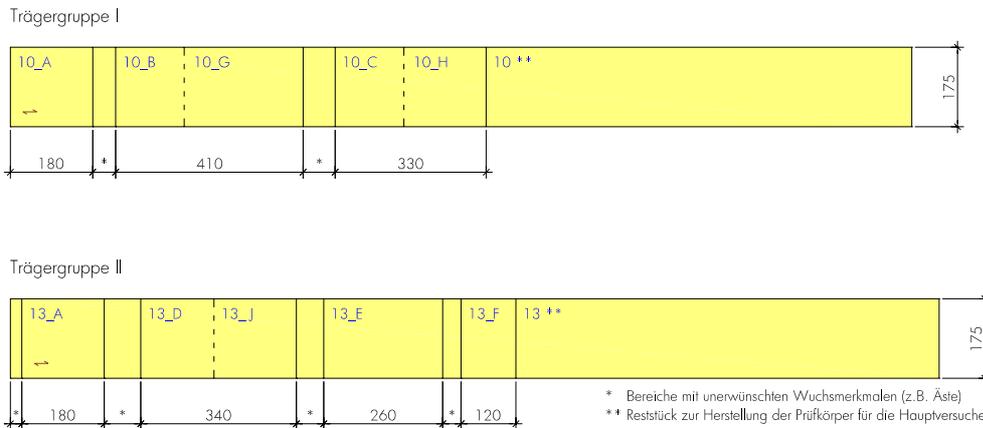


Abb. 3.8 Herstellung der Prüfkörper aus den Trägern der Gruppen I und II

### 3.2.1.2 Nummerierung

Die Prüfkörper wurden nach dem Zuschneiden umgehend mit der entsprechenden Nummer versehen, die sich aus der Träger-Nummer und dem Prüfkörper-Typ zusammensetzt.

### 3.2.1.3 Lagerung

Nach dem Zuschneiden und Beschriften wurden die Prüfkörper und auch die Reststücke der ursprünglichen Träger wieder in die Klimakammer gebracht, um bis zur Durchführung der Versuche im Normalklima gelagert zu werden.

## 3.2.2 Ablauf der Ausziehversuche

Abb. 3.9 (a) und (b) zeigen den Versuchsaufbau für die Versuche zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraube. Dabei wurde die Schraube zunächst durch eine ringförmige Einleitehilfe, welche im weiteren Verlauf eine zentrische Lasteinleitung gewährleisten sollte, geführt und anschließend maschinell soweit in den Prüfkörper eingedreht, dass die Schraubenspitze 87 mm unter der Holzoberfläche zu liegen kam. Somit befand sich das Teilgewinde der Schraube vollständig im Prüfkörper bzw. wurde mit  $2 \cdot d = 12$  mm eingebunden. Die Ausziehfestigkeit kann daher mit der gesamten Gewindelänge berechnet werden. Nun wurde der vorbereitete Prüfkörper in die Prüfmaschine eingebracht und mit einer Vorkraft von 200 N beansprucht, um den Versuchskörper und die Einleitehilfe in der Prüfvorrichtung zentrisch ausrichten zu können. Anschließend wurde die Prüfung gestartet, wobei der Maschinenweg so gewählt wurde, dass die Maximalkraft  $F_{\max}$  in  $(90 \pm 30)$  s erreicht wurde, wie dies auch in der ÖNORM EN 1382 [19] gefordert wird. Während des laufenden Versuchs wurde der Prüfkörper gegen eine Lagerplatte, die eine Öffnung mit einem Durchmesser von  $4 \cdot d = 24$  mm aufweist, gedrückt. Diese Lagerplatte wurde wiederum von zwei weiteren Lagerplatten gehalten, die mit Gewindestangen am Längsträger der Prüfmaschine verankert waren.



(a) allgemeiner Versuchsaufbau



(b) Lagerung des Prüfkörpers

Abb. 3.9 Ablauf der Ausziehversuche für Einzelschrauben

Die Versuche zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände zwischen zwei Schrauben wurden analog ausgeführt, wobei der dazu verwendete Einbauteil neben der zentralen Lasteinleitung in die Schraubenpaare auch deren konstanten Abstand garantierte, vgl. Abb. 3.10 (a). Wie in Abb. 3.10 (b) zu sehen, erfolgte die Lagerung des Prüfkörpers über zwei Lagerstreifen, die eine Lagerung im Abstand von  $2 \cdot d = 12 \text{ mm}$  von der Schraubenachse sicherstellten.



(a) verwendeter Einbauteil



(b) Lagerung des Prüfkörpers

Abb. 3.10 Ablauf der Ausziehversuche für Schraubenpaare

### 3.2.3 Ablauf der Eindrehversuche

Der Prüfkörper wurde zunächst zwischen zwei Holzträger fixiert, sodass er sich während des Eindrehens der Schraube nicht mitdrehen konnte. Anschließend wurde die Kraftmessdose mit der Lasteinleiteplatte für die Schraube auf dem Prüfkörper platziert, vgl. Abb. 3.11. Bei den kontinuierlich durchgeführten Versuchen wurde nun die Schraube

möglichst gleichmäßig eingedreht. Hingegen musste bei den diskret durchgeführten Versuchen das am Drehmomentschlüssel eingestellte Drehmoment stufenweise verändert werden, sodass der Vorgang des Eindrehens immer wieder unterbrochen wurde.



Abb. 3.11 allgemeiner Versuchsaufbau für die Eindrehversuche

### 3.2.4 Durchgeführte Messungen

Im Rahmen der Ausziehversuche wurden während des laufenden Versuchs von den internen Messeinrichtungen der Prüfmaschine die Zeit [s], die Standardkraft [N] und der Standardweg [mm] automatisch aufgezeichnet. Zusätzlich wurde für jede Versuchsserie ein handschriftlich ausgefülltes Prüfprotokoll angefertigt, welches für jede Prüfung neben der jeweiligen Versuchsbezeichnung, der maximalen Kraft [N] und der Versagensursache auch Platz für Anmerkungen, wie Prüfgeschwindigkeit [mm/min], auffällige Wuchsmerkmale (Äste, Reaktionsholz, große bzw. kleine Jahrringbreiten, etc.) und sonstige Besonderheiten (z.B. Aufspaltung des Prüfkörpers, etc.) bot.

Während der Eindrehversuche, welche mit Hilfe des Drehmomentschlüssels durchgeführt wurden, wurde die Anpresskraft von der Kraftmessdose kontinuierlich aufgezeichnet. Weiters wurde für jede am Drehmomentschlüssel gewählte Stufe die bis dahin maximale Anpresskraft gemeinsam mit dem am Schlüssel eingestellten Drehmoment notiert. Für die kontinuierlich durchgeführten Versuche wurden hingegen die Anpresskraft und das Drehmoment, welches aus der beim Eindrehen aufgebrachten Kraft multipliziert mit dem Hebelsarm berechnet wurde, laufend aufgezeichnet und anschließend für 1 Nm-Stufen händisch ausgelesen und in das Prüfprotokoll eingetragen. Weiters wurde in den Prüfprotokollen die Versagensursache und etwaige Besonderheiten für jede Prüfung vermerkt.

Auf allen Prüfprotokollen wurden außerdem das Datum, der Name des Prüfers bzw. der Prüfer, sowie das Umgebungsklima, d.h. die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit, zum Zeitpunkt der Prüfung notiert.

### 3.2.5 Nachbearbeitung

Im Anschluss an die Prüfungen wurde für jeden Versuch eine sogenannte Darrprobe aus dem Prüfkörper geschnitten, sodass die geprüfte Schraube bzw. Schraubengruppe darin enthalten war. Dabei wurde die Breite und Länge dieser Kleinprobe so gewählt, dass der Abstand von der Achse der Schraube ca.  $2 \cdot d$  betrug. Die Höhe der Darrprobe orientierte sich an der Eindrehlänge, sodass auch bei Schraubenbrüchen das Schneiden ohne Probleme möglich war, bzw. ergab sich bei sich mehr oder weniger gegenüberliegenden Prüfungen aus der halben Prüfkörperdicke.

Die genauen Abmessungen wurden für jede Darrprobe mittels einer digitalen Schiebelehre auf 0,01 mm genau bestimmt, wobei jede Ausdehnung zunächst zweimal gemessen und anschließend das arithmetische Mittel aus den beiden Werten gebildet wurde. Weiters wurde die Masse gemäß ÖNORM EN 13183-1 [18] mit einer digitalen Präzisionswaage „[...]“ mit einer Anzeige der Masse mit Skalenteilungswerten von 0,01 g [...]“ bestimmt.

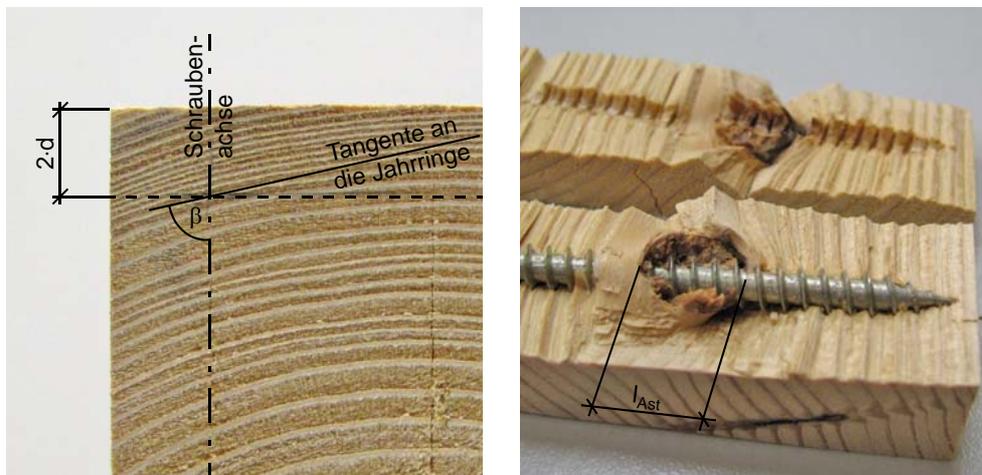
Anschließend wurde die gewogene Probe bei einer Temperatur von  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  in einem Trockenschrank getrocknet. In der ÖNORM EN 13183-1 [18] wird ein Prüfkörper als „[...] darrtrocken bezeichnet, wenn der Masseunterschied zwischen zwei Wägevorgängen im Abstand von 2 h geringer als 0,1% ist.“ Nach etwa drei Tagen wurde dieser Zustand der Massenkonzanz erreicht und die Proben fortlaufend aus dem Darrschrank genommen und umgehend gewogen.

Für jede Darrprobe wurde außerdem die mittlere Jahrringbreite, d.h. der Mittelwert über drei repräsentative Jahrringe, durch die die Schraube geschraubt war, aufgenommen. Weiters wurde die exakte Einschraubrichtung  $\beta$ , die den Winkel zwischen der Schraubenchse und der Tangente an die Jahrringe im Querschnitt wiedergibt, mit Hilfe eines Geodreiecks gemessen. Diese Messung erfolgte in einem Abstand von  $2 \cdot d = 12$  mm unter der Holzoberfläche bei jener Schraubenchse mit der geringsten Neigung der Jahrringe, vgl. Abb. 3.12 (a). Bereits bei der Aufnahme der Winkel konnte man erkennen, dass diese nur mäßig mit den zu Beginn definierten tangentialen und radialen Einschraubrichtungen übereinstimmten. Daher wurde festgelegt, dass für die weitere Auswertung jene Winkel  $\beta$  größer gleich  $60^\circ$  als radial und jene kleiner gleich  $30^\circ$  als tangential bezeichnet werden.

Um Darrproben mit besonderen Auffälligkeiten besser beurteilen zu können, wurden diese aufgespalten und gemäß den nachfolgend angeführten Kriterien in Anlehnung an die ÖNORM EN 1310 [17] näher untersucht:

- Ast (berührt / durch / vorbei)
- durchbohrte Astlänge  $l_{\text{Ast}}$  [mm], vgl. Abb. 3.12 (b)
- Mark (durch / vorbei)
- Reaktionsholz (viel / wenig)

- Ansammlung von Harz, Rindeneinschluss (Harz / Harz und Rinde / Rinde)



(a) Einschraubrichtung  $\beta$

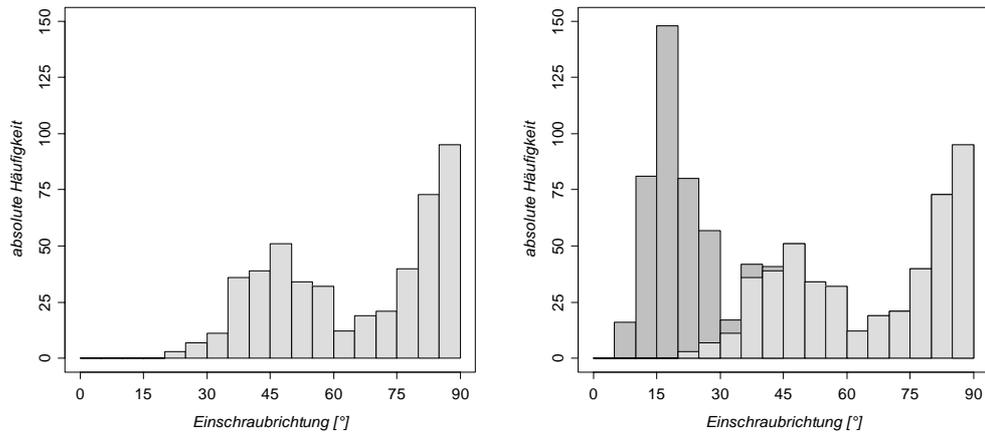
(b) durchbohrte Astlänge  $l_{Ast}$

Abb. 3.12 Definition der Einschraubrichtung und der durchbohrten Astlänge

Bei Versuchen, die mit einem Schraubenbruch endeten, musste außerdem das Reststück der Schraube entfernt und gewogen werden, um die Masse der Darrprobe berichtigen zu können. Darüber hinaus wurden die aufgespaltenen Darrproben fotografisch dokumentiert.

### 3.2.6 Erweiterung des Prüfumfangs

Das in Abb. 3.13 (a) dargestellte Histogramm zeigt eine sehr ungleichmäßige Verteilung der Einschraubrichtung  $\beta$  aller ursprünglich geplanten und im Rahmen der Vorversuche durchgeführten Ausziehversuche. Eine Auswertung für die tangentielle Einschraubrichtung ist mit dieser geringen Menge an Daten nicht sinnvoll, weshalb der Prüfumfang erweitert wurde, vgl. Abb. 3.13 (b). Zu diesem Zweck wurden Pfosten, in denen die Markröhre größtenteils vorhanden war, verwendet, sodass vor allem im Bereich des Schraubengewindes eine annähernd tangentielle Einschraubrichtung  $\beta$  erreicht werden konnte. Diese Pfosten wurden der Trägergruppe III zugeordnet, um auch zu einem späteren Zeitpunkt die unterschiedlichen Ausgangshölzer getrennt betrachten zu können.



(a) für die ursprünglich geplanten Vorversuche (b) für alle Vorversuche als gestapeltes Histogramm  
 Abb. 3.13 Histogramme der Einschraubrichtung für die Daten aller Ausziehversuche

Bei diesen zusätzlichen Versuchen für die tangentielle Einschraubrichtung wurden wiederum die gleichen Parameter variiert, was zu den gleichen Versuchsserien führte. Zusätzlich wurden Prüfungen mit einem faserparallelen Abstand  $a_1$  von  $14 \cdot d$  geplant. In dieser Entfernung sollten sich die Schrauben gegenseitig kaum noch beeinflussen und die Ausziehfestigkeiten sollten mit denen der Einzelschrauben zunehmend übereinstimmen.

Aufgrund der geringen Dicke der Prüfkörper von nur etwa 75 mm kamen im Unterschied zu den Versuchen des ursprünglich geplanten Prüfumfanges die Schraubenspitzen bei gleicher Einbindetiefe außerhalb des Prüfkörpers zu liegen. Dieser Umstand ist bei der späteren Berechnung der axialen Ausziehfestigkeit  $f_{ax}$  zu berücksichtigen.

Da ausreichend Versuchsmaterial vorhanden war und die tatsächliche Anzahl der radialen Versuche mittlerweile gestiegen war, wurden für die zusätzlichen Versuche je Serie 30 Prüfungen festgelegt. In Tab. 3.9, Tab. 3.10 und Tab. 3.11 sind die Versuchsserien des erweiterten Prüfumfanges zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben, sowie der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  und  $a_2$  angegeben. Detaillierte Angaben zu deren Anordnung in den Prüfkörpern und zu den Abmessungen der Prüfkörper selbst sind im Anhang A unter Punkt „A.1.3 Erweiterter Prüfumfang“ angegeben.

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraubrichtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Trägergruppe
1p_1n_1_0d_t_A	30	tangential	41_M bis 70_M	III
1p_1n_1_0d_t_B	30	tangential	41_M bis 70_M	III

Tab. 3.9 zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit (Prüfkörper-Typ M)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
2p_1n_2_2d_t	30	tangential	41_L bis 70_L	III
2p_1n_2_3d_t	30	tangential	41_K bis 70_K	III
2p_1n_2_4d_t	30	tangential	41_L bis 70_L	III
2p_1n_2_5d_t	30	tangential	41_K bis 70_K	III
2p_1n_2_6d_t	30	tangential	41_L bis 70_L	III
2p_1n_2_7d_t	30	tangential	41_L bis 70_L	III
2p_1n_2_14d_t	30	tangential	41_K bis 70_K	III

Tab. 3.10 zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ K und L)

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
1p_2n_2_2d_t	30	tangential	41_M bis 70_M	III
1p_2n_2_3d_t	30	tangential	41_K bis 70_K	III
1p_2n_2_4d_t	30	tangential	41_M bis 70_M	III
1p_2n_2_5d_t	30	tangential	41_K bis 70_K	III

Tab. 3.11 zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_2$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ K und M)

## 3.3 Versuchsdaten

In diesem Abschnitt wird die Erfassung der Versuchsdaten und die Berechnung weiterer wichtiger Kenngrößen, welche für die Auswertung benötigt werden, beschrieben.

### 3.3.1 Datenerfassung

Alle während des Prüfens bzw. im Zuge der weiteren Bearbeitung gewonnen Daten wurden in eine Excel-Tabelle eingetragen, welche im Wesentlichen folgende Spalten beinhaltet:

- Versuchsbezeichnung, wie in Abschnitt „3.1.4 Versuchsbezeichnung“ beschrieben
- Abmessungen [mm] der Darrprobe (Breite, Länge, Höhe)
- Masse [g] der klimatisierten und der darrtrockenen Kleinprobe
- Jahringbreite [mm]
- Einschraubrichtung  $\beta$  [°]

- besondere Auffälligkeiten (Ast, Astlänge, Mark, Reaktionsholz, Ansammlung von Harz, Rindeneinschluss), wie in Abschnitt „3.2.5 Nachbearbeitung“ beschrieben

Weiters wurden der Feuchtegehalt [%], die Rohdichten [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] und die Ausziehfestigkeit [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ] in der genannten Tabelle, wie nachfolgend beschrieben, berechnet.

### 3.3.2 Feuchtegehalt

Der Feuchtegehalt  $u$  als Massenanteil in Prozent wurde gemäß ÖNORM EN 13183-1 [18] mit der in Glg. 3.1 angeführten Formel berechnet.

$$u = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad \text{Glg. 3.1}$$

Wobei  $u$  .....der Feuchtegehalt [%],

$m_1$  .....die Masse des Prüfkörpers vor dem Trocknen [g] und

$m_0$  .....die Masse des Prüfkörpers im darrtrockenen Zustand [g] ist.

### 3.3.3 Rohdichten

Bei den Rohdichten hat eine Unterscheidung zwischen der Normal-Rohdichte  $\rho_u$ , der Darr-Rohdichte  $\rho_0$  und der auf die Referenzholzfeuchte von 12% umgerechnete Rohdichte  $\rho_{12}$  zu erfolgen.

Gemäß ÖNORM ISO 3131 [24] berechnet sich „die Dichte  $\rho_u$  jedes Prüfkörpers mit Feuchtegehalt  $u$  zum Zeitpunkt der Prüfung [...]“ nach Glg. 3.2.

$$\rho_u = \frac{m_u}{a_u \cdot b_u \cdot l_u} = \frac{m_u}{V_u} \quad \text{Glg. 3.2}$$

Wobei  $\rho_u$  .....die Dichte des Prüfkörpers beim Feuchtegehalt  $u$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],

$m_u$  .....die Masse des Prüfkörpers beim Feuchtegehalt  $u$  [kg],

$a_u, b_u, l_u$  ...das jeweilige Maß des Prüfkörpers beim Feuchtegehalt  $u$  [m]  
und

$V_u$  .....das Volumen des Prüfkörpers beim Feuchtegehalt  $u$  [ $\text{m}^3$ ] ist.

„Die Dichte  $\rho_0$  jedes Prüfkörpers im absolut trockenen Zustand wird [...]“ entsprechend der in der ÖNORM ISO 3131 [24] angegebenen Formel berechnet, siehe Glg. 3.3.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot l_0} = \frac{m_0}{V_0} \quad \text{Glg. 3.3}$$

Wobei  $\rho_0$  .....die Dichte des Prüfkörpers im absolut trockenen Zustand [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  
 $m_0$  .....die Masse des Prüfkörpers im absolut trockenen Zustand [kg],  
 $a_0, b_0, l_0$  ...das jeweilige Maß des Prüfkörpers im absolut trockenen Zustand [m] und  
 $V_0$  .....das Volumen des Prüfkörpers im absolut trockenen Zustand [ $\text{m}^3$ ] ist.

In der ÖNORM EN 384 [23] ist unter Punkt „6 Rohdichte“ folgendes angeführt: „Wenn die Holzfeuchte mehr als 12% beträgt, ist die Rohdichte je Prozent Holzfeuchte um 0,5% zu verringern; wenn die Holzfeuchte weniger als 12% beträgt, ist die Rohdichte je Prozent Holzfeuchte um 0,5% zu erhöhen.“ Die Normal-Rohdichte  $\rho_u$  ist somit gemäß der in Glg. 3.4 angegebenen Formel auf die Dichte  $\rho_{12}$  umzurechnen.

$$\rho_{12} = \rho_u \cdot \left( 1 + (12 - u) \cdot \frac{0,5}{100} \right) \quad \text{Glg. 3.4}$$

Wobei  $\rho_{12}$  .....die auf die Referenzholzfeuchte von 12% umgerechnete Rohdichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  
 $\rho_u$  .....die Dichte des Prüfkörpers beim Feuchtegehalt  $u$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] und  
 $u$  .....der Feuchtegehalt [%] ist.

Für die nachfolgende Auswertung wurde stets die nach Glg. 3.4 auf eine Holzfeuchte von 12% umgerechnete Rohdichte verwendet.

### 3.3.4 Ausziehfestigkeit

Um die Berechnung der Ausziehfestigkeit vornehmen zu können, ist zunächst die effektive bzw. korrigierte Gewindelänge zu bestimmen. Diese ist für Schrauben, deren Schraubenspitze nicht im Prüfkörper zu liegen kommt, gleich der Eindringtiefe des Gewindeteils. Bei Prüfungen mit im Prüfkörper liegenden Schraubenspitzen erfolgte die Berechnung der korrigierten Gewindelänge unter Berücksichtigung des von Pirnbacher [8] angegebenen Einflusses der Schraubenspitze gemäß Glg. 2.4. Mit der nun bekannten effektiven Gewindelänge  $l_{ef}$  kann die Ausziehfestigkeit  $f_{ax}$  einer Schraube mit Glg. 3.5 ermittelt werden

$$f_{ax} = \frac{F_{max}}{n \cdot l_{ef} \cdot d \cdot \pi} \quad \text{Glg. 3.5}$$

Wobei  $f_{ax}$  .....die axiale Ausziehfestigkeit je Schraube [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ],  
 $F_{max}$  ...die maximale Prüfkraft des jeweiligen Versuchs [N],  
 $n$  .....die Gesamtanzahl der Schrauben des jeweiligen Versuchs [-],

$l_{ef}$  .....die effektive Gewindelänge [mm] und

$d$  .....der Außendurchmesser der Schraube [mm] ist.

### 3.3.5 Bereinigung des Datensatzes

Für die Auswertung der Ausziehversuche wurden zunächst all jene Prüfungen bei denen kein Ausziehversagen, d.h. beispielsweise ein Schraubenbruch, auftrat ausgeschlossen. Hingegen wurden bei den Eindrehversuchen alle Prüfungen und somit auch jene, bei denen es zu einem Stahlbruch der Schraube kam, für die Auswertung verwendet. Dies verkleinerte den ursprünglichen Gesamtdatensatz der 950 Vorversuche auf den reduzierten Gesamtdatensatz mit insgesamt 918 Prüfungen, was einer Reduktion um 3,4% entspricht. In weiterer Folge musste der bereits reduzierten Gesamtdatensatz auf die verwertbaren Daten eingeschränkt werden. Dazu wurden verschiedene Merkmale untersucht und Ausschlussgründe definiert.

Jene Prüfungen, wo sich ein Rindeneinschluss in der Darrprobe befand, wurden aufgrund ihrer geringen Anzahl von nur fünf Stück ohne nähere Betrachtung ausgeschlossen. Alle weiteren Kriterien wurden mit Hilfe von Streudiagrammen, in denen für die verbliebenen 913 Prüfungen die Ausziehfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>] über der Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] dargestellt ist, detaillierter untersucht. Dabei wurden die unterschiedlichen Merkmale farblich gekennzeichnet, sodass eine Beurteilung der Verteilung der unterschiedlichen Merkmale erfolgen konnte.

#### 3.3.5.1 Merkmal „Ast“

Im in Abb. 3.14 dargestellten Streudiagramm sind jene Prüfungen, die eine Anmerkung zum Merkmal „Ast“ aufweisen, farblich gekennzeichnet. Bei 3,3% der 913 verbliebenen Prüfungen wurde durch einen Ast geschraubt, bei 5,0% wurde ein Ast berührt und bei 6,1% wurde an einem Ast vorbeigeschraubt. Es ist zu erkennen, dass die Prüfungen, bei denen durch einen Ast geschraubt wurde bzw. die Schraube einen Ast auch nur berührt hat, im Vergleich zur Gesamtmenge eine etwas höhere Ausziehfestigkeit aufweisen. Daher wurden die Prüfungen mit den beiden genannten Eigenschaften von der zur Auswertung herangezogenen Datenmenge ausgeschlossen, was den Datensatz um 8,3% verkleinerte.

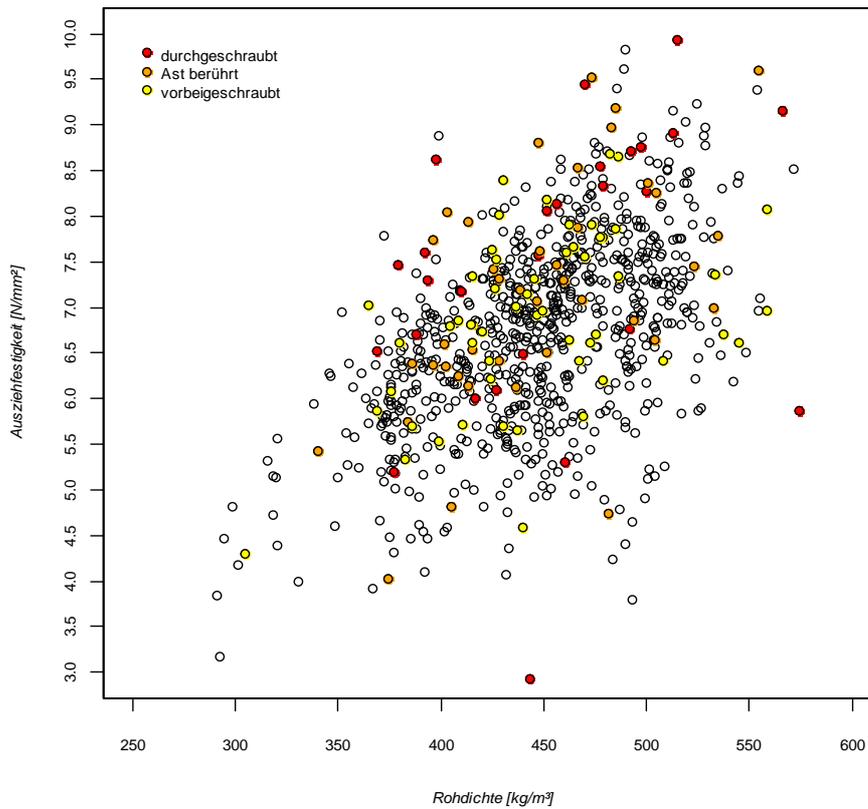


Abb. 3.14 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ast“

### 3.3.5.2 Merkmal „Mark“

Im in Abb. 3.15 gezeigten Streudiagramm sind jene Prüfungen farblich markiert, die eine Anmerkung zum Merkmal „Mark“ aufweisen. Das Merkmal wurde bei 1,3% der verbliebenen Vorversuche von zumindest einer Schraube durchbohrt bzw. bei 2,0% wurde daran vorbeigeschraubt. Es ist zu erkennen, dass die Punkte aller Versuche, bei denen eine entsprechende Anmerkung gemacht wurde, mehr oder weniger gleichmäßig über die Gesamtmenge der durchgeführten Versuche verteilt liegen. Daher ist aufgrund des Merkmals „Mark“ kein Versuch aus der Auswertung zu nehmen.

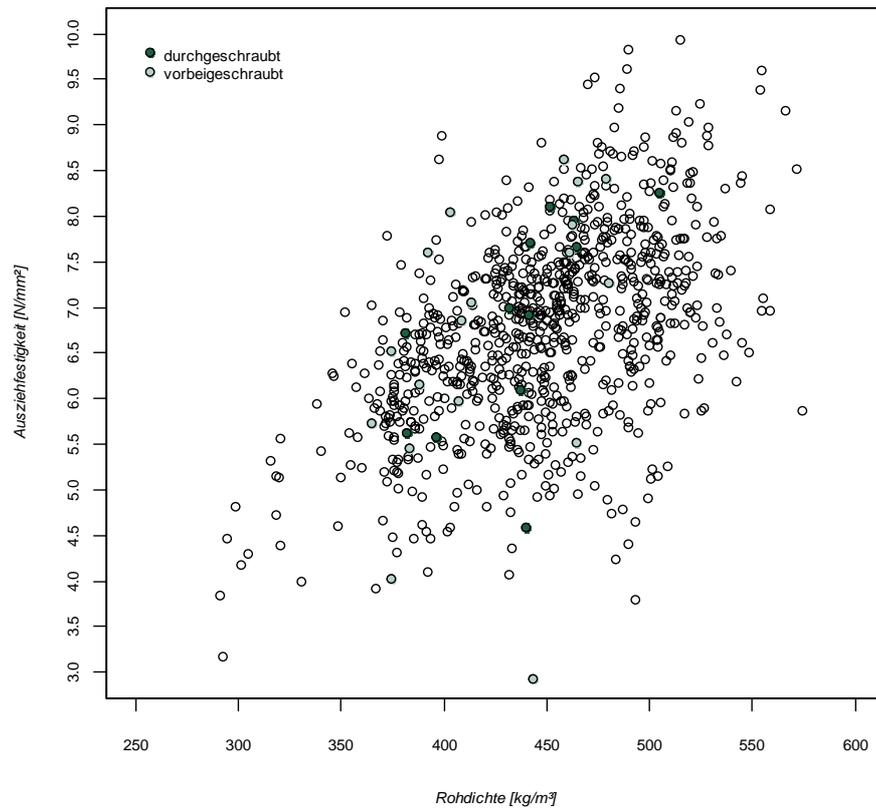


Abb. 3.15 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Mark“

### 3.3.5.3 Merkmal „Reaktionsholz“

Bei 51,9% der Prüfungen wurde eine Anmerkung zum Merkmal „Reaktionsholz“ gemacht. Diese Versuche sind im in Abb. 3.16 dargestellten Streudiagramm farblich gekennzeichnet. Man kann sehen, dass die Punkte aller Versuche mit einer entsprechenden Anmerkung gleichmäßig über die Gesamtmenge verteilt liegen. Somit ist auch aufgrund des Merkmals „Reaktionsholz“ keine Prüfung von der Auswertung auszuschließen.

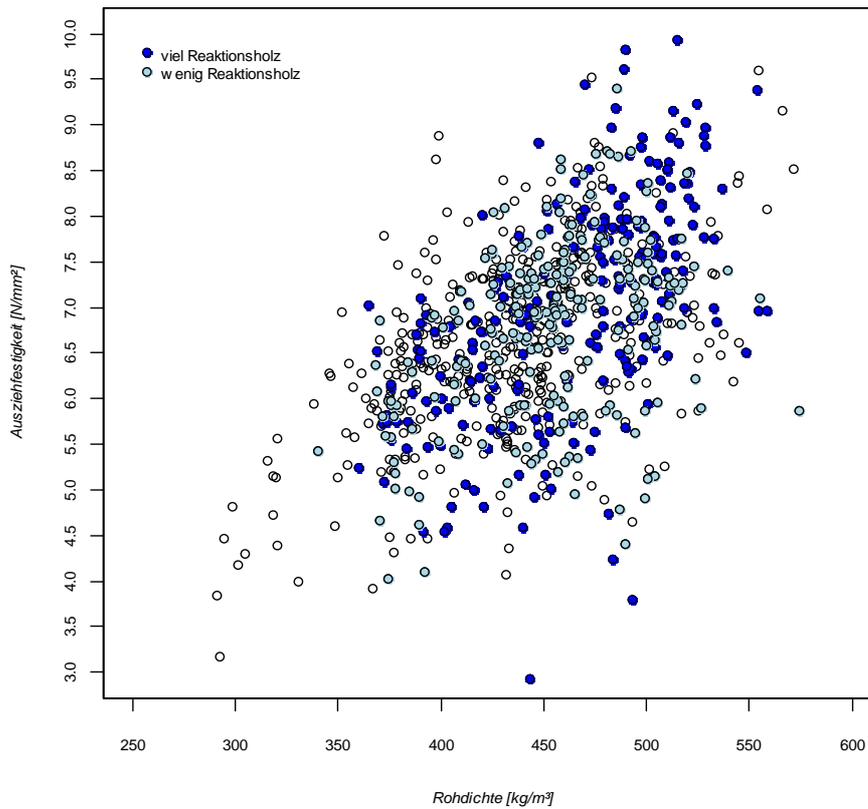


Abb. 3.16 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Reaktionsholz“

### 3.3.5.4 Merkmal „Ansammlung von Harz“

Das in Abb. 3.17 dargestellte Streudiagramm zeigt jene Prüfungen farblich hinterlegt, bei denen eine Anmerkung zum Merkmal „Ansammlung von Harz“ gemacht wurde. Insgesamt waren 6,0% der 913 Versuche von Harzansammlungen betroffen. Die markierten Prüfungen liegen mehr oder weniger gleichmäßig über die Gesamtmenge verteilt. Es ist daher kein Versuch aufgrund des Merkmals „Ansammlung von Harz“ aus der Auswertung zu nehmen.

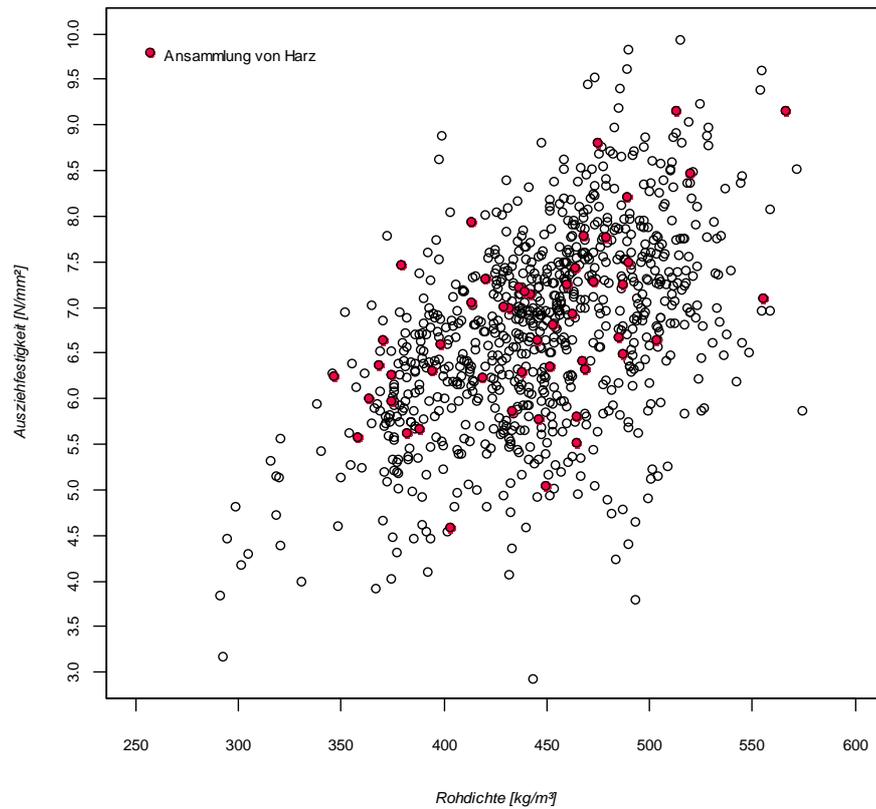


Abb. 3.17 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ansammlung von Harz“

### 3.3.5.5 Merkmal „Aufspalten des Prüfkörpers“

Im in Abb. 3.18 dargestellten Streudiagramm sind jene Prüfungen, die eine Anmerkung zum Merkmal „Aufspalten des Prüfkörpers“ aufweisen, farblich hinterlegt. Es ist zu sehen, dass die gekennzeichneten Prüfungen im Vergleich zur Gesamtmenge der durchgeführten Versuche eine geringere Ausziehfestigkeit aufweisen. Daher wurden die Prüfungen mit einer Anmerkung zum Merkmal „Aufspalten des Prüfkörpers“ von den Daten für die Auswertung ausgeschlossen. Dies verkleinerte die Datenmenge um 2,7%.

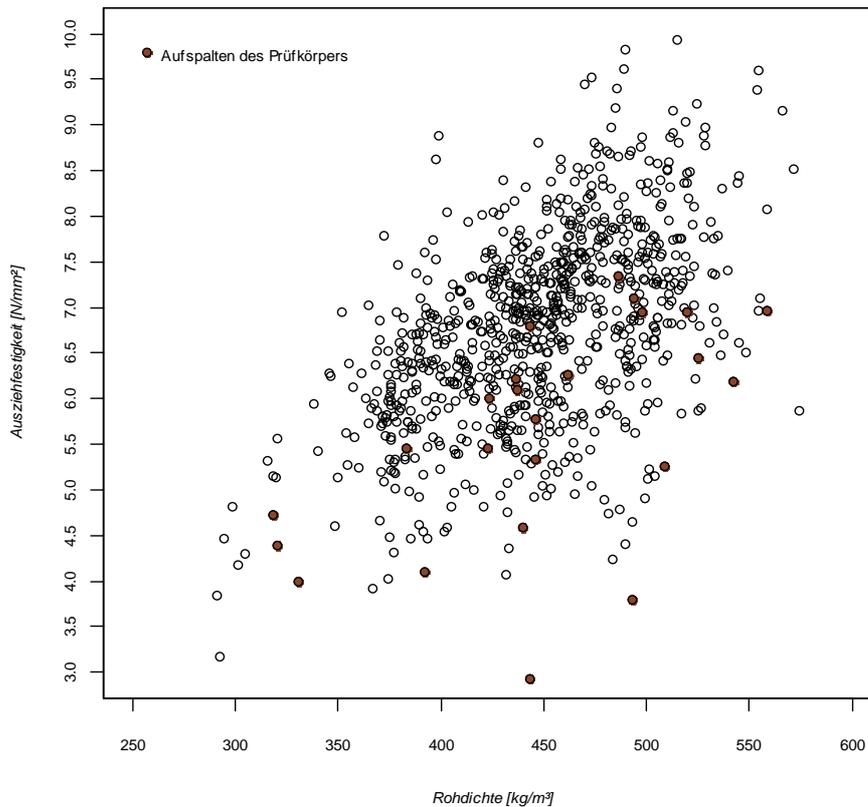


Abb. 3.18 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Aufspalten des Prüfkörpers“

## 3.4 Auswertung

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse der Vorversuche dargestellt. Die Auswertung der Vorversuche und die graphische Darstellung erfolgte mit dem Programm R version 2.10.1 (2009-12-14) auf Basis des bereinigten Datensatzes, welcher sich aus 745 Auszieh- und 64 Eindrehversuchen zusammensetzt.

### 3.4.1 Rohdichte

Ein Histogramm aller für die Auswertung der Vorversuche herangezogenen 809 Prüfungen ist für die auf eine Holzfeuchte von 12% umgerechnete Rohdichte  $\rho_{12}$  in Abb. 3.19 dargestellt, wobei das arithmetische Mittel  $\rho_{12,mean} = 446,7 \text{ kg/m}^3$ , die minimale Rohdichte  $\rho_{min} = 291,4 \text{ kg/m}^3$  und die maximale Rohdichte  $\rho_{max} = 575,8 \text{ kg/m}^3$  betragen. Die Standardabweichung beträgt  $47,4 \text{ kg/m}^3$  und somit errechnet sich der Variationskoeffizient zu 10,6%.

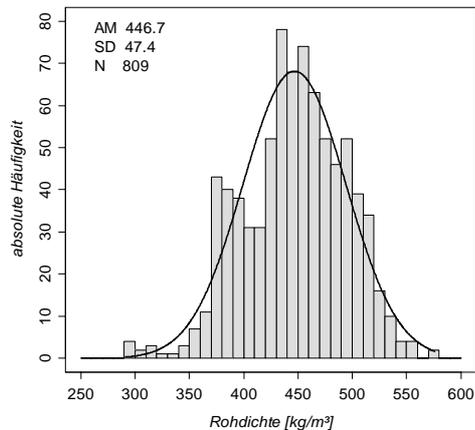
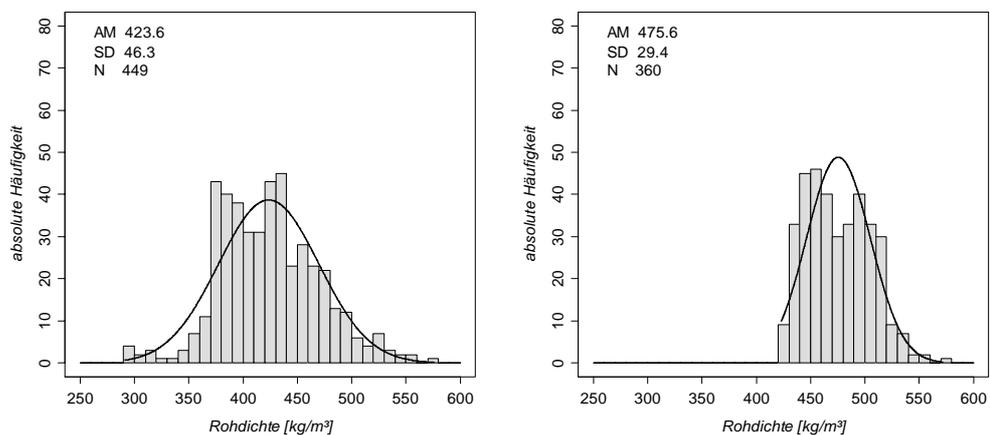


Abb. 3.19 Histogramm der umgerechneten Rohdichte

Die DIN 68364 [15] gibt für die Holzart Fichte einen Variationskoeffizienten von 9,7% an. Mit 10,6% liegt der tatsächliche Variationskoeffizient der Rohdichten etwas höher. Als Ursache dafür wäre das unterschiedliche Ausgangsmaterial für die Versuche des erweiterten Prüfumfanges denkbar. Diese erste Vermutung wird jedoch nicht bestätigt, wenn man die Rohdichten für den ursprünglich geplanten und den erweiterten Prüfumfang getrennt betrachtet, vgl. Abb. 3.20 (a) und (b). Demnach betragen die Variationskoeffizienten 10,9% bzw. 6,2%, was eine starke Streuung der Rohdichten in den Trägergruppen I und II, sowie eine deutlich geringere Variation innerhalb der Gruppe III bedeutet. Die homogenere Verteilung der umgerechneten Rohdichte der Prüfungen in den Trägern der Gruppe III ist darauf zurückzuführen, dass die später zugekauften Pfosten als Tischlerware deklariert waren.



(a) ursprünglich geplanter Prüfumfang

(b) erweiterter Prüfumfang

Abb. 3.20 Histogramme der umgerechneten Rohdichte je Prüfumfang

Der Bereich, in dem die Mittelwerte der umgerechneten Rohdichte bei einer Holzfeuchte von 12% gewöhnlich liegen, ist in der ÖNORM EN 350-2 [22] für die Holzart Fichte mit 440 – **460** – 470 kg/m<sup>3</sup>, im Holz-Lexikon [6] unter „Fichten“ mit 450 kg/m<sup>3</sup> und von Schmidt [12] mit 470 kg/m<sup>3</sup> angegeben. Die arithmetischen Mittel der beiden Ausgangsmaterialien liegen mit 423,6 kg/m<sup>3</sup> und 475,6 kg/m<sup>3</sup> etwas außerhalb des angegebenen Bereiches. Der Mittelwert der Rohdichte  $\rho_{12,mean}$  aller Vorversuche kommt mit

446,7 kg/m<sup>3</sup> hingegen in diesem Bereich zu liegen, vgl. Abb. 3.19.

Wie in den beiden Histogrammen der Abb. 3.20 zu erkennen ist, liegt der arithmetische Mittelwert der umgerechneten Rohdichte bei den Versuchen des erweiterten Prüfumfanges, d.h. bei den Prüfkörpern der Trägergruppe III, deutlich über jenem der ursprünglich geplanten Versuche. Abb. 3.21 zeigt die Verteilungen der umgerechneten Rohdichten für die verschiedenen Versuchsserien getrennt nach den unterschiedlichen Trägergruppen und verdeutlicht die Tatsache, dass die Rohdichten in den Prüfkörpern der Trägergruppe III durchwegs über jenen der Gruppen I und II liegen.

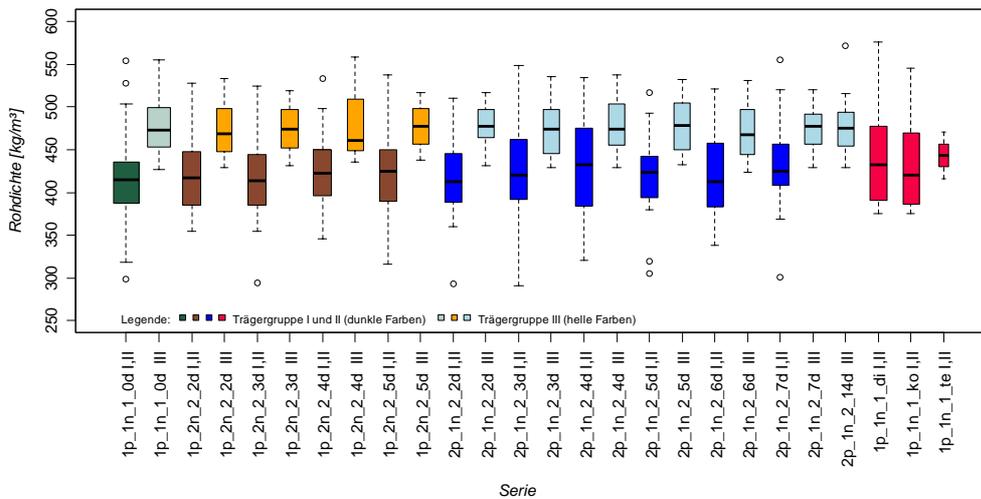


Abb. 3.21 Box-Plots der umgerechneten Rohdichte je Versuchsserie und Trägergruppe

### 3.4.2 Feuchtegehalt

Abb. 3.22 zeigt ein Histogramm des Feuchtegehalts. Der Mittelwert  $u_{\text{mean}}$  aller Werte beträgt 13,1%, der Minimalwert  $u_{\text{min}} = 10,3\%$  und der Maximalwert  $u_{\text{max}} = 15,3\%$ . Mit einer Standardabweichung von 0,7% ergibt sich ein Variationskoeffizient von 5,6%.

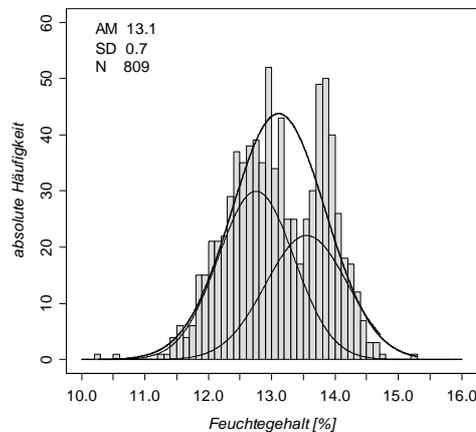


Abb. 3.22 Histogramm des Feuchtegehalts

Betrachtet man den Feuchtegehalt wiederum getrennt nach dem verwendeten Holz, so

liegen auch die Feuchtegehalte der Prüfungen in Prüfkörpern der Trägergruppe III deutlich über den Werten der anderen beiden Gruppen, vgl. Abb. 3.22 bzw. Abb. 3.23. Das arithmetische Mittel des Feuchtegehalts aller ursprünglich geplanten Versuche liegt demnach bei 12,8% und jenes des erweiterten Prüfumfangs um 0,8% höher bei 13,6%. Die Variationskoeffizienten als Maß für die Streuung sind mit 4,7% bzw. 4,8% für beide Holzarten ähnlich groß.

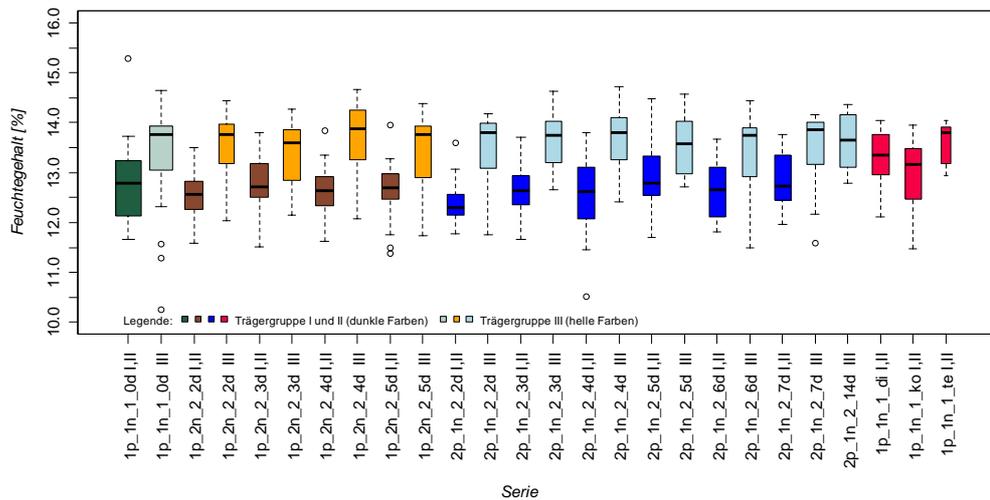


Abb. 3.23 Box-Plots des Feuchtegehalts je Versuchsserie und Trägergruppe

### 3.4.3 Jahrringbreite

In Abb. 3.24 sind Box-Plots der Jahrringbreite für die einzelnen Versuchsserien getrennt nach dem Ausgangsmaterial dargestellt. Man kann deutlich erkennen, dass die Träger der Gruppe III stets engere Jahrringe aufweisen als die Versuche des ursprünglich geplanten Prüfumfangs, was gemeinsam mit den höheren Feuchtegehalten aus Abb. 3.23 die ebenfalls höheren Rohdichten in Abb. 3.21 erklärt.

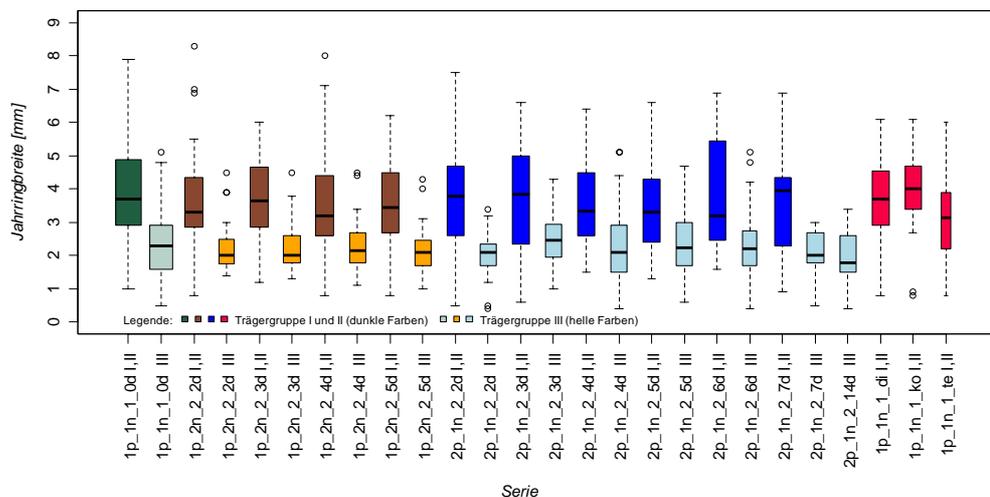


Abb. 3.24 Box-Plots der Jahrringbreite je Versuchsserie und Trägergruppe

### 3.4.4 Ausziehfestigkeit einer Schraube

In diesem Abschnitt wird auf die Prüfserien mit Einzelschrauben eingegangen. Die mit Glg. 3.5 berechneten Ausziehfestigkeiten  $f_{ax}$  sind in Abb. 3.25 in Form von Box-Plots getrennt nach der aufgenommenen Einschraubrichtung dargestellt. Tab. 3.12 gibt die Anzahl der Prüfungen, die im jeweiligen Box-Plot enthalten sind, an. Die Mittelwerte der Ausziehfestigkeiten für die tangentielle und die radiale Einschraubrichtung  $\beta$  liegen mit  $7,3 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $7,2 \text{ N/mm}^2$  eng zusammen. Da auch die mittlere Ausziehfestigkeit der Prüfungen mit einem Winkel  $\beta$  zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  mit  $6,9 \text{ N/mm}^2$  nur gering kleiner ist, kann für die weitere Auswertung die Unterscheidung zwischen den beiden Einschraubrichtungen entfallen. Somit können auch jene Versuche, die eine Einschraubrichtung  $\beta$  größer  $30^\circ$  und kleiner  $60^\circ$  aufweisen, in die Auswertung einbezogen werden.

Dadurch wird die Anzahl der auszuwertenden Prüfungen auf insgesamt 131 angehoben, was zu der in Abb. 3.25 etwas dunkler gezeigten Verteilung führt. Die Ausziehfestigkeiten für alle Prüfungen mit Einzelschrauben weisen einen Mittelwert  $f_{ax, \text{single}, \text{mean}}$  von  $7,2 \text{ N/mm}^2$  auf. Der Minimalwert  $f_{ax, \text{single}, \text{min}}$  liegt bei  $4,8 \text{ N/mm}^2$  und der Maximalwert  $f_{ax, \text{single}, \text{max}}$  bei  $9,4 \text{ N/mm}^2$ . Mit einer Standardabweichung von  $0,83 \text{ N/mm}^2$  ergibt sich ein Variationskoeffizient von  $11,6\%$ .

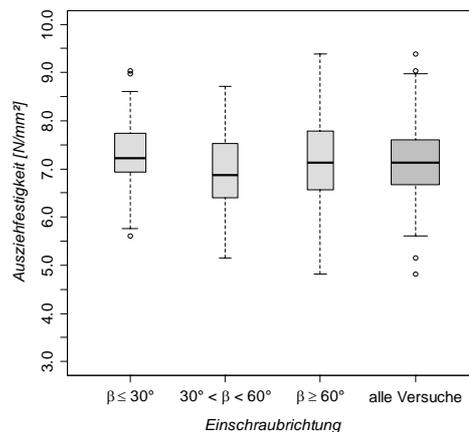
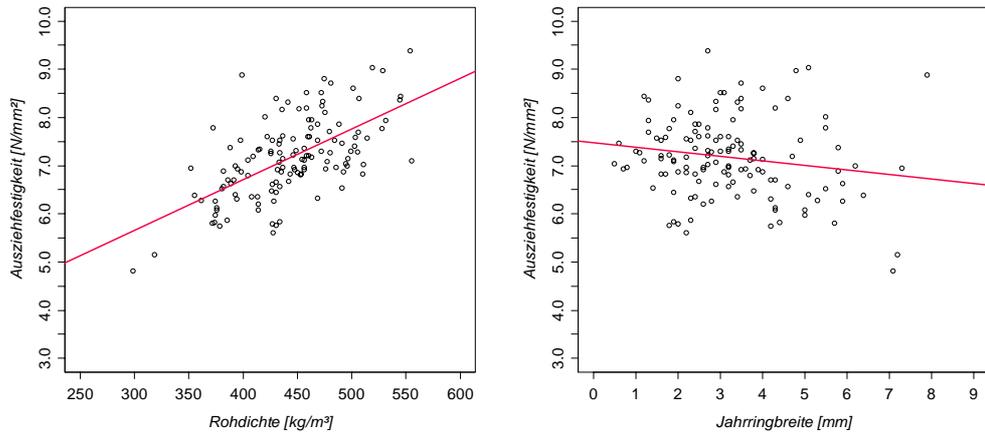


Abb. 3.25 Box-Plots der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben je Einschraubrichtung

Eindrehrichtung	$\beta \leq 30^\circ$	$30^\circ < \beta < 60^\circ$	$\beta \geq 60^\circ$	alle Versuche
Versuchszahl	56	36	39	131

Tab. 3.12 Anzahl der Versuche mit Einzelschrauben je Einschraubrichtung

Betrachtet man das in Abb. 3.26 (a) dargestellte Streudiagramm, bei dem die Ausziehfestigkeit über der umgerechnete Rohdichte aufgetragen ist, so kann man eine deutliche Zunahme der Ausziehfestigkeit mit steigender Rohdichte feststellen. Mit dem in Abb. 3.26 (b) gezeigten Streudiagramm, in dem auf der Abszisse die Jahrringbreite aufgetragen ist, zeigt sich eine Abnahme der Ausziehfestigkeit mit größer werdender Jahrringbreite. Der Grund dafür ist der mit zunehmender Jahrringbreite sinkende Spätholzanteil, welcher einen großen Einfluss auf die Rohdichte des Holzes hat, vgl. „Frühholz und Spätholz“ bzw. „Jahrringbreite“, sowie „Spätholzanteil“ im Holz-Lexikon [6], [7].



(a) in Abhängigkeit von der Rohdichte (b) in Abhängigkeit von der Jahrringbreite  
 Abb. 3.26 Streudiagramme zur Untersuchung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben

### 3.4.5 Erforderliche Mindestabstände

Der Abstand zwischen zwei benachbarten Schrauben wurde anhand von Box-Plots untersucht, wobei zwischen dem Abstand parallel bzw. normal zur Faser unterschieden wurde. Dazu wurden die Ausziehfestigkeiten auf den Median der Ausziehfestigkeiten der Versuche mit Einzelschrauben bezogen, d.h. gemäß Glg. 3.6 berechnet.

$$f_{ax, bez} = \frac{f_{ax}}{f_{ax, single, median}} \tag{Glg. 3.6}$$

Wobei  $f_{ax, bez}$  die bezogene Ausziehfestigkeit je Schraube [-],

$f_{ax}$  .....die tatsächliche Ausziehfestigkeit je Schraube [N/mm²] und

$f_{ax, single, median}$  ...der Median der Ausziehfestigkeiten aller Versuche mit Einzelschrauben [N/mm²] ist.

Tab. 3.13 gibt einen Überblick über die zur Auswertung vorhandene Datenmenge je Abstand parallel und normal zur Faser.

Abstand	single	2d	3d	4d	5d	6d	7d	14d
parallel zur Faser	131	61	60	57	57	51	57	27
normal zur Faser		63	61	62	58	-	-	-

Tab. 3.13 Anzahl der Versuche je Abstand (parallel bzw. normal)

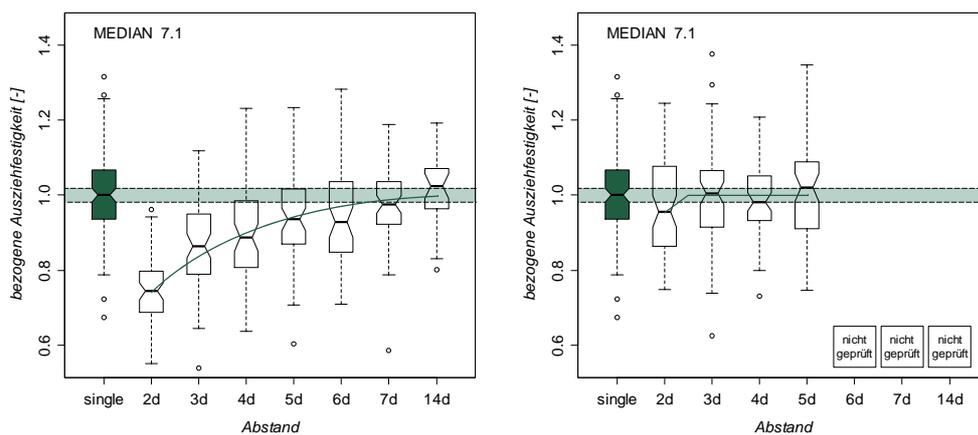
Abb. 3.27 (a) und (b) zeigen die Auswertung der Ausziehfestigkeiten für alle Prüfungen getrennt nach den unterschiedlichen Schraubenabständen  $a_1$  bzw.  $a_2$ . Der Box-Plot jener Prüfungen mit einer Einzelschraube dient als Referenz und ist im Diagramm farblich hervorgehoben.

In Bild (a) sind die Prüfungen mit in Faserrichtung hintereinander liegenden Schrauben

ausgewertet und es ist zu erkennen, dass die Einschnürungen bei den Versuchen mit einem Abstand  $a_1$  größer gleich  $7 \cdot d$  innerhalb des hervorgehobenen Bereiches, welcher die Einschnürungen im Box-Plot der Referenzversuche markiert, liegen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mediane bei den genannten Schraubenabständen nicht signifikant vom Median der Referenzversuche unterscheiden. Weiters ist zu sehen, dass auch die Mediane der Prüfungen mit einem Abstand  $a_1$  von  $5 \cdot d$  bzw.  $6 \cdot d$  bereits deutlich höher liegen als bei Versuchen mit einem geringeren Abstand.

Bei den in Bild (b) veranschaulichten Versuchen mit variierendem Schraubenabstand  $a_2$  normal zur Faserrichtung ist der Median lediglich bei den Prüfungen mit einem Abstand von  $2 \cdot d$  etwas geringer. Die Einschnürung im Box-Plot kommt jedoch innerhalb des markierten Referenzbereiches zu liegen und es kann somit davon ausgegangen werden, dass sich normal zu Faserrichtung nebeneinander liegende Schrauben kaum beeinflussen.

Die in den nachstehenden Diagrammen gezeigte Linie wurde händisch eingetragen und dient zur Veranschaulichung des Trends, welcher sich für die unterschiedlichen Abstände zwischen den Schrauben ergibt.



(a) Abstand  $a_1$  parallel zur Faser

(b) Abstand  $a_2$  normal zur Faser

Abb. 3.27 Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit je Abstand (parallel bzw. normal)

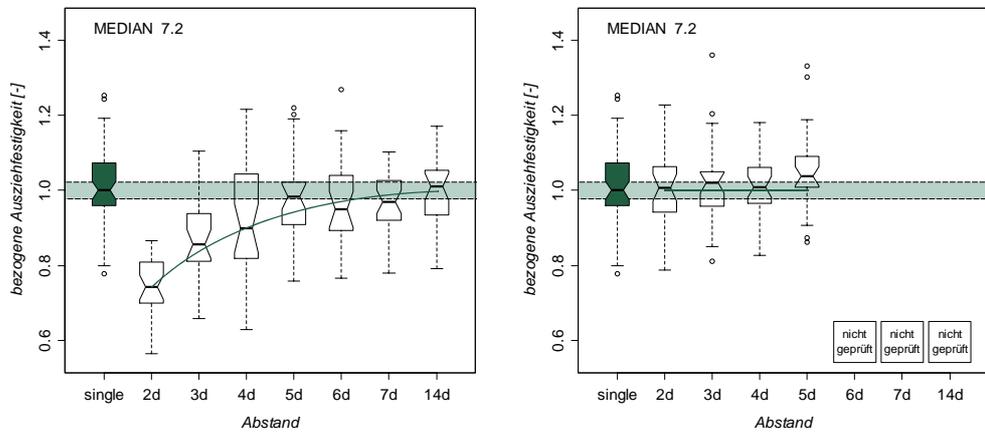
Nachstehend werden die Abstände von Schraubenpaaren getrennt nach den beiden definierten Einschraubrichtungen betrachtet.

Abb. 3.28 (a) und (b) zeigen die Auswertung der Ausziehfestigkeiten für die Versuche mit tangentialer Einschraubrichtung ( $\beta \leq 30^\circ$ ). Der Box-Plot der Referenzversuche mit nur einer Schraube ist wiederum farblich hinterlegt.

In Bild (a) sind die Versuche mit variierendem faserparallelen Abstand dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Einschnürungen bei einem Abstand  $a_1$  von  $5 \cdot d$  und mehr innerhalb des hervorgehobenen Bereiches, welcher die Einschnürungen im Box-Plot der Referenzversuche markiert, liegen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mediane bei den genannten Schraubenabständen nicht signifikant vom Median der Referenzversuche unterscheiden.

Bei den in Bild (b) veranschaulichten Versuchen mit variierendem Schraubenabständen

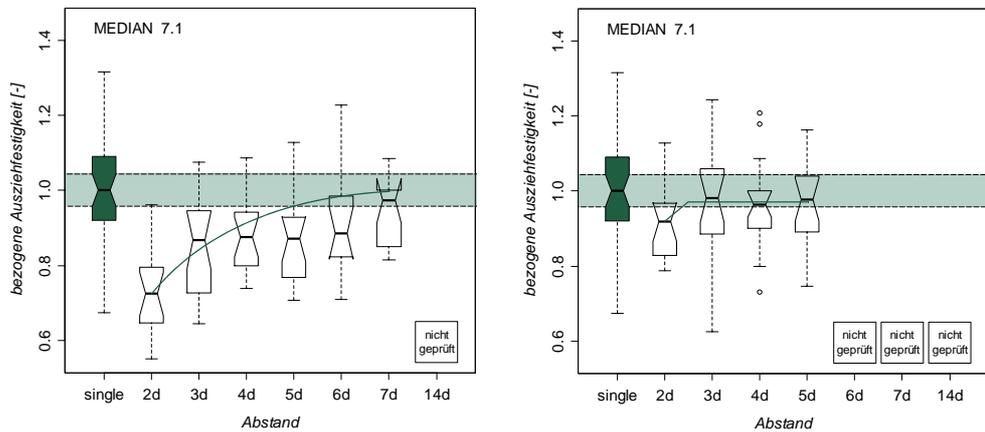
$a_2$  normal zur Faserrichtung ist bei keinem Abstand ein Abfall der Ausziehfestigkeiten zu erkennen, d.h. normal zur Faserrichtung nebeneinander liegende Schrauben beeinflussen sich gegenseitig nicht.



(a) Abstand  $a_1$  parallel zur Faser (b) Abstand  $a_2$  normal zur Faser

Abb. 3.28 Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit je Abstand (parallel bzw. normal) für die tangentielle Einschraubrichtung

Ein ähnliches Verhalten ist in Abb. 3.29 (a) und (b) für die Versuche mit radialer Einschraubrichtung ( $\beta \geq 60^\circ$ ) zu erkennen. Schrauben, die in einem Abstand parallel zur Faser nebeneinander liegen, beeinflussen sich ab einem Abstand von 7-d und mehr immer weniger. Für Abstände normal zur Faser ist wiederum kein eindeutiger Abfall der Ausziehfestigkeiten ersichtlich.



(a) Abstand  $a_1$  parallel zur Faser (b) Abstand  $a_2$  normal zur Faser

Abb. 3.29 Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit je Abstand (parallel bzw. normal) für die radiale Einschraubrichtung

Zusammenfassend sei festgehalten, dass auch bei getrennter Betrachtung der tangentialen und radialen Einschraubrichtung ein sehr ähnliches Verhalten betreffend die Mindestabstände zu beobachten ist, sodass die zuvor getroffene Aussage, wonach sich die radiale bzw. tangentiale Einschraubrichtung nur minimal auf das Ausziehverhalten auswirkt, bestätigt wird.

### 3.4.6 Vergleich der Ausziehfestigkeiten aller Vorversuche

Im in Abb. 3.30 gezeigten Diagramm sind die Box-Plots je Versuchsserie für die Ausziehfestigkeit dargestellt. Neben dem in Abschnitt „3.4.5 Erforderliche Mindestabstände“ behandelten Abfall der Ausziehfestigkeit bei kleineren Schraubenabständen ist auch ein Unterschied zwischen den Versuchen mit dem Holz des ursprünglich geplanten Prüfumfanga und des erweiterten Umfangs zu erkennen. So liegen die Mediane der Ausziehfestigkeiten bei jenen Prüfungen der Trägergruppe III in allen Fällen über den vergleichbaren Werten der Prüfkörper aus den Trägergruppen I und II.

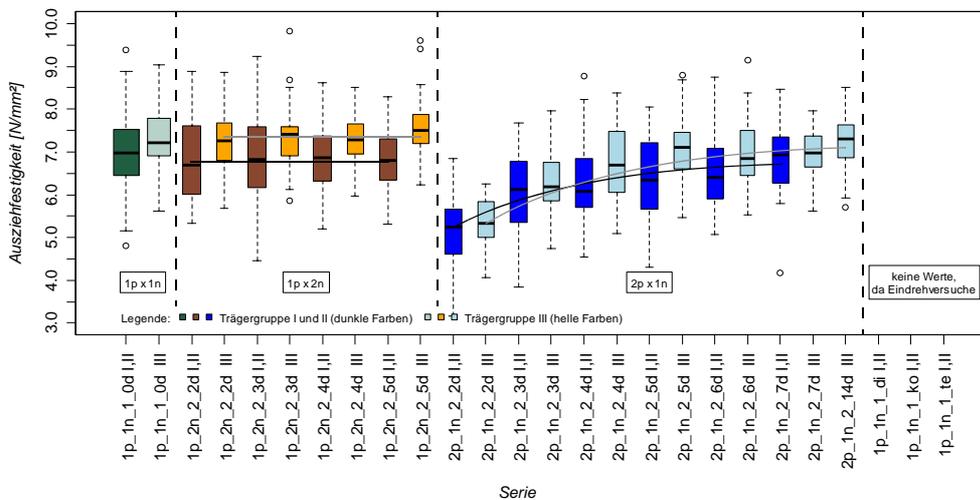


Abb. 3.30 Box-Plots der Ausziehfestigkeit je Versuchsserie und Trägergruppe

### 3.4.7 Anpresskraft einer Schraube in Abhängigkeit vom Drehmoment

Im in Abb. 3.31 dargestellten Streudiagramm ist die momentane Anpresskraft der Schraube [kN] über der jeweiligen Drehmomentstufe, d.h. über dem zugehörigen Drehmoment [Nm], aufgetragen. Betrachtet man die unterschiedliche Art des Eindrehens, so ist zu erkennen, dass bei ein und derselben Drehmomentstufe die Anpresskraft bei stufenweise eingedrehten Schrauben tendenziell etwas höher liegt als bei kontinuierlich eingedrehten Schrauben.

Vergleicht man nun die Anpresskräfte je Versagensart miteinander, so ist zu sehen, dass bei jenen Prüfungen mit einem Schraubenbruch die Werte unter jenen der Versuche mit einem Ausziehversagen der Schraube liegen. Dieser Umstand war nicht anders zu erwarten, denn ein Schraubenbruch, d.h. ein Überschreiten des Bruchdrehmoments der Schraube, kann sich naturgemäß nur dann einstellen, wenn nicht zuvor bereits die Ausziehfestigkeit der Schraube überschritten wurde.

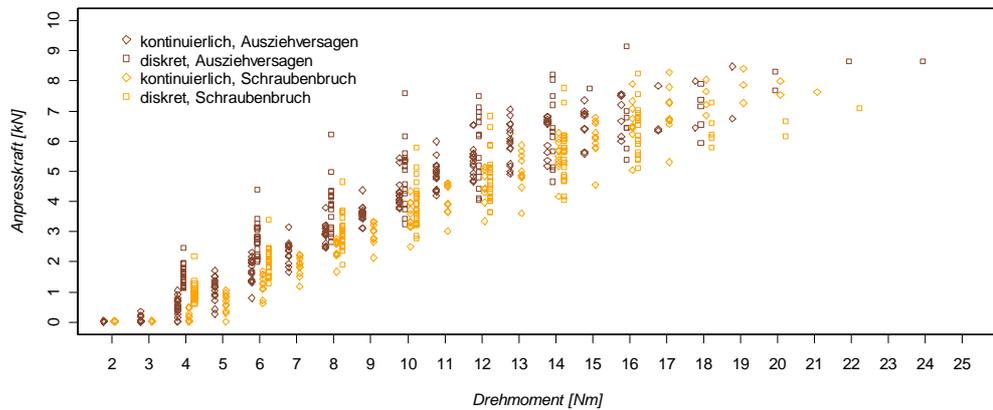


Abb. 3.31 Streudiagramm der momentanen Anpresskraft über der zugehörigen Drehmomentstufe

Der Einfluss der Rohdichte wurde anhand des in Abb. 3.32 dargestellten Diagramms untersucht. Dabei ist die momentane Anpresskraft [kN] über der umgerechneten Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] aufgetragen. Den Scharparameter bilden die Drehmomentstufen, wobei jeweils zwei Stufen zusammengefasst und gemeinsam abgebildet sind. Aufgrund ihrer geringen Anzahl, vgl. Tab. 3.14, wurden die Versuche, bei denen ein Drehmoment größer gleich 20 Nm aufgebracht wurde, für die Darstellung nicht berücksichtigt. Das Diagramm zeigt, dass beim Aufbringen eines bestimmten Drehmoments die Anpresskraft bei Prüfkörpern höherer Rohdichte geringer ausfällt.

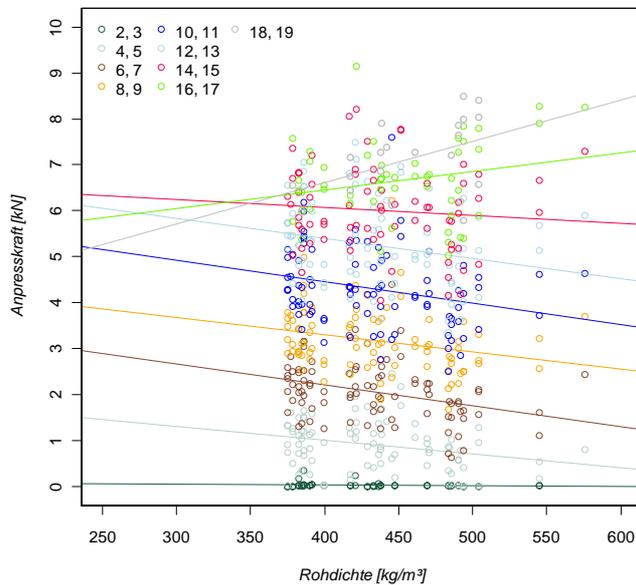


Abb. 3.32 Streudiagramm zur Untersuchung der umgerechneten Rohdichte

Drehmomentstufe [Nm]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Anzahl je Stufe	25	25	64	25	64	25	64	25	64	25	61	25
Anzahl je zwei Stufen	50		89		89		89		89		86	

Tab. 3.14 Anzahl der Werte für die momentane Anpresskraft je Drehmomentstufe

Drehmomentstufe [Nm]	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Anzahl je Stufe	52	20	41	12	16	5	6	1	2	0	1	0
Anzahl je zwei Stufen	72		53		21		7		2		1	

Tab. 3.14 Anzahl der Werte für die momentane Anpresskraft je Drehmomentstufe

Betrachtet man hingegen die Anpresskraft [kN] in Abhängigkeit von der umgerechneten Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] getrennt nach der Versagensform, wie in Abb. 3.33 und Abb. 3.34 dargestellt, so ist jedoch kein deutlicher Abfall der Anpresskraft mit zunehmender Rohdichte der Prüfkörper ersichtlich. Ein möglicher Grund liegt in der Tatsache, dass die Werte der Rohdichte der einzelnen Prüfungen weniger streuen und somit auch ihre Auswirkung auf die Anpresskraft nicht so deutlich ausfällt.

Vergleicht man die Diagramme aus Abb. 3.33 und Abb. 3.34 miteinander, so ist zu sehen, dass bei Versuchen, welche in Prüfkörpern höherer Rohdichte durchgeführt wurden, die Versagensform Schraubenbruch häufiger auftritt als bei jenen mit geringerer Rohdichte. Dieses Verhalten war zu erwarten, da bei einer höheren Rohdichte ein größeres Drehmoment zum Eindrehen der Schraube erforderlich ist und somit das Bruchdrehmoment der Schraube eher überschritten wird als bei Prüfkörpern mit geringerer Rohdichte.

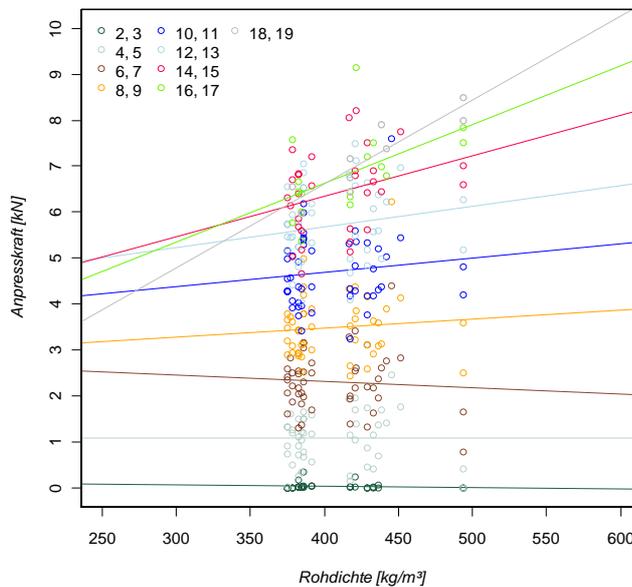


Abb. 3.33 Streudiagramm zur Untersuchung der umgerechneten Rohdichte für Versuche mit Ausziehversagen

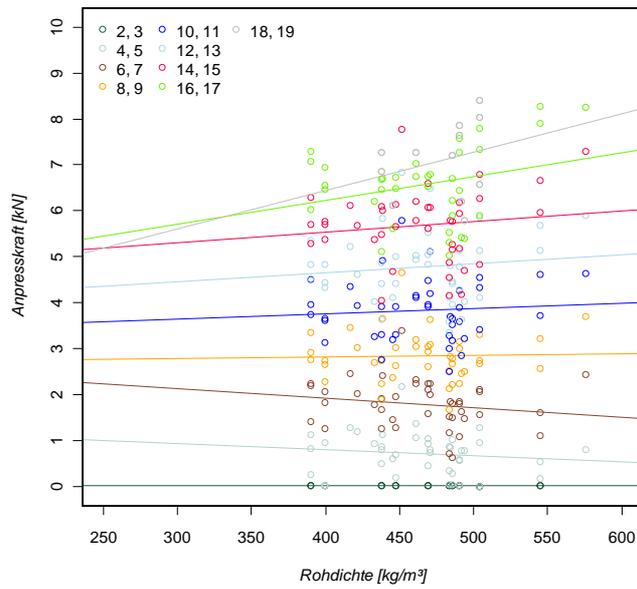


Abb. 3.34 Streudiagramm zur Untersuchung der umgerechneten Rohdichte für Versuche mit Schraubenbruch



## 4 Hauptversuche

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Hauptversuchen und den daraus gewonnen Erkenntnissen betreffend die Gruppenwirkung von auf axialen Zug beanspruchten Holzschrauben.

### 4.1 Versuchsplanung

Die Planung der Hauptversuche umfasste im Wesentlichen die Entwicklung einer entsprechenden Versuchskonfiguration unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Vorversuche, wobei die verwendeten Schrauben, das verwendete Holz, sowie die Prüfvorrichtung weitestgehend beibehalten wurden.

#### 4.1.1 Prüfmaschine, Versuchsmaterial, Versuchsbezeichnung

Die Randbedingungen der Hauptversuche sollten sich von denen der Vorversuche nach Möglichkeit nicht unterscheiden, weshalb auch für die Prüfungen im Rahmen der Hauptversuche die bereits in Abschnitt „3.1.1 Prüfmaschine“ beschriebene statische Stand-Prüfmaschine lignum\_uni\_275 der Firma Zwick GmbH & Co. KG [29] verwendet wurde. Der adaptierte Versuchsaufbau, welcher die Durchführung der Großgruppenversuche ermöglichte, wird in Abschnitt „4.2.2 Aufbau der Prüfvorrichtung“ beschrieben.

Um die Ergebnisse der Vorversuche mit jenen der Hauptversuche vergleichen zu können, wurden bei den für die Vorversuche gewählten Holzbauschrauben vom Typ „Star Drive“ der Firma Schmid Schrauben Hainfeld GmbH der Durchmesser  $d$  mit 6 mm und die Länge des Teilgewindes mit 75 mm nicht verändert. Lediglich die Gesamtlänge der Schrauben wurde neu festgelegt, sodass die Einbindetiefe mit  $2 \cdot d = 12$  mm stets gleich blieb.

Als Ausgangsmaterial für die Herstellung der Prüfkörper wurden die Reststücke der für die Vorversuche vorausgewählten 40 Vollholzträger, d.h. die Träger der Gruppen I und II, herangezogen.

Die Bezeichnung der einzelnen Prüfungen wurde bereits für die Vorversuche so definiert, dass sie auch für die Hauptversuche in gleicher Art und Weise angewandt werden konnte und eine eindeutige Benennung jeder Prüfung ermöglicht wurde, vgl. Abschnitt „3.1.4 Versuchsbezeichnung“. Die Bandbreite der einzelnen Parameter ist Tab. 4.1 zu entnehmen.

Bezeichnung	Gruppenausziehversuche		Blockscherversuche
	geplant	erweitert	
Träger-Nummer	1 / 2 / ... / 40	1 / 2 / ... / 40	1 / 2 / ... / 40
Prüfkörper-Typ	N / O	P / Q	N / R

Tab. 4.1 Bandbreite der Parameter in der Bezeichnung der Hauptversuche

Bezeichnung	Gruppenausziehversuche		Blockscherversuche
	geplant	erweitert	
Schraubenanzahl parallel zur Faser	2p / 3p / 4p / 5p	3p / 4p / 5p	5p
Schraubenanzahl normal zur Faser	2n / 3n / 4n / 5n	3n / 4n / 5n	5n
Gesamtanzahl der Schrauben	4 / 9 / 16 / 25	9 / 16 / 25	25
Schraubenabstand bzw. Art des Eindrehens	5d	5d	2,5d
Einschraubrichtung	r	r	r

Tab. 4.1 Bandbreite der Parameter in der Bezeichnung der Hauptversuche

### 4.1.2 Entwicklung der Versuchskonfiguration

Auch die Versuche zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe erfolgten, wie jene zur Bestimmung der Mindestabstände, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1382 [19].

Wie sich im Rahmen der durchgeführten Vorversuche zeigte, ist mit den vorhandenen Vollholzträgern eine tangentielle Einschraubrichtung, d.h. einen Winkel  $\beta$  von annähernd  $0^\circ$  zwischen der Schraubenachse und der Tangente an die Jahrringe im Holzquerschnitt, kaum zu erreichen. Auch wenn die Auswertung der Ausziehfestigkeit einer Schraube in Abschnitt „3.4.4 Ausziehfestigkeit einer Schraube“ zeigte, dass der Einfluss des Winkels  $\beta$  äußerst gering ist, wurde für die Hauptversuche im Vorhinein die durchgeführte Einschraubrichtung als radial festgelegt.

Beginnend bei einer Schraubengruppe mit insgesamt 4 Schrauben, d.h. mit je zwei hintereinander liegenden Schrauben parallel und normal zur Faser, wurden Prüfungen mit bis zu 25 Schrauben geplant. Der 95%-Quantilwert der Ausziehfestigkeiten aller Vorversuche mit Einzelschrauben beträgt  $8,57 \text{ N/mm}^2$ . Umgerechnet auf die Bruchkraft und mit der Anzahl der Schrauben multipliziert, ergibt sich bei einer Schraubengruppe mit 25 Stück eine Bruchkraft von ca. 274 kN. Dieser Wert entspricht in etwa der bereits angesprochenen Maximalkraft der Prüfmaschine von 275 kN. Basierend auf der Auswertung der Vorversuche betreffend die erforderlichen Mindestabstände, wurde der Schraubenabstand für die Hauptversuche in beide Richtungen mit 5-d festgelegt. Auch bei den Hauptversuchen blieb der Winkel  $\alpha$  zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung mit  $90^\circ$  für alle Prüfungen gleich.

Für die Hauptversuche wurde der Versuchsumfang mit 10 Prüfungen je Versuchsserie festgesetzt, um ein zufriedenstellendes Ergebnis erreichen zu können. Die somit definierten Versuchsserien sind in Tab. 4.2 angegeben. Ihre genaue Anordnung im jeweiligen Prüfkörper ist in Anhang A unter Punkt „A.2 Hauptversuche“ zu finden.

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub- richtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Träger- gruppe
5p_5n_25_5d_r	10	radial	1_N bis 40_N	I bzw. II
4p_4n_16_5d_r	10	radial	1_N bis 40_N	I bzw. II
3p_3n_09_5d_r	10	radial	1_N bis 40_N	I bzw. II
2p_2n_04_5d_r	10	radial	1_O bis 40_O	I bzw. II

Tab. 4.2 Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe

## 4.2 Versuchsdurchführung

In diesem Abschnitt werden die Herstellung der Prüfkörper, der Aufbau der Prüfvorrichtung, der Ablauf der Gruppenausziehversuche und die Nachbearbeitung im Anschluss an die Prüfungen beschrieben.

### 4.2.1 Herstellung der Prüfkörper

#### 4.2.1.1 Abmessungen

Die Prüfkörper für die Durchführung der Hauptversuche mussten mit ausreichend großen Querschnittsabmessungen aus blockverleimten Teilquerschnitten hergestellt werden, um einerseits die Biegung über eine ausreichend große Querschnittshöhe abtragen zu können und andererseits den Querdruckwiderstand des Holzes aufgrund der Pressung gegen die Lagerungsplatte nicht zu überschreiten. Abb. 4.1 (a) zeigt einen solchen Prüfkörper, wobei der an der Oberseite in der Mitte liegende Träger, in den die Schrauben der jeweiligen Prüfung eingebracht wurden, einem der 40 vorausgewählten Träger entnommen wurde. Für jene Versuche mit einer Gesamtschraubenanzahl von nur 4 Stück konnte auf die Blockverklebung verzichtet und lediglich ein ca. 36 cm langes Trägerteilstück als Prüfkörper verwendet werden, siehe Abb. 4.1 (b). Weiters wurde festgelegt, dass der Kernbereich an der Unterseite zu liegen hat, um die angestrebte radiale Einschraubrichtung  $\beta$  stets erreichen zu können.



(a) blockverleimter Prüfkörper



(b) Trägereilstück als Prüfkörper

Abb. 4.1 Prüfkörper der Hauptversuche

#### 4.2.1.2 Nummerierung, Lagerung

Wie bei den Vorversuchen wurden auch die Prüfkörper der Hauptversuche nach deren Herstellung umgehend mit der entsprechenden Bezeichnung versehen und bis zur Versuchsdurchführung in einer Klimakammer bei Normalklima gelagert.

### 4.2.2 Aufbau der Prüfvorrichtung

Abb. 4.2 und Abb. 4.3 (a) zeigen die Prüfvorrichtung mit den wesentlichen Einbauteilen während des Aufbaus im Überblick bzw. im Detail. Die rechteckige Lagerungsplatte wurde zunächst mit acht Gewindestangen am Längsträger der Prüfmaschine befestigt, wobei anzumerken ist, dass das in Abb. 4.2 gezeigte Foto aufgenommen wurde als erst vier der genannten Gewindestangen eingebracht waren. Anschließend wurden die vier mittleren Gewindestangen vorgespannt, sodass die Verformung während der Prüfung im Bereich des Prüfkörpers, d.h. die Relativverformung der Platte am äußeren Rand des Prüfkörpers zu jener in dessen Mitte, kleiner gleich 0,1 mm blieb. In der Mitte der Lagerungsplatte ist eine Öffnung, die eine Lagerung des Prüfkörpers in einem Abstand von  $2 \cdot d = 12 \text{ mm}$  von der Achse der äußersten Schraubenreihe für die größte Schraubengruppe sicherstellt. Um die Prüfkörper für die kleineren Schraubengruppen mit nur 4, 9 bzw. 16 Schrauben analog lagern zu können, wurden für diese Versuche zusätzliche Stahlplatten mit entsprechend kleineren Öffnungen und einer Dicke von 20 mm von unten an der großen Lagerungsplatte befestigt.



Legende: A: Lagerungsplatte, B: Gewindestangen (teilweise vorgespannt), C: Unterer Einbauteil, D: Gewindestangen mit Dehnmessstreifen, E: Oberer Einbauteil, F: Gelenkkette

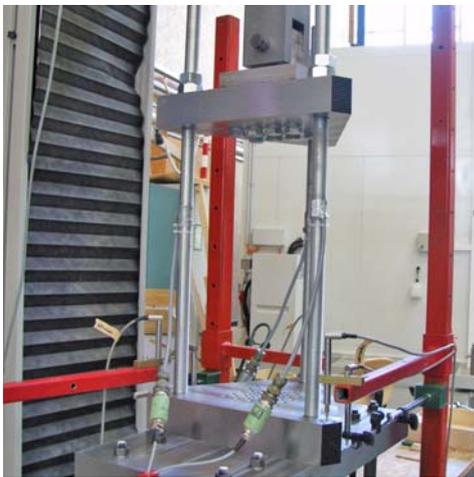
Abb. 4.2 allgemeiner Aufbau der Prüfvorrichtung für die Gruppenausziehversuche

Der untere der beiden dreieckigen Einbauteile hat in seiner Mitte durchgehende Bohrungen, in die später die Holzschrauben eingebracht und in den sich darunter befindlichen Prüfkörper geschraubt wurden. Der Lochraster wurde so festgelegt, dass Schraubengruppen mit bis zu 25 Schrauben sowohl mit einem Abstand von  $5 \cdot d = 30 \text{ mm}$ , als auch mit einem Abstand von nur  $2,5 \cdot d = 15 \text{ mm}$  geprüft werden können. Der untere Einbauteil ist über drei Gewindestangen, die mit der gleichen freien Länge eingebaut wurden, mit dem oberen Einbauteil verbunden. Diese drei Gewindestangen wurden zuvor mit Dehnmessstreifen bestückt und entsprechend kalibriert, sodass nun die in den Stangen während der Prüfung auftretenden Kräfte bekannt sind und daraus auch die Lage der resultierenden Kraft bestimmt werden kann. Der obere Einbauteil ist nach oben hin über eine Gelenkkette an die bewegliche Traverse der Prüfmaschine angeschlossen.

### 4.2.3 Ablauf der Gruppenausziehversuche

Der Prüfkörper wurde von der Seite unter die Lagerungsplatte gestellt, zentrisch ausgerichtet und unterkeilt, um an der Lagerungsplatte anzustehen und nicht weiter verrut-

schen zu können. Nun konnten die Schrauben entsprechend der jeweiligen Konfiguration eingebracht und maschinell soweit eingedreht werden, dass die Schraubenköpfe den unteren Einbauteil gerade nicht berührten, vgl. Abb. 4.3 (b). Anschließend wurden die Schrauben mit Hilfe eines Drehmomentschlüssels weiter eingedreht, wobei entsprechend den in Abschnitt „3.4.7 Anpresskraft einer Schraube in Abhängigkeit vom Drehmoment“ angeführten Ergebnissen ein Drehmoment von 6 Nm am Schlüssel eingestellt wurde. Um eine möglichst gleichmäßige Vorspannung aller Schrauben zu erreichen, wurde dieser Vorgang drei Mal für jeder Schraube der Schraubengruppe wiederholt. Nun konnten die Keile entfernt und die eigentliche Prüfung gestartet werden. Der Maschinenweg wurde mit 1,60 mm/min vorgegeben, was bei einem Großteil der Versuche ein Erreichen der Maximalkraft innerhalb der in der ÖNORM EN 1382 [19] angegebenen Zeitspanne von  $(90 \pm 30)$  s bewirkte.



(a) Prüfvorrichtung im Detail

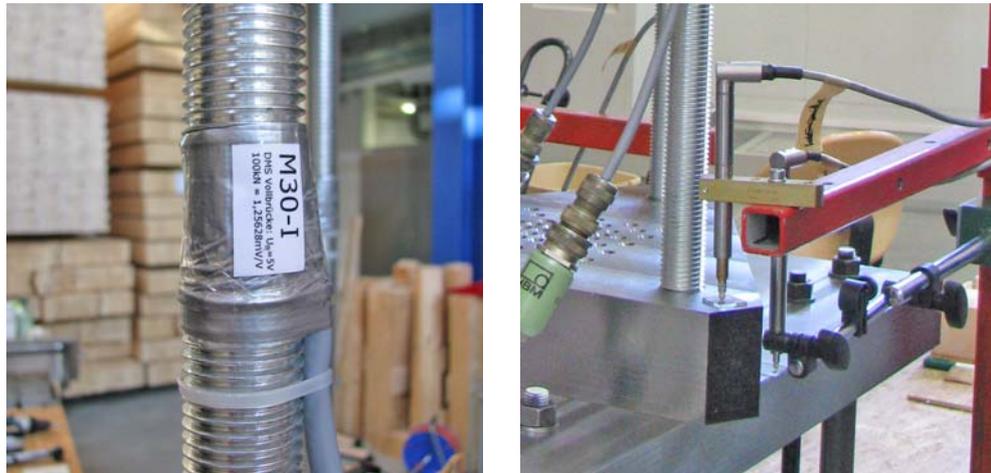


(b) maschinelles Eindrehen der Schrauben

Abb. 4.3 Ablauf der Gruppenausziehversuche

#### 4.2.4 Durchgeführte Messungen

Wie bereits von den Vorversuchen bekannt, wurden auch hier von den internen Messeinrichtungen der Prüfmaschine die Zeit [s], die Standardkraft [N] und der Standardweg [mm] automatisch aufgezeichnet. Darüber hinaus wurden die Kräfte in den drei mit Dehnungsmessstreifen bestückten Gewindestangen aufgenommen, vgl. Abb. 4.4 (a). Die Gesamtsumme der drei Kräfte, sowie die resultierende Exzentrizität in kartesischen Koordinaten bzw. in Polarkoordinaten wurden kontinuierlich berechnet und ebenfalls aufgezeichnet. Weiters wurde mit Hilfe von Wegaufnehmern, welche in Abb. 4.4 (b) zu sehen sind, die vertikale Bewegung des unteren Einbauteils an den drei Eckpunkten, sowie die Durchbiegung bzw. Aufwölbung der Lagerungsplatte in ihrer Mitte an den beiden gegenüberliegenden Rändern im Rahmen der Dauermessung gespeichert. Um auch die Vorspannkraft, d.h. die durch das Eindrehen der Schrauben bereits wirkende Kraft, erfassen zu können, wurde die Dauermessung jeweils vor dem Anziehen der Schrauben mit dem Drehmomentschlüssel gestartet.



(a) Gewindestange mit Dehnungsmessstreifen      (b) Wegaufnehmer

Abb. 4.4      Messeinrichtungen der Gruppenausziehversuche

Auch für die Versuchsserien der Hauptversuche wurde ein handschriftliches Prüfprotokoll angefertigt, das die Bezeichnung des jeweiligen Versuchs, die Vorspannkraft [N], d.h. die in der Schraubengruppe bereits wirkende Kraft beim Start der eigentlichen Prüfung, die maximale Kraft [N] und Angaben zu etwaigen Schraubenbrüchen beinhaltet. Weiters wurden die Prüfungsgeschwindigkeit [mm/min], die am Drehmomentschlüssel eingestellten Stufen [Nm], auffällige Wuchsmerkmale und andere Besonderheiten notiert. Außerdem wurden das Datum, der Name der Prüfer, sowie die Umgebungstemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit am Tag der Prüfung eingetragen.

## 4.2.5      Nachbearbeitung

Die für die Vorversuche in Abschnitt „3.2.5 Nachbearbeitung“ beschriebene weitere Bearbeitung musste für die Hauptversuche nur in zwei Detailpunkten angepasst werden. Für die Darrproben der Hauptversuche wurden die arithmetischen Mittel aller drei Abmessungen aus den an allen vier Ecken gemessenen Werten gebildet. Weiters wurde die Versagensform, d.h. Ausziehversagen der Schrauben oder Blockscherensversagen des Holzes, festgehalten.

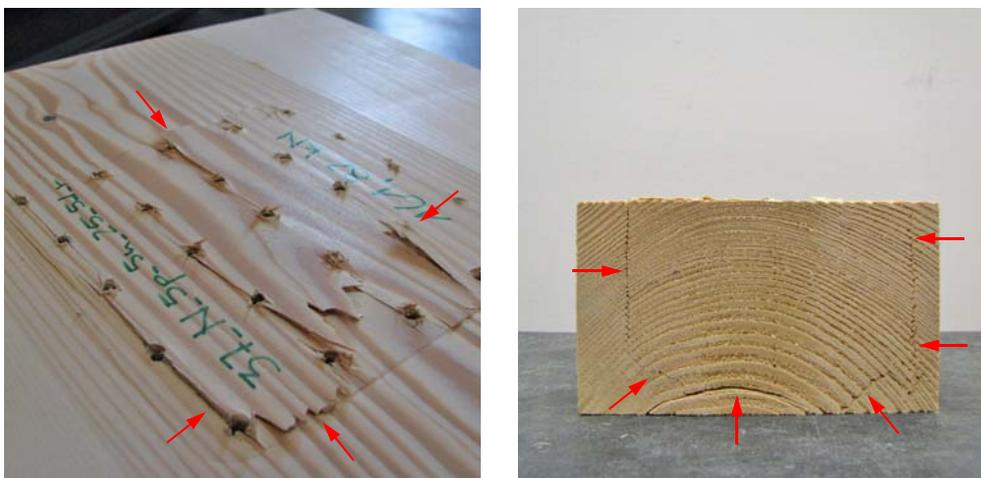
## 4.2.6      Erweiterung des Prüfumfangs

### 4.2.6.1      Gruppenausziehversuche

Bei den meisten Versuchen der Serien mit 16 bzw. 25 Schrauben zeigte sich eine deutliche Aufwölbung des Prüfkörpers im Bereich der Schraubengruppe, siehe Abb. 4.5 (a). Dies lässt ein Versagen auf Blockscheren des Holzes vermuten, was durch die in Abb. 4.5 (b) zu sehenden Risse im Querschnitt der Darrprobe bestätigt wird. Aus diesem Grund wurde der ursprünglich geplante Prüfumfang der Hauptversuche erweitert und die Versuchskonfiguration bzw. die Lagerungsart des Prüfkörpers geändert. Die umlaufende Lagerung wurde durch eine kontinuierliche Lagerung der Oberfläche des Prüfkörpers ersetzt. Dazu wurde eine zusätzliche Stahlplatte, die den gleichen Lochraster wie der

untere Einbauteil aufweist, von unten an die große Lagerungsplatte geschraubt. Mit Hilfe dieser Lochplatte konnte die Oberfläche des gesamten Prüfkörpers gehalten und eine Aufwölbung verhindert werden.

Da auch bei vier der insgesamt zehn Prüfungen mit 9 Schrauben kein Versagen auf Herausziehen auftrat, wurden die Serien mit 9, 16 und 25 Schrauben mit der abgeänderten Versuchskonfiguration wiederholt. Dies führte zu den in Tab. 4.3 gezeigten Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe. Zunächst waren je Serie 10 Versuche geplant und erst später wurde ein weiterer Versuch zur Serie „3p\_3n\_09\_5d\_r“ hinzugefügt, um auch den letzten Prüfkörper zu verwenden. Die Anordnung der Versuchsserien des erweiterten Prüfumfanges, sowie die dazu verwendeten Prüfkörper des Typs P bzw. Q entsprechen jenen des Typs N bzw. O, siehe Punkt „A.2 Hauptversuche“ in Anhang A.



(a) Aufwölbung des Prüfkörpers

(b) Risse im Querschnitt der Darrprobe

Abb. 4.5 Blockscherversagen der Prüfung „37\_N\_5p\_5n\_25\_5d\_r“

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraubrichtung	Bezeichnung der Prüfkörper	Trägergruppe
5p_5n_25_5d_r	10	radial	1_P bis 40_P	I bzw. II
4p_4n_16_5d_r	10	radial	1_P bis 40_P	I bzw. II
3p_3n_09_5d_r	11	radial	1_Q bis 40_Q	I bzw. II

Tab. 4.3 zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe (Prüfkörper-Typ P und Q)

#### 4.2.6.2 Blockscherversuche

Weiters wurden Prüfungen durchgeführt, um bei den Versuchen mit Blockscherversagen eine grundlegende Aussage über die Aufteilung der Bruchkraft auf die auf Abscheren und die auf Rollschub beanspruchten Flächen treffen zu können. Dazu wurden insgesamt fünf Versuche mit 25 Schrauben durchgeführt. Zwei Prüfkörper wurden am Rande der Schraubengruppe so eingeschnitten, dass die auf Abscheren bzw. die auf Rollschub beanspruchten Flächen durchtrennt wurden. Um sicherstellen zu können, dass es zu einem

Blockscherversagen kommt, wurden diese Versuche mit einem Schraubenabstand von nur  $2,5 \cdot d$  durchgeführt, vgl. Tab. 4.4.

Serie	Anzahl der Versuche	Einschraub-richtung	Träger-gruppe	Einschnitt des Prüfkörpers
5p_5n_25_2,5d_r	3	radial	I bzw. II	kein
5p_5n_25_2,5d_r	1	radial	I bzw. II	normal zur Faser
5p_5n_25_2,5d_r	1	radial	I bzw. II	parallel zur Faser

Tab. 4.4 Versuchsserien zur Bestimmung des Blockscherverhaltens

## 4.3 Versuchsdaten

In diesem Abschnitt wird auf die Erfassung der Daten aus den Hauptversuchen eingegangen und die anschließende Beurteilung von eventuellen Ausschlussgründen beschrieben.

### 4.3.1 Datenerfassung

Die Daten der Hauptversuche wurden ebenfalls in das Excel-Dokument, das bereits die Daten der Vorversuche enthielt, eingetragen. Dazu musste die in Abschnitt „3.3.1 Datenerfassung“ genannte Tabelle um die folgenden Spalten erweitert werden:

- Vorspannkraft [N]
- Aufwölbung im Bereich der Prüfung bzw. Durchführung mit Hilfe der Lochplatte als Lagerungsplatte (ja / nein / Lochplatte)
- Blockscherversagen (ja / nein)

### 4.3.2 Bereinigung des Datensatzes

Für die Auswertung der 71 Hauptversuche wurden im Gegensatz zu den Vorversuchen zunächst keine Versuche ausgeschlossen und somit auch jene beiden Versuche mit ein oder mehreren Schraubenbrüchen in der Datenmenge belassen. In keiner Prüfung der Gruppenausziehversuche wurden Rindeneinschlüsse, die bei den Vorversuchen ausgeschlossen wurden, festgestellt. Weiters ist die Betrachtung des Merkmals „Mark“ nicht erforderlich, da aufgrund der in Abb. 4.1 (a) und (b) gezeigten Lage der Jahrringe im Prüfkörper bei keinem Versuch das Mark durchschraubt werden konnte. Somit sind nur die Merkmale Ast, Reaktionsholz und Ansammlung von Harz näher zu untersuchen. Die für diese Untersuchung verwendeten Streudiagramme, in denen die mittlere Ausziehfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>] der Schraubengruppe über der Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>] aufgetragen ist, sind nachfolgend dargestellt.

### 4.3.2.1 Merkmal „Ast“

Im in Abb. 4.6 dargestellten Streudiagramm sind jene Prüfungen, die eine Anmerkung zum Merkmal „Ast“ aufweisen, farblich gekennzeichnet. Es ist zu erkennen, dass alle drei verschiedenen Ausprägungen für sich ziemlich gleichmäßig über die Gesamtmenge aller durchgeführten Hauptversuche verteilt zu liegen kommen.

Im Vergleich zur Größe der Darrprobe, welche mehr oder weniger durch die Umrisslinien der Schraubengruppe bestimmt wurde, ist der von einem Ast beeinflusste Bereich klein. Dies führt zur gezeigten Verteilung der Prüfungen mit Ästen und bedingt das geänderte Verhalten im Vergleich zu den Vorversuchen. Somit sind keine Hauptversuche aufgrund eines in der Darrprobe liegenden Astes von der Auswertung auszuschließen.

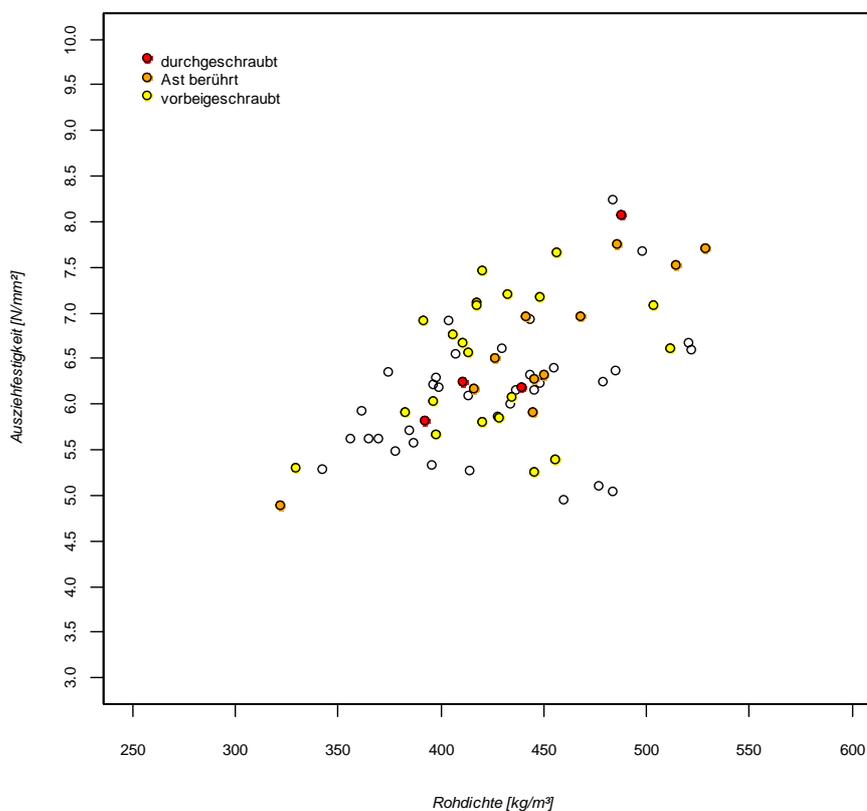


Abb. 4.6 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ast“

### 4.3.2.2 Merkmal „Reaktionsholz“

Das in Abb. 4.7 dargestellte Streudiagramm zeigt die Prüfungen mit einer Anmerkung zum Merkmal „Reaktionsholz“ farblich hinterlegt. Sowohl jene Hauptversuche mit viel, als auch jene mit wenig Reaktionsholz sind gleichmäßig über die Gesamtmenge aller durchgeführten Prüfungen verteilt, sodass aufgrund dieses Merkmals kein Versuch von der Auswertung auszuschließen ist.

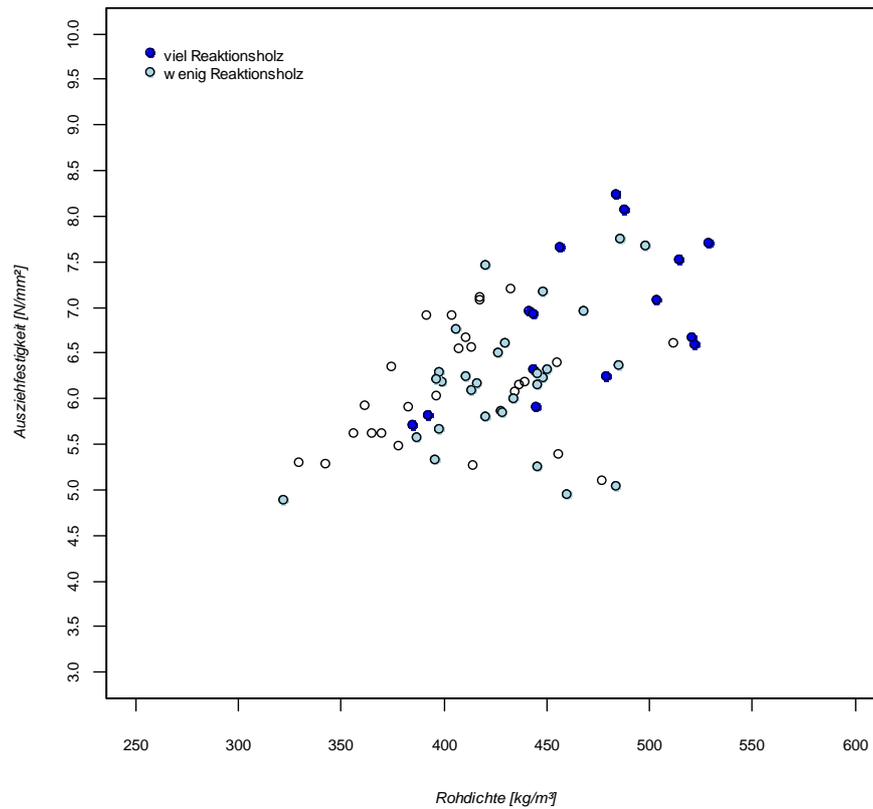


Abb. 4.7 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Reaktionsholz“

#### 4.3.2.3 Merkmal „Ansammlung von Harz“

Im in Abb. 4.8 gezeigten Streudiagramm sind die Prüfungen, die eine Anmerkung zum Merkmal „Ansammlung von Harz“ aufweisen, in Farbe dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Punkte aller Versuche mit einer entsprechenden Anmerkung mehr oder weniger gleichmäßig über die Gesamtmenge aller Versuche verteilt sind. Somit ist auch aufgrund dieses Merkmals kein Versuch aus der Auswertung zu nehmen.

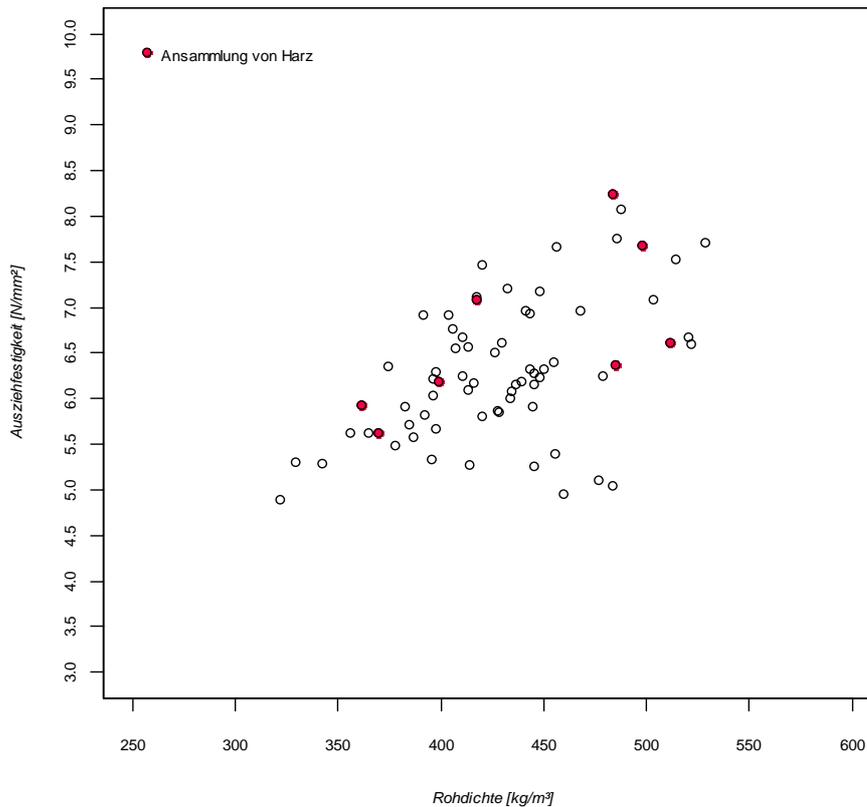


Abb. 4.8 Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ansammlung von Harz“

## 4.4 Auswertung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Hauptversuche in Verbindung mit jenen der Vorversuche dargestellt.

### 4.4.1 Datenumfang

Die für die Auswertung in diesem Abschnitt verwendete Datenmenge setzt sich aus den bereinigten Daten aller Ausziehversuche aus den Serien der Vor- und Hauptversuche zusammen. Zusätzlich zu den Versuchen mit Einzelschrauben wurden nur jene Versuche berücksichtigt, deren Schrauben in einem Abstand von 5-d zueinander geprüft wurden. Da die Prüfkörper aller Hauptversuche aus den Vollholzträgern der Gruppe I bzw. II hergestellt wurden und die Einschraubrichtung bei allen Prüfungen stets radial war, wurden die Daten der Vorversuche ebenfalls auf Prüfungen mit den genannten Eigenschaften reduziert.

Um die Aussagekraft der nachfolgend beschriebenen Auswertung beurteilen zu können, sind in Tab. 4.5 die Anzahl der auszuwertenden Prüfungen je Versagens- und Lagerungsart des Prüfkörpers angeführt. Es ist zu erkennen, dass bei jenen Prüfungen mit einer Lagerung außerhalb der Schraubengruppe fast alle Gruppenversuche mit 16 und 25 Schrauben, sowie 40% der Prüfungen mit 9 Schrauben auf Blockscheren des Holzes versagten. Durch die im Rahmen des erweiterten Prüfungsumfanges geänderte Lagerungsbedin-

gung des Prüfkörpers konnte die Anzahl der Prüfungen mit Blockscherversagen bei den Großgruppen mit 16 bzw. 25 Schrauben zwar reduziert, aber nicht verhindert werden.

Versagen der Schraube(n) / des Holzes	Vorversuche			Hauptversuche							
				Lagerungsplatte mit durchgehender Öffnung				Lagerungsplatte mit Lochraster			
	1x1	1x2	2x1	2x2	3x3	4x4	5x5	2x2	3x3	4x4	5x5
Ausziehversagen	39	17	18	10	6	1	0	-	11	5	1
Blockscherversagen	0	0	0	0	4	9	10	-	0	5	9

1x1, 1x2, 2x1, 2x2, 3x3, 4x4, 5x5 ... Anzahl der parallel bzw. normal zur Faser hintereinander liegenden Schrauben

Tab. 4.5 Anzahl der Prüfungen je Lagerungs- und Versagensart

## 4.4.2 Rohdichte

Die statistische Auswertung der Rohdichte aller im Datensatz enthaltenen Prüfungen liefert die in Abb. 4.9 (a) und (b) dargestellten Diagramme. Aus dem arithmetischen Mittelwert  $\rho_{12,mean} = 426,0 \text{ kg/m}^3$  und der Standardabweichung von  $45,4 \text{ kg/m}^3$  erhält man einen Variationskoeffizienten von 10,7%. Der Minimalwert  $\rho_{12,min}$  beträgt  $298,7 \text{ kg/m}^3$  und der Maximalwert  $\rho_{12,max} = 553,6 \text{ kg/m}^3$ . Diese Verteilung der umgerechneten Rohdichte stimmt gut mit der Auswertung der ursprünglich geplanten Vorversuche überein, vgl. Abb. 3.20 (a) in Kapitel 3.

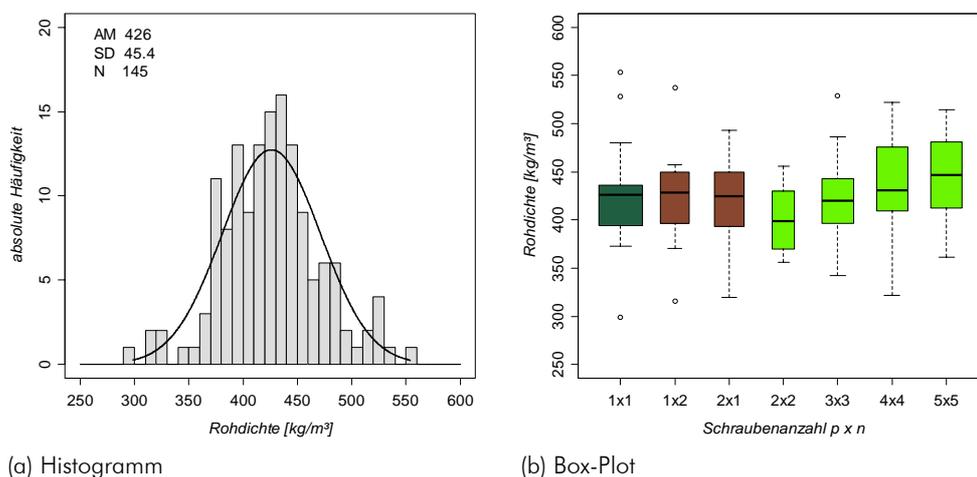
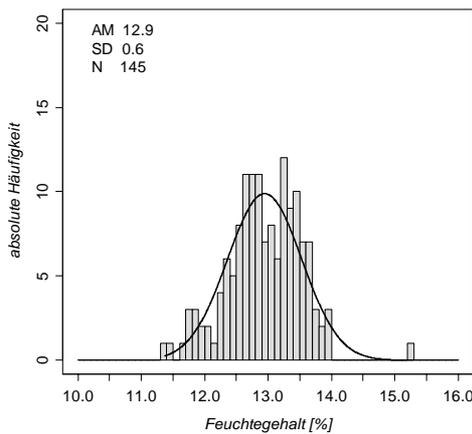


Abb. 4.9 Verteilung der umgerechneten Rohdichte

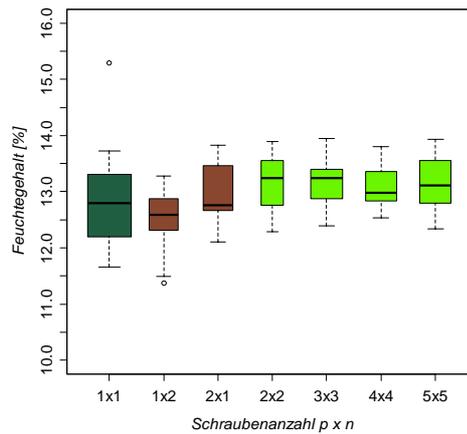
Vergleicht man die erhaltenen Werte wiederum mit den Referenzwerten aus den verschiedenen Normen, so liegt der tatsächliche Variationskoeffizient mit 10,7% etwas höher, als die in der DIN 68364 [15] angeführten 9,7%. Der Mittelwert liegt mit  $426,0 \text{ kg/m}^3$  unter dem in der ÖNORM EN 350-2 [22] angegebenen Bereich von  $440 - 460 - 470 \text{ kg/m}^3$ , wie dies auch schon bei der Auswertung der Versuchsdaten aus den Vorversuchen alleine der Fall war.

### 4.4.3 Feuchtegehalt

Das Histogramm in Abb. 4.10 (a) zeigt die Verteilung des Feuchtegehalts mit einem Mittelwert  $u_{\text{mean}}$  von 12,9%. Der Minimalwert  $u_{\text{min}}$  liegt bei 11,4% und der Maximalwert  $u_{\text{max}}$  bei 15,3%. Mit einer Standardabweichung von 0,6% ergibt sich ein Variationskoeffizient von 4,5%. Die in Abb. 4.10 (b) dargestellten Box-Plots zeigen, dass der Feuchtegehalt bei den Hauptversuchen etwas höher liegt als bei den Vorversuchen. Allerdings macht sich diese Tatsache nur minimal in der Gesamtverteilung bemerkbar.



(a) Histogramm

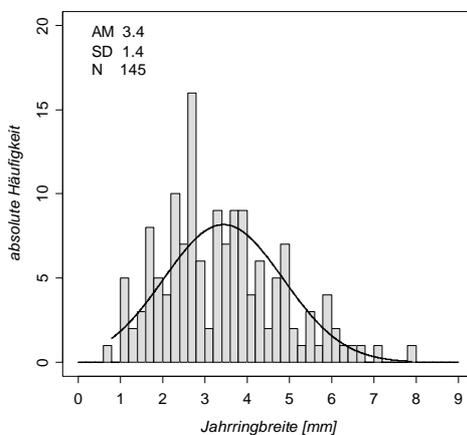


(b) Box-Plot

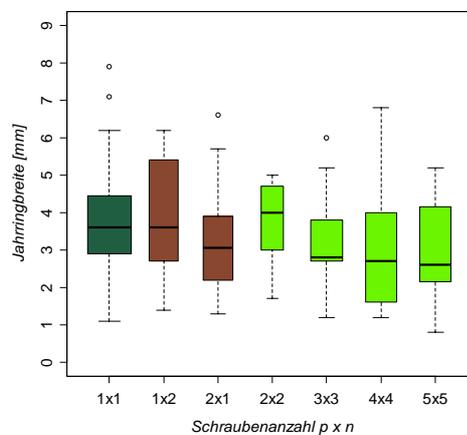
Abb. 4.10 Verteilung des Feuchtegehalts

### 4.4.4 Jahrringbreite

Betrachtet man die Streuung der Jahrringbreiten, so kann auch hier keine Besonderheit in der Verteilung festgestellt werden, vgl. Abb. 4.11 (a) und (b). Der Mittelwert liegt bei 3,4 mm, der minimale Abstand zwischen zwei benachbarten Jahrringen bei 0,8 mm und der Maximalwert bei 7,9 mm. Mit einer Standardabweichung von 1,4 mm erhält man einen Variationskoeffizienten von 41,1%.



(a) Histogramm

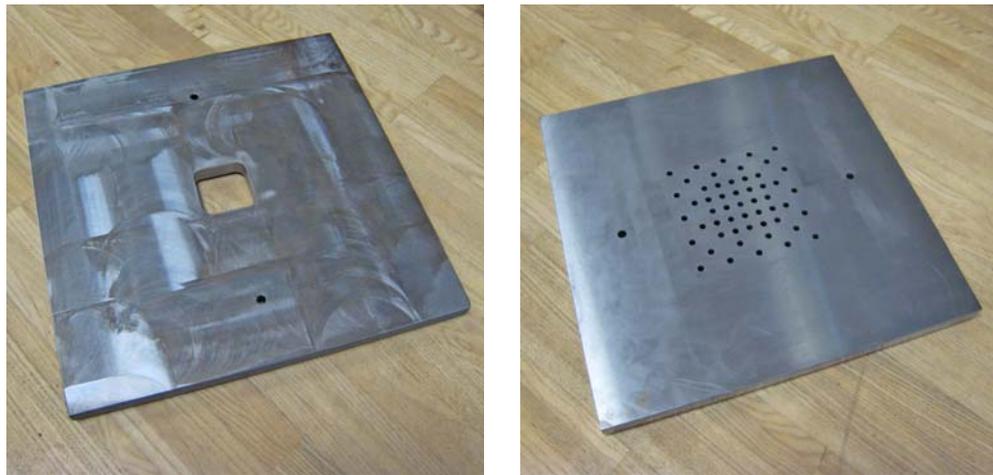


(b) Box-Plot

Abb. 4.11 Verteilung der Jahrringbreite

#### 4.4.5 Untersuchung verschiedener Einflüsse

Der Prüfkörper wird, wie in Abschnitt „4.2.3 Ablauf der Gruppenausziehversuche“ beschrieben, während der laufenden Prüfung gegen eine Lagerungsplatte gepresst wird. Dazu wurde zunächst eine Stahlplatte mit einer durchgehenden Öffnung bzw. für die Versuche im Rahmen des erweiterten Prüfumfanges eine Platte mit einem Lochraster verwendet, vgl. Abb. 4.12 (a) und (b).



(a) Lagerungsplatte mit durchgehender Öffnung (b) Lagerungsplatte mit Lochraster

Abb. 4.12 Stahlplatten zur Lagerung des Prüfkörpers

Der Einfluss dieser beiden unterschiedlichen Lagerungsplatten ist in Abb. 4.13 (a) zu sehen. Die Bruchkräfte jener Prüfungen, deren Prüfkörper mit Hilfe der Lochplatte gehalten wurden, sind höher im Vergleich zu den Versuchen mit nur am Rand der Schraubengruppe gelagerten Prüfkörpern. Daher hat für die weitere Auswertung eine Unterscheidung zwischen den Lagerungsarten zu erfolgen, d.h. die Versuche des ursprünglich geplanten und des erweiterten Prüfumfanges dürfen nicht gemeinsam ausgewertet werden.

Eine Differenzierung hat natürlich auch bezüglich der Versagensart zu erfolgen. Abb. 4.13 (b) zeigt, dass jene Versuche, bei denen das Holz auf Blockscheren versagte, eine geringere Bruchkraft aufweisen. Somit trat ein Ausziehversagen der Holzschrauben bei den geprüften Abständen nur dann auf, wenn das Holz von entsprechend hoher Qualität ist und nicht zuvor selbst auf Blockscheren versagte.

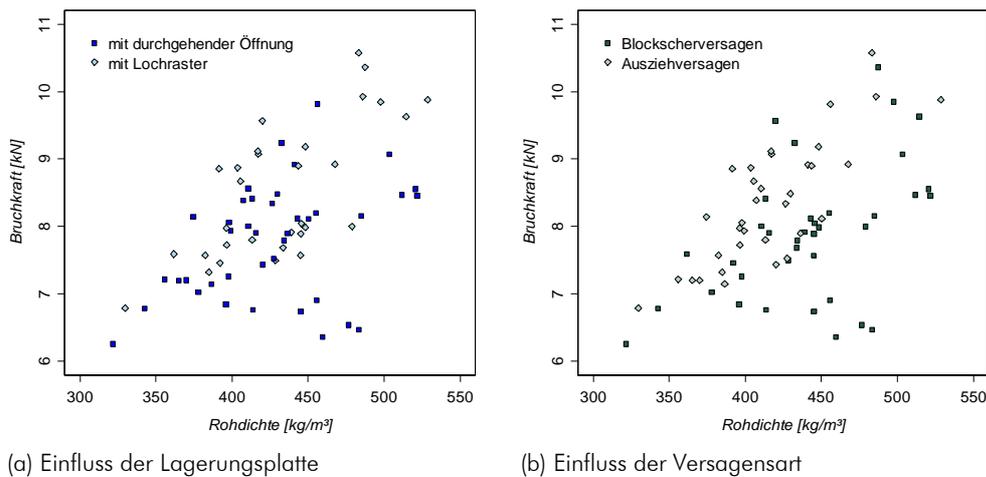


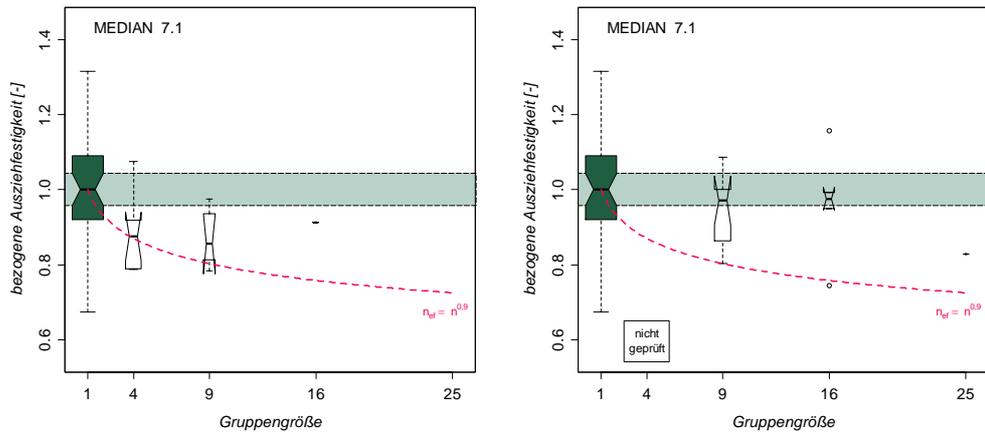
Abb. 4.13 Streudiagramme zur Beurteilung der Einflüsse der Lagerungsplatte und der Versagensart

#### 4.4.6 Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe

In diesem Abschnitt wird auf jene Prüfungen der Hauptversuche eingegangen, bei denen ein Versagen auf Herausziehen der Schrauben auftrat. Die Auswertung der Gruppenversuche mit Box-Plots der auf den Median bezogenen Ausziehfestigkeiten, welche gemäß der in Abschnitt „3.4.5 Erforderliche Mindestabstände“ angegebenen Glg. 3.6 ermittelt wurden, zeigt, dass die Ausziehfestigkeiten der Prüfungen mit einem kontinuierlich gehaltenen Prüfkörper annähernd gleich groß wie jene der Einzelschrauben sind, siehe Abb. 4.14 (b). Die Mittelwerte liegen bei  $6,8 \text{ N/mm}^2$  für 9 und bei  $6,9 \text{ N/mm}^2$  für 16 Schrauben und somit nur gering unter dem Mittelwert der Ausziehversuche mit Einzelschrauben von  $7,2 \text{ N/mm}^2$ .

Im Vergleich dazu ist bei den in Abb. 4.14 (a) gezeigten Versuchen mit außerhalb der Schraubengruppe gelagerten Prüfkörpern, d.h. mit einer freien Oberfläche des Prüfkörpers im Bereich der Schraubengruppe, ein deutlicher Abfall der Ausziehfestigkeiten für die Prüfungen mit mehreren Schrauben zu erkennen. Dabei liegen die Mittelwerte der Ausziehfestigkeit mit  $6,3 \text{ N/mm}^2$  und  $6,2 \text{ N/mm}^2$  für die Gruppen mit 4 bzw. 9 Schrauben deutlich unter jenem der Einzelschrauben von  $7,2 \text{ N/mm}^2$ . Aufgrund des Blockscherversagens bei den Versuchen mit 16 und 25 Schrauben und den somit fehlenden Werten für das Versagen auf Herausziehen der Schrauben ist eine effektiv wirksame Verbindungsmittellanzahl nicht wirklich herleitbar.

Die strichliert gezeichnete Linie in den beiden Diagrammen zeigt die Abminderung gemäß ÖNORM EN 1995-1-1 [21] aufgrund der wirksamen Schraubenanzahl, vgl. Glg. 2.8 in Abschnitt „2.2.1 Eurocode 5“. Es ist ersichtlich, dass bei lediglich am Rand der Gruppe gelagerten Prüfkörpern ein ähnlicher Abfall der Ausziehfestigkeiten festzustellen ist, siehe Abb. 4.14 (a). Um eine genauere Aussage bezüglich der Gruppenwirkung auch für die Schraubengruppen mit 16 und 25 Stück treffen zu können, sind jedoch weiterführende Untersuchung erforderlich.



(a) Lagerungsplatte mit durchgehender Öffnung (b) Lagerungsplatte mit Lochraster  
 Abb. 4.14 Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit

### 4.4.7 Blockscherensversagen des Holzes

Nachstehend werden jene Versuche, bei denen es zu einem Versagen des Holzes durch Blockscheren kam, untersucht. Da die Versuchsplanung das Ziel verfolgte ein Ausziehversagen zu erreichen und das Blockscherensversagen außerplanmäßig auftrat, sind nur stichprobenartige Versuchsdaten für das Blockscherens des Holzes vorhanden. Ein weiterer Grund für die geringe Aussagekraft der in diesem Abschnitt angeführten Ergebnisse liegt darin, dass das Blockscherensversagen, wie das Versagen des Holzes im Allgemeinen, eine wesentlich größere Streuung als das Ausziehversagen der Holzschrauben aufweist.

Beim Versagen auf Blockscheren kommt es zum Bruch des Holzes durch Überschreiten der Querkzugfestigkeit in der Grundfläche der Schraubengruppe, sowie der Schubfestigkeiten. Beim Schubversagen ist zwischen einem Versagen auf Abscheren und jenem auf Rollschub zu differenzieren. Für die nachfolgend angeführte Auswertung wurde zur Berechnung der beanspruchten Flächen, die Umrisslinie der Schraubengruppe und die Eindrehlänge der Schrauben herangezogen, siehe Abb. 4.15.

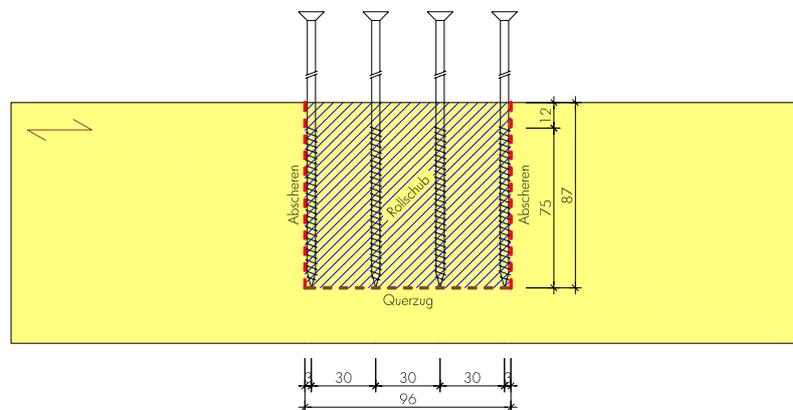


Abb. 4.15 Definition der auf Querkzug, Abscheren bzw. Rollschub beanspruchten Flächen beim Versagen auf Blockscheren

Die Querkzugkraft wurde gemäß Glg. 4.1 berechnet, wobei der dazu verwendete Wert der Querkzugfestigkeit  $f_{t,90}$  den Mittelwert der Festigkeiten von acht Prüfungen, die im Rahmen einer laufenden Diplomarbeit am Institut für Holzbau und Holztechnologie durchgeführt wurden, darstellt. Bei den genannten Versuchen wurden Prüfkörper der Holzart Fichte mit einer Grundfläche des auf Querkzug geprüften Holzteiles von 150 x 150 mm und einer Dicke von 40 mm verwendet.

$$F_{QZ} = f_{t,90} \cdot ((\sqrt{n} - 1) \cdot a + d)^2 \quad \text{Glg. 4.1}$$

mit  $f_{t,90} = 2,35 \text{ N/mm}^2$

Wobei  $F_{QZ}$  ....die Querkzugkraft [N],

$f_{t,90}$  ....die Querkzugfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>],

n .....die Gesamtanzahl der Schrauben innerhalb einer quadratischen Schraubengruppe [-],

a .....der Abstand zwischen den einzelnen Schrauben [mm] und

d .....der Nenndurchmesser der Schrauben [mm] ist.

Nach Abzug der berechneten Querkzugkraft  $F_{QZ}$  von der Gesamtbruchkraft ist nun die verbleibende Kraft auf die vier Schubflächen normal zur Faser aufzuteilen. Diese Aufteilung erfolgte gemäß der in Abschnitt „4.2.6.2 Blockscherversuche“ beschriebenen Versuche und ihrer nachfolgend angeführten Auswertung. Der Mittelwert der Bruchkräfte der drei Prüfungen ohne Einschnitt ergibt sich zu 91,03 kN. Abzüglich der nach Glg. 4.1 berechneten Querkzugkraft von 10,24 kN erhält man eine korrigierte mittlere Bruchkraft von 80,79 kN. Die Kräfte für die Versuche mit einem Einschnitt sind in Tab. 4.6 angegeben, wobei die prozentuellen Kraftanteile für die auf Abscheren bzw. auf Rollschub beanspruchten Flächen auf den Mittelwert der korrigierten Querkzugkraft von 80,79 kN bezogen sind. Demnach werden die nach Abzug der Querkzugkraft erhaltenen korrigierten Bruchkräfte im Mittel zu 62,26% in Faserlängsrichtung durch Schub normal zur Faser und die restlichen 37,74% der korrigierten Bruchkraft über Rollschub abgetragen.

Prüfkonfiguration	korrigierte Bruchkraft [kN]	korrigierte Bruchkraft bezogen auf den Mittelwert der Versuche ohne Einschnitt [%]	
		für Abscheren	für Rollschub
Einschnitt normal zur Faser	28,73	64,44 <sup>(2)</sup>	35,56 <sup>(1)</sup>
Einschnitt parallel zur Faser	48,54	60,08 <sup>(1)</sup>	39,92 <sup>(2)</sup>
gerundeter Mittelwert	-	62,26	37,74
<sup>(1)</sup> direkt berechneter Anteil an der korrigierten Bruchkraft, <sup>(2)</sup> Differenz auf 100%			

Tab. 4.6 Ergebnisse der Blockscherversuche

Mit der somit erhaltenen groben Aufteilung der Kräfte je Versagensart können nun durch Division mit den entsprechenden Flächen die Schub- bzw. Rollschubspannungen berechnet werden. Diese Spannungen wurden ähnlich den Ausziehfestigkeiten von Schrau-

ben mit der umgerechneten Rohdichte  $\rho_{12}$  normiert, siehe Glg. 4.2. Die Normierung erfolgte getrennt für die jeweilige Versuchskonfiguration, d.h. die mittlere Rohdichte  $\bar{\rho}_{12}$  berechnete sich aus dem Mittelwert der in einem Diagramm dargestellten Prüfungen.

$$\tau_{\text{norm},i} = \frac{\tau_i}{\rho_{12,i}} \cdot \bar{\rho}_{12} \quad \text{Glg. 4.2}$$

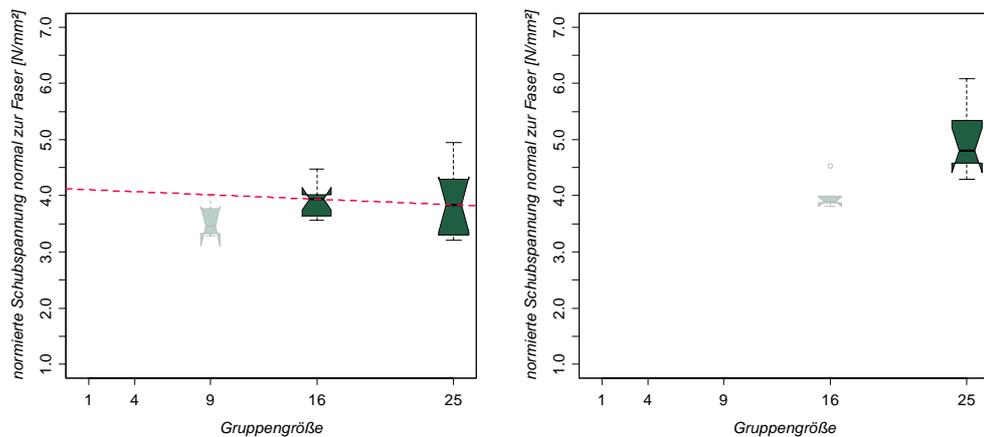
Wobei  $\tau_{\text{norm},i}$  die normierte Schubspannung einer Prüfung [N/mm<sup>2</sup>],

$\tau_i$  .....die Schubspannung einer Prüfung [N/mm<sup>2</sup>],

$\rho_{12,i}$  ...die umgerechnete Rohdichte einer Prüfung [kg/m<sup>3</sup>] und

$\bar{\rho}_{12}$  .....der Median der umgerechneten Rohdichte aller Hauptversuche einer Lagerungsart unabhängig von der Gruppengröße [kg/m<sup>3</sup>] ist.

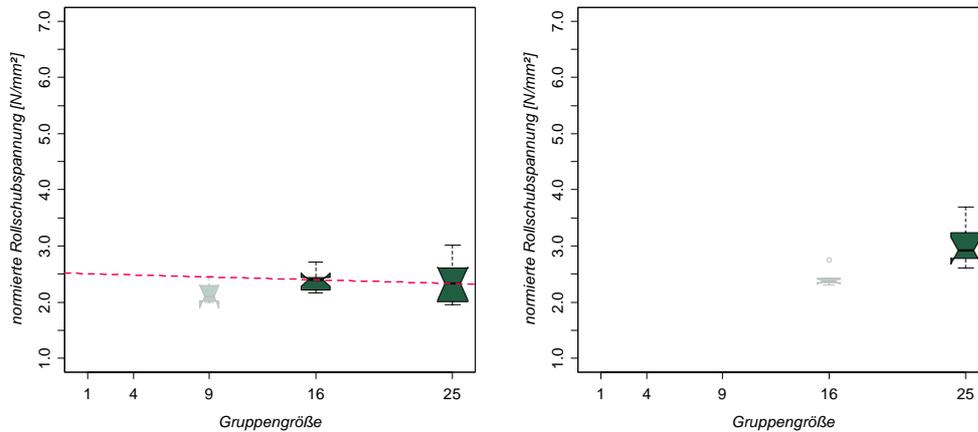
Abb. 4.16 (a) und (b) zeigen die normierte Schubspannung normal zur Faser in Form von Box-Plots getrennt nach den Gruppengrößen. Dabei sind jene Box-Plots, denen weniger als neun auszuwertende Versuche zu Grunde liegen und die daher zu wenig aussagekräftig sind, heller dargestellt.



(a) Lagerungsplatte mit durchgehender Öffnung    (b) Lagerungsplatte mit Lochraster

Abb. 4.16 Box-Plots der normierten Schubspannung normal zu Faser (Scherung)

Aufgrund der stets doppelsymmetrischen Anordnung der Schrauben innerhalb jeder Schraubengruppe unterscheiden sich die in Abb. 4.17 (a) und (b) dargestellten Box-Plots für die normierte Rollschubspannung von den in Abb. 4.16 gezeigten Box-Plots der normierten Schubspannung normal zur Faser lediglich in ihrer absoluten Größe, nicht aber in ihrer Verteilung bzw. Streuung.



(a) Lagerungsplatte mit durchgehender Öffnung (b) Lagerungsplatte mit Lochraster  
Abb. 4.17 Box-Plots der normierten Rollschubspannung

Legt man durch die beiden Mediane der mit einer durchgehenden Öffnung in der Lagerungsplatte durchgeführten Versuche mit 16 und 25 Schrauben eine Gerade, so ist ein leichter Abfall der Schubspannungen mit zunehmender Größe der Schraubengruppe zu erkennen, vgl. Abb. 4.16 (a) bzw. Abb. 4.17 (a).

### 4.4.8 Faserparalleler Mindestabstand

Betrachtet man zwei Schrauben, die in einem faserparallelen Abstand  $a_1$  voneinander entfernt in einen Holzkörper eingedreht wurden, so kann je Schraube etwa die Hälfte der Ausziehkraft in Faserlängsrichtung über Abscheren abgetragen werden, siehe Abb. 4.18. Die andere Hälfte der Ausziehkraft wird im Bereich zwischen dem Schraubenpaar über Rollschub an außerhalb des Verbindungsmittelumfangs liegende und somit nicht durchtrennte Fasern abgetragen. Bei der Übertragung der Rollschubkräfte ist davon auszugehen, dass der durch die Schrauben gestörte Bereich nicht mitwirkt und deshalb nur der tatsächlich freie Innenabstand  $\bar{a}_1$  heranzuziehen ist.

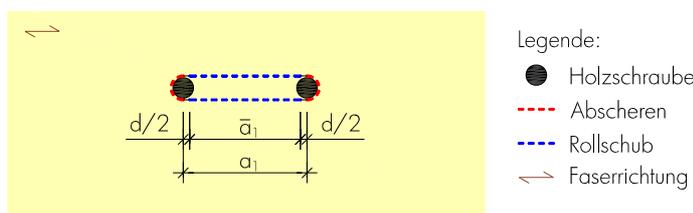


Abb. 4.18 Skizze zur Abtragung der Ausziehkraft bei einem Schraubenpaar

Beginnend bei der Ausziehfestigkeit einer Schraube kann durch Multiplikation mit der Mantelfläche der Schraube die über Schub normal zur Faser (Abscheren) abzutragende Kraftkomponente ermittelt werden, siehe Glg. 4.3.

$$F_{ax} = f_{ax} \cdot d \cdot \pi \cdot l_{ef} \tag{Glg. 4.3}$$

Wobei  $F_{ax}$  .....die von einer Schraube aufnehmbare Ausziehkraft [N],

$f_{ax}$  .....die axiale Ausziehfestigkeit der Holzschraube [N/mm<sup>2</sup>],

$d$  .....der Nenndurchmesser der Schraube [mm] und

$l_{ef}$  .....die effektiv wirksame Gewindelänge der Schraube [mm] ist.

In gleicher Weise lässt sich die maximale Kraft, welche von den auf Rollschub beanspruchten Flächen aufgenommen werden kann, gemäß Glg. 4.4 berechnen.

$$F_r = 2 \cdot f_r \cdot \bar{a}_1 \cdot l_{ef} \quad \text{Glg. 4.4}$$

Wobei  $F_r$  .....die von den beiden auf Rollschub beanspruchten Flächen aufnehmbare Kraft [N],

$f_r$  .....die Rollschubfestigkeit des Holzes [N/mm<sup>2</sup>],

$\bar{a}_1$  .....der faserparallele, freie Innenabstand zwischen zwei benachbarten Schrauben [mm] und

$l_{ef}$  .....die effektiv wirksame Gewindelänge der Schraube [mm] ist.

Durch Gleichsetzen der beiden Kräfte lässt sich nun der erforderliche, freie Abstand  $\bar{a}_1$  zwischen den Schrauben in Abhängigkeit von der Ausziehfestigkeit der Schraube und der Rollschubfestigkeit des Holzes berechnen, siehe Glg. 4.5.

$$F_{ax} = F_r$$

$$f_{ax} \cdot d \cdot \pi \cdot l_{ef} = 2 \cdot f_r \cdot \bar{a}_1 \cdot l_{ef}$$

$$\bar{a}_1 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_{ax}}{f_r} \cdot d \quad \text{Glg. 4.5}$$

Wobei alle Symbole in den Erläuterungen zu Glg. 4.3 und Glg. 4.4 zu finden sind.

Nimmt man für die Ausziehfestigkeit der Schraube  $f_{ax}$  den Mittelwert aller Versuche mit Einzelschrauben, sowie für die Rollschubfestigkeit  $f_r$  den Mittelwert aller Prüfungen, deren Prüfkörper gegen eine Lagerungsplatte mit durchgehender Öffnung gedrückt wurden, so erhält man einen Mindestabstand  $a_1$  von rund  $6 \cdot d$ , vgl. Glg. 4.6.

$$a_1 = \bar{a}_1 + d = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{7,2}{2,3} \cdot d + d = 5,9 \cdot d \approx 6 \cdot d \quad \text{Glg. 4.6}$$

Vergleicht man den somit berechneten minimalen Abstand von  $6 \cdot d$  mit den Ergebnissen, die sich aus der Variation der Abstände im Rahmen der Vorversuche ergaben, so sind die Werte der erforderlichen Abstände von ähnlicher Größenordnung, siehe Abschnitt „3.4.5 Erforderliche Mindestabstände“. Für mehrere hintereinander liegende Schrauben wäre zusätzlich eine auftretende Biegebeanspruchung des Holzes im Bereich der Schraubenreihe zu berücksichtigen. Dies kann auch als Erklärung für den Abfall der Ausziehfestigkeiten bei größeren Schraubengruppen mit dem gewählten Abstand von  $5 \cdot d$  her-

angezogen werden, vgl. Abb. 4.14 (a).

#### 4.4.9 Anpresskraft nach dem Eindrehen

Das Streudiagramm in Abb. 4.19 zeigt die nach dem Eindrehen der Schrauben mit Hilfe des Drehmomentschlüssels bereits wirkende Vorspannkraft je Schraube innerhalb der verschiedenen Großgruppen in Abhängigkeit von der umgerechneten Rohdichte. Betrachtet man die genannten Werte, so ist zu erkennen, dass mit zunehmender Gruppengröße die resultierende Vorspannkraft grundsätzlich abnimmt. Dieser Trend ist jedoch nicht für die Versuche mit 4 Schrauben zu erkennen, was möglicherweise auf die geringe Anzahl an Versuchen in dieser Gruppe zurückzuführen ist, vgl. Tab. 4.5. Weiters sind die Werte der im Rahmen der Vorversuche durchgeführten Eindrehversuche im Diagramm eingetragen, wobei jene Anpresskraft herangezogen wurde, die unmittelbar nach dem Anziehen mit einem Drehmoment von 6 Nm vorherrschte. Die daraus resultierende, strichliert gezeichnete Trendlinie liegt im Bereich der Werte der kleineren Gruppenausziehversuche, wobei zu beachten ist, dass die Einzelschrauben im Gegensatz zu den Schrauben der Großgruppen nur ein Mal mit einem Drehmoment von 6 Nm eingedreht wurden und dies ein denkbarer Grund dafür ist, dass die Anpresskräfte der Eindrehversuche mit Einzelschrauben nicht über jenen der Hauptversuche zu liegen kommen.

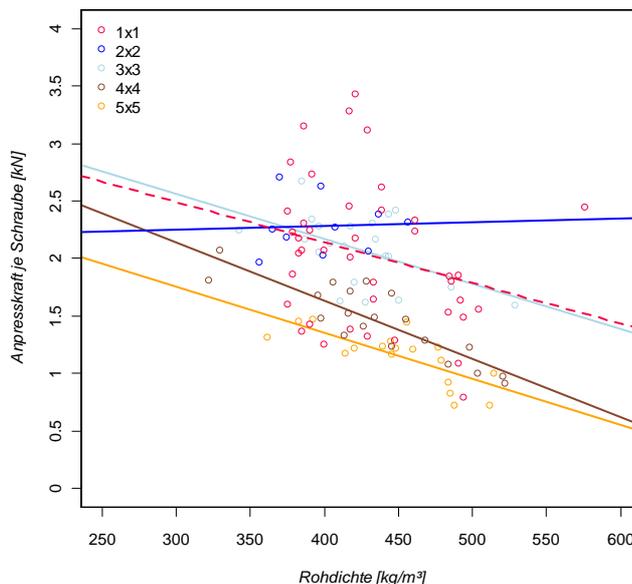


Abb. 4.19 Streudiagramm der Anpresskraft nach dem Eindrehen in Abhängigkeit von der Rohdichte

#### 4.4.10 Exzentrizität der resultierenden Gesamtkraft

Die Abweichung der Lage der resultierenden Kraft vom Gesamtschwerpunkt der Schraubengruppe wurde über die drei gemessenen Kraftkomponenten in den mit Dehnungsmessstreifen bestückten Gewindestangen berechnet. Die nach dem Einbau der Schrauben, d.h. nach dem Vorspannen der Schrauben, vorliegende Exzentrizität ist mit Hilfe von Box-Plots in Abb. 4.20 (a) je Gruppengröße dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Ausmitte mit zunehmender Gruppengröße tendenziell abnimmt. Für die in Abb. 4.20 (b)

dargestellten Box-Plots der Exzentrizität bei Erreichen der Maximalkraft ist ein ähnliches Verhalten erkennbar. Weiters wird durch die beiden Diagramme deutlich, dass die Streuung der Ausmitte bei Erreichen der Maximalkraft deutlich geringer ist als zu Beginn der Prüfung und die Mediane der Exzentrizität stets kleiner gleich 5,0 mm sind. Somit liegt die resultierende Gesamtkraft nahe am Schwerpunkt der Schraubengruppe, was vor allem für die Versuche mit 16 bzw. 25 Schrauben zutrifft, bei denen die Mediane bei 1,8 mm bzw. 1,7 mm liegen.

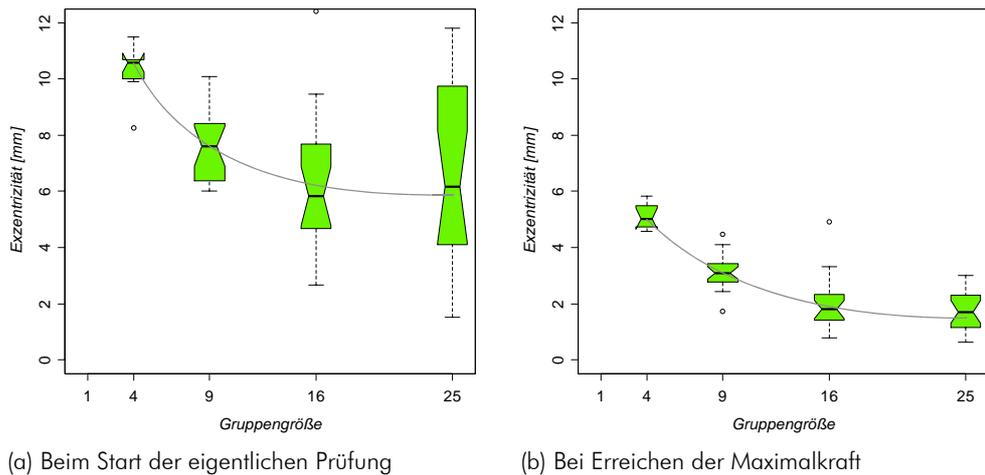


Abb. 4.20 Box-Plots der Exzentrizität der resultierenden Kraft vom Schwerpunkt der Schraubengruppe

In Abb. 4.21 sind die Box-Plots der Momente resultierend aus der maximalen Gesamtkraft multipliziert mit der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Exzentrizität angegeben. Wie zuvor beschrieben, nimmt die Exzentrizität mit zunehmender Gruppengröße ab. Dennoch ist bei dem aus der Ausmitte resultierenden und auf die Schraubengruppe wirkenden Moment eine Zunahme auf Grund der deutlich größeren Bruchkräfte zu erkennen.

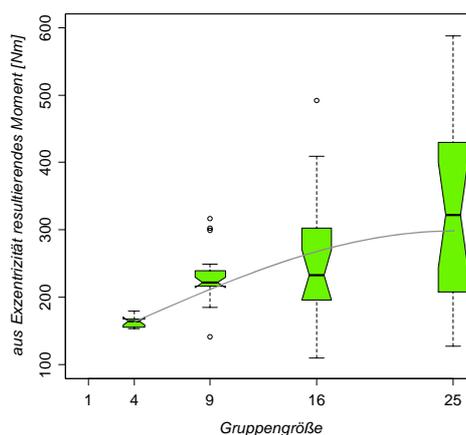


Abb. 4.21 Box-Plots der Momente resultierend aus der Exzentrizität multipliziert mit der Gesamtkraft bei Erreichen der Maximalkraft

Unter der Annahme, dass die resultierende Kraft in Richtung der x-Achse vom Schwerpunkt der Schraubengruppe abweicht, kann man die aus dem Moment resultierende Differenz der auf eine Schraube in der jeweils äußersten Reihe wirkenden Kraft mit Glg. 4.7

berechnen.

$$\Delta F_i = \frac{M_y}{I_{p,x}} \cdot x_i \quad \text{Glg. 4.7}$$

mit  $M_y = F_{\max} \cdot e$  und  $I_{p,x} = \sum_{i=1}^n x_i^2$

Wobei  $\Delta F_i$  .....die zusätzliche Kraft für eine Schraube resultierend aus dem Moment [N],

$M_y$  .....das aus der Exzentrizität resultierende Moment [Nmm],

$I_{p,x}$  .....das Trägheitsmoment der Schraubengruppe [mm<sup>2</sup>],

$x_i$  .....der Abstand der betrachteten Schraube vom Gesamtschwerpunkt der Schraubengruppe in x-Richtung [mm],

$F_{\max}$  ...die maximale Prüfkraft des jeweiligen Versuchs [N],

$e$  .....die Abweichung der Lage der resultierenden Kraft vom Gesamtschwerpunkt bei Erreichen der maximalen Prüfkraft [mm] und

$n$  .....die Gesamtanzahl der Schrauben des jeweiligen Versuchs [-] ist.

In Tab. 4.7 sind getrennt für die verschiedenen Gruppen der Median des aus der Exzentrizität resultierenden Moments, das Trägheitsmoment, der Abstand der am weitesten vom Schwerpunkt entfernt liegenden Schraube in x-Richtung und die daraus berechnete zusätzlich wirkende Kraftkomponente, sowie der Median der maximalen Prüfkraft dividiert durch die Anzahl der Schrauben angegeben. Weiters wurde der prozentuelle Anteil der aus der Ausmitte resultierenden Kraftkomponente an der auf alle Schrauben einer Gruppe aufgeteilten maximalen Prüfkraft berechnet.

Bei den Versuchen mit 4 bzw. 9 Schrauben fällt der mit 34,4% bzw. 15,2% sehr große Anteil der zusätzlichen Kraftkomponente auf. Die geringere Anzahl an Schrauben in der Gruppe und die somit geringere Maximalkraft führt dazu, dass die Exzentrizität der resultierenden Kraft vom Schwerpunkt der Schraubengruppe größer ist. Darüber hinaus wirkt sich die Inhomogenität des Holzes bei nur 4 oder 9 Schrauben stärker aus. Bei den Versuchen mit 16 und 25 Schrauben ist hingegen der Einfluss der Exzentrizität deutlich geringer. Daher sollte in einer Verbindung stets eine größere Anzahl an Schrauben eingebaut werden.

Gruppen- größe	$M_y$ [Nmm]	$I_{p,x}$ [mm <sup>2</sup> ]	$x_{i,max}$ [mm]	$\Delta F_i$ [N]	$F_{\max,screw}$ [N]	$\Delta F/F_{\max,screw}$ [%]
4	164563	900	15	2743	7997	34,3
9	222471	5400	30	1236	8117	15,2

Tab. 4.7 Auswirkung der Exzentrizität der resultierenden Gesamtkraft vom Schwerpunkt der Schraubengruppe

Gruppen- größe	$M_y$ [Nmm]	$I_{p,x}$ [mm <sup>2</sup> ]	$x_{i,max}$ [mm]	$\Delta F_i$ [N]	$F_{max,screw}$ [N]	$\Delta F/F_{max,screw}$ [%]
16	233271	18000	45	583	8269	7,1
25	321790	45000	60	429	7581	5,7

Tab. 4.7 Auswirkung der Exzentrizität der resultierenden Gesamtkraft vom Schwerpunkt der Schraubengruppe



## 5 Schlussbetrachtung

### 5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurden insgesamt 1026 Schraubenausziehprüfungen in Trägern der Holzart Fichte, die der Sortierklasse S 10 zugeordnet sind, durchgeführt. Dazu wurden selbstbohrende Holzschrauben der Firma Schmid Schrauben Hainfeld GmbH mit der Bezeichnung „Star Drive“, einem Nenndurchmesser  $d$  von 6 mm und einer Teilgewindelänge von 75 mm verwendet. Beginnend bei der Prüfung von Einzelschrauben und Schraubenpaaren wurden Großgruppen mit 4, 9, 16 und 25 Schrauben untersucht und zur Beurteilung

- der Ausziehfestigkeit einer Schraube,
- der erforderlichen Mindestabstände zwischen einem Schraubenpaar parallel bzw. normal zur Faser,
- der momentanen Anpresskraft in Abhängigkeit vom aufgebrauchten Drehmoment während des Eindrehens, sowie
- der Gruppenwirkung axial beanspruchter Holzschrauben herangezogen.

Für die Prüfungen mit mehr als zwei Schrauben wurde ein Abstand von  $5 \cdot d$  in beide Richtungen gewählt, da dies dem in der ÖNORM EN 1995-1-1 angegebenen Wert normal zur Faser entspricht. Dieser Abstand ist jedoch für die faserparallele Richtung kleiner als der Mindestabstand gemäß Eurocode 5, welcher ebendort mit  $7 \cdot d$  festgesetzt ist. Die DIN 1052 regelt die beiden relevanten Mindestabstand für die vorliegende Anordnung der Schrauben mit  $7 \cdot d$  und die SIA 265 fordert einen minimalen Abstand von nur  $4 \cdot d$ , vgl. Abschnitt „2.2 Normative Festlegungen“. Selbstbohrende Schrauben werden in der Regel auf Basis von Zulassungen, die den Schraubenabstand parallel und normal zur Faser für gewöhnlich mit  $4 \cdot d$  angeben, bemessen. Aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche in Abschnitt „3.4.5 Erforderliche Mindestabstände“ wurde für die Untersuchungen der Großgruppen ein Wert von  $5 \cdot d$  für die Schraubenabstände in beide Richtungen festgesetzt.

Verschiedene Merkmale, wie durchschraubte oder berührte Äste bzw. Markbereiche, vorhandenes Reaktionsholz, Harzansammlungen, sowie das Aufspalten des Prüfkörpers während der laufenden Prüfung, wurden näher betrachtet. Dies führte zum Ausschluss von rund 13% aller Prüfungen und reduzierte den zur Auswertung herangezogenen Datensatz auf 885 Prüfungen.

Die **Prüfungen mit Schraubenpaaren** führten unter Berücksichtigung der Ergebnisse bezüglich der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben zu den nachfolgend angeführten Erkenntnissen. Bei zwei in Faserrichtung hintereinander angeordneten Schrauben nimmt die Ausziehfestigkeit einer Schraube bei geringen Abständen gegenüber den Werten einer Einzelschraube deutlich ab, vgl. Abb. 3.27 (a). Erst bei einem **faserparallelen**

Schraubenabstand  $a_1$  größer oder gleich  $7 \cdot d$  ist keine gegenseitige Beeinflussung festzustellen. Werden die Schrauben hingegen normal zur Faser nebeneinander angeordnet, so ist bis zu einem Abstand  $a_2$  größer oder gleich  $3 \cdot d$  kein Einfluss auf die Ausziehfestigkeit feststellbar und auch bei einem Abstand von  $2 \cdot d$  ist der Median der Ausziehfestigkeiten nur um 4,3% geringer als bei den Referenzversuchen mit einer Schraube, siehe Abb. 3.27 (b).

Die Prüfungen mit Schraubengruppen zeigten mit zunehmender Gruppengröße vermehrt ein Versagen auf Blockscheren des Holzes, wodurch eine Erweiterung des Prüfumfanges mit abgeänderter Versuchsconfiguration erfolgte. Initial wurde die Oberfläche des Prüfkörpers lediglich außerhalb der Schraubengruppe gehalten. Dies führte zu einem Abfall der Ausziehfestigkeit mit steigender Schraubenanzahl innerhalb einer Verbindung, siehe Abb. 4.14 (a). Die geltenden Regeln betreffend die effektiv wirksame Verbindungsmittellanzahl  $n_{ef} = n^{0,9}$  werden dabei von den Prüfungen mit 4 und 9 Schrauben bestätigt. Für die Versuche mit 16 bzw. 25 Schrauben kann diesbezüglich keine Aussage getroffen werden, da bei der genannten Konfiguration zu 95% Blockscherversagen auftrat.

Mit Hilfe einer durchgehenden Lagerung des Prüfkörpers konnte bei den Hauptversuchen des erweiterten Prüfumfanges auch für die Schraubengruppen mit 16 Stück zumindest für die Hälfte der Prüfungen ein Ausziehversagen erreicht werden. Hier ist jedoch kein Abfall der Ausziehfestigkeit mit zunehmender Schraubenanzahl zu beobachten, vgl. Abb. 4.14 (b).

Für die Prüfungen mit Schraubengruppen, die auf Blockscheren des Holzes versagten, wurden nach Abzug der Querzugfestigkeit die Schubspannung normal zur Faser bzw. die Rollschubspannung berechnet. Es ist zu beachten, dass das Holzversagen eine höhere Streuung als das Ausziehversagen der Schrauben aufweist. Daher ist die Auswertung der auf Blockscheren versagten Prüfungen aufgrund der geringen Anzahl nur bedingt aussagekräftig. Dennoch kann eine geringere Spannung bei den Prüfungen mit 25 Schrauben im Vergleich zu den Versuchen mit 16 Schrauben festgestellt werden, vgl. Abb. 4.16 (a) bzw. Abb. 4.17 (a).

## 5.2 Resümee

Basierend auf den im Rahmen dieser Masterarbeit gewonnenen Erkenntnissen, können nachstehende Empfehlungen für die Bemessung von auf Herausziehen beanspruchten Schraubengruppen gegeben werden. Dabei ist zu beachten, dass für ein endgültiges Ergebnis betreffend die Gruppenwirkung von axial belasteten Schraubengruppen noch weitere Forschungsarbeiten notwendig sind.

Die Abstände  $a_1$  parallel und  $a_2$  normal zur Faser sind so zu wählen, dass die Bedingungen in Glg. 5.1 und Glg. 5.2 eingehalten werden, wobei ausgehend von dem Mindestabstand in faserparalleler Richtung das Verhältnis von  $a_1:a_2$  mit 2:1 gewählt wurde. Dies führt dazu, dass jeder Schraube zur Lastabtragung ein Holzbereich  $A_{12}$  gemäß Glg. 5.3 zugewiesen werden kann. Beispielhafte Anordnungen der Schrauben innerhalb einer Gruppe mit 16 Stück sind in Abb. 5.1 (a) und (b) dargestellt.

$$a_1 \geq 7 \cdot d$$

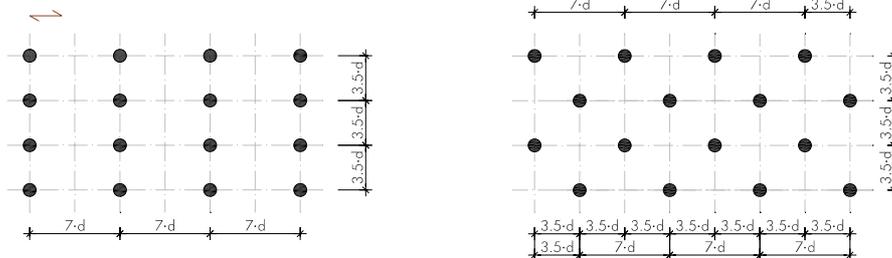
Glg. 5.1

$$a_2 \geq 3,5 \cdot d$$

Glg. 5.2

$$A_{12} \geq 24 \cdot d^2$$

Glg. 5.3



(a) Variante 1

(b) Variante 2

Abb. 5.1 Vorschlag zur Anordnung einer Schraubengruppe mit 16 Schrauben

Die **effektiv wirksame Verbindungsmittelanzahl**  $n_{ef}$  von auf Herausziehen beanspruchten Schraubengruppen kann je nach Konfiguration gemäß Glg. 5.4 bzw. Glg. 5.5 berechnet werden.

$$n_{ef} = n^{0,9} \begin{cases} \text{für Holz-Holz-Verbindungen} \\ \text{für Stahlblech-Holz-Verbindungen} \\ \text{mit „abhebenden“ Stahlblechen} \end{cases} \quad \text{Glg. 5.4}$$

$$n_{ef} \approx n \quad \text{für Stahlblech-Holz-Verbindungen bei denen} \quad \text{Glg. 5.5}$$

die Stahlplatte „angepresst“ wird

## 5.3 Ausblick und zukünftige Forschungsaufgaben

Wie bereits in Abschnitt „5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse“ beschrieben, trat bei vielen Großgruppenversuchen ein Blockscherversagen des Holzes auf. Daher sollte zunächst eine Prüfkongfiguration gefunden werden, die die Anzahl der auf Blockscheren des Holzes versagenden Prüfungen auch bei größeren Schraubengruppen verringert. Als erster Schritt ist der Abstand zwischen den Schrauben in faserparalleler Richtung zu vergrößern. Durch Variation der Schraubenabstände in beide Richtungen sind auch detailliertere Angaben zu den Mindestabständen ableitbar.

Weitere Untersuchungen zum Gruppenausziehverhalten von selbstbohrenden Holzschrauben unter axialer Belastung sind am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz bereits im Rahmen einer fortführenden Masterarbeit in Durchführung.



# Literaturverzeichnis

Die verwendete Literatur ist nachfolgend getrennt nach Veröffentlichungen, Normen und Internetquellen, sowie Datenblättern und Zulassungen jeweils in alphabetischer Reihenfolge angeführt.

## Veröffentlichungen

- [1] Blaß, H. J.: Selbstbohrende Schrauben als hochwirksames Verbindungsmittel  
In: Verbindungstechnik im Ingenieurholzbau, 6. Grazer Holzbau-Fachtagung, Graz (A), 2007
- [2] Blaß, H. J.; Bejtka, I.: Selbstbohrende Holzschrauben und ihre Anwendungsmöglichkeiten  
In: Holzbau Kalender 2004, Bruderverlag, Karlsruhe (D), 2004
- [3] Brandner, R.: Systemeffekte von aus Konstruktionsvollholz aufgebauten Querschnitten  
Diplomarbeit, Studiengang „Holztechnik und Holzwirtschaft“, Fachhochschule Salzburg, Kuchl (A), 2006
- [4] Hartung, J.; Elpelt, B.; Klösner, K.-H.: Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik  
14. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München (D), 2005
- [5] Krenn, H.; Schickhofer, G.: Traglast von auf Zug beanspruchten Schraubenverbindungen mit Stahlblechen  
In: Verbindungstechnik im Ingenieurholzbau, 6. Grazer Holzbau-Fachtagung, Graz (A), 2007
- [6] Mombächer, R.: Holz-Lexikon, Band 1 (A-M)  
3. Auflage, DRW-Verlag, Stuttgart (D), 1988
- [7] Mombächer, R.: Holz-Lexikon, Band 2 (N-Z)  
3. Auflage, DRW-Verlag, Stuttgart (D), 1988
- [8] Pirnbacher, G.: Beanspruchungs- und Optimierungspotentiale selbstbohrender Holzschrauben  
In: Internationales Holzbau-Forum (IHF 2009), Band I, Forum Holzbau, Biel (CH), 2009
- [9] Racher, P.: Mechanische Holzverbindungen - Allgemeines  
In: Blaß, H. J.; Görlacher, R.; Steck, G. (Hrsg.): STEP 1 - Holzbauwerke nach Eurocode 5 - Bemessung und Baustoffe, Fachverlag Holz, Düsseldorf (D), 1995

- [10] Schickhofer, G.: Holzbau - Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz Skriptum zur Lehrveranstaltung „Holzbau“, Version 1.3.1, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Graz (A), 2009
- [11] Schickhofer, G.; Augustin, M.; Jeitler, G.: Einführung in die Verbindungstechnik mit Stabdübeln, Schrauben und eingeklebten Gewindestangen In: Verbindungstechnik im Ingenieurholzbau, 6. Grazer Holzbau-Fachtagung, Graz (A), 2007
- [12] Schmidt, P. A.: Picea abies In: Roloff, A.; Weisgerber, H.; Lang, U., Stimm, B. (Hrsg.): Bäume Mitteleuropas, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (D), 2010
- [13] Schwarze, J.: Grundlagen der Statistik, Band 1 (Beschreibende Verfahren) 9. Auflage, Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, Herne/Berlin (D), 2001

## Normen

- [14] DIN 1052: 2008-12  
Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken  
Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [15] DIN 68364: 2003-05  
Kennwerte von Holzarten  
Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten
- [16] ÖNORM B 1995-1-1: 2009-07-01  
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten  
Teil 1-1 Allgemeines  
Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [17] ÖNORM EN 1310: 1997-09-01  
Rund- und Schnittholz - Messung der Merkmale
- [18] ÖNORM EN 13183-1: 2004-02-01  
Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz  
Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren
- [19] ÖNORM EN 1382: 1999-11-01  
Holzbauwerke  
Prüfverfahren  
Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmitteln
- [20] ÖNORM EN 14592: 2009-02-01  
Holzbauwerke  
Stifförmige Verbindungsmittel  
Anforderungen

- [21] ÖNORM EN 1995-1-1: 2009-07-01  
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten  
Teil 1-1 Allgemeines  
Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [22] ÖNORM EN 350-2: 1994-12-01  
Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten  
Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz  
Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von  
ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa
- [23] ÖNORM EN 384: 2010-05-15  
Bauholz für tragende Zwecke  
Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und  
Rohdichte
- [24] ÖNORM ISO 3131: 1996-06-01  
Holz  
Bestimmung der Dichte für physikalische und mechanische Prüfungen
- [25] SIA 265: 2003  
Holzbau

## Internetquellen

- [26] Wikibooks, Die freie Bibliothek: GNU R  
[http://de.wikibooks.org/wiki/GNU\\_R](http://de.wikibooks.org/wiki/GNU_R), abgerufen am 27.09.2010
- [27] Wikipedia, Die freie Enzyklopädie: Box-Plot  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Box-Plot>, abgerufen am 27.09.2010

## Datenblätter und Zulassungen

- [28] Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-435 (gültig bis 31.12.2014)  
Holzbauschrauben Star Drive, Rapid, Rapid Perfekt und Schmid SP als Holz-  
verbindungsmittel  
Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin (D), 2009
- [29] Produktinformation PI 416 1.0107 - Blatt 1 und Blatt 2  
Stand-Prüfmaschinen Z050 bis Z250 der Allround-Line  
Zwick GmbH & Co. KG, Ulm (D)



# Abbildungsverzeichnis

## 1 Einleitung

## 2 Stand des Wissens

2.1	Abstände untereinander sowie von den Hirnholzenden und den Rändern [21]..	7
2.2	Definitionen der Verbindungsmittelabstände [14].....	10
2.3	anrechenbare Einschraubtiefe [25] .....	13
2.4	Verteilung der Feuchtegehalte aller Vor- und Hauptversuche .....	18

## 3 Vorversuche

3.1	Universalprüfmaschine lignum_uni_275 .....	19
3.2	Skizze der verwendeten Holzbauschraube [28] .....	20
3.3	Variation der Einschraubrichtung.....	22
3.4	Prüfkörper-Typ A.....	22
3.5	Variation der Schraubenabstände.....	23
3.6	Variation der Art des Eindrehens .....	25
3.7	Bezeichnung der Vorversuche .....	26
3.8	Herstellung der Prüfkörper aus den Trägern der Gruppen I und II .....	28
3.9	Ablauf der Ausziehversuche für Einzelschrauben .....	29
3.10	Ablauf der Ausziehversuche für Schraubenpaare.....	29
3.11	allgemeiner Versuchsaufbau für die Eindrehversuche .....	30
3.12	Definition der Einschraubrichtung und der durchbohrten Astlänge .....	32
3.13	Histogramme der Einschraubrichtung für die Daten aller Ausziehversuche.....	33
3.14	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ast“ .....	38
3.15	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Mark“ .....	39
3.16	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Reaktionsholz“ .....	40
3.17	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ansammlung von Harz“ .....	41

3.18	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Aufspalten des Prüfkörpers“ ...	42
3.19	Histogramm der umgerechneten Rohdichte.....	43
3.20	Histogramme der umgerechneten Rohdichte je Prüfumfang.....	43
3.21	Box-Plots der umgerechneten Rohdichte je Versuchsserie und Trägergruppe ..	44
3.22	Histogramm des Feuchtegehalts .....	44
3.23	Box-Plots des Feuchtegehalts je Versuchsserie und Trägergruppe .....	45
3.24	Box-Plots der Jahrringbreite je Versuchsserie und Trägergruppe .....	45
3.25	Box-Plots der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben je Einschraubrichtung .....	46
3.26	Streudiagramme zur Untersuchung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben	47
3.27	Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit je Abstand (parallel bzw. normal) ..	48
3.28	Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit je Abstand (parallel bzw. normal) für die tangentielle Einschraubrichtung .....	49
3.29	Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit je Abstand (parallel bzw. normal) für die radiale Einschraubrichtung .....	49
3.30	Box-Plots der Ausziehfestigkeit je Versuchsserie und Trägergruppe .....	50
3.31	Streudiagramm der momentanen Anpresskraft über der zugehörigen Drehmomentstufe .....	51
3.32	Streudiagramm zur Untersuchung der umgerechneten Rohdichte .....	51
3.33	Streudiagramm zur Untersuchung der umgerechneten Rohdichte für Versuche mit Ausziehversagen.....	52
3.34	Streudiagramm zur Untersuchung der umgerechneten Rohdichte für Versuche mit Schraubenbruch .....	53
<b>4</b>	<b>Hauptversuche</b>	
4.1	Prüfkörper der Hauptversuche.....	58
4.2	allgemeiner Aufbau der Prüfvorrichtung für die Gruppenausziehversuche .....	59
4.3	Ablauf der Gruppenausziehversuche .....	60
4.4	Messeinrichtungen der Gruppenausziehversuche.....	61
4.5	Blockscherversagen der Prüfung „37_N_5p_5n_25_5d_r“ .....	62

4.6	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ast“ .....	64
4.7	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Reaktionsholz“ .....	65
4.8	Streudiagramm zur Beurteilung des Merkmals „Ansammlung von Harz“ .....	66
4.9	Verteilung der umgerechneten Rohdichte .....	67
4.10	Verteilung des Feuchtegehalts .....	68
4.11	Verteilung der Jahrringbreite .....	68
4.12	Stahlplatten zur Lagerung des Prüfkörpers .....	69
4.13	Streudiagramme zur Beurteilung der Einflüsse der Lagerungsplatte und der Versagensart.....	70
4.14	Box-Plots der bezogenen Ausziehfestigkeit.....	71
4.15	Definition der auf Querzug, Abscheren bzw. Rollschub beanspruchten Flächen beim Versagen auf Blockscheren.....	71
4.16	Box-Plots der normierten Schubspannung normal zu Faser (Scherung) .....	73
4.17	Box-Plots der normierten Rollschubspannung .....	74
4.18	Skizze zur Abtragung der Ausziehkräfte bei einem Schraubenpaar.....	74
4.19	Streudiagramm der Anpresskraft nach dem Eindrehen in Abhängigkeit von der Rohdichte.....	76
4.20	Box-Plots der Exzentrizität der resultierenden Kraft vom Schwerpunkt der Schraubengruppe .....	77
4.21	Box-Plots der Momente resultierend aus der Exzentrizität multipliziert mit der Gesamtkraft bei Erreichen der Maximalkraft.....	77

## 5 Schlussbetrachtung

5.1	Vorschlag zur Anordnung einer Schraubengruppe mit 16 Schrauben.....	83
-----	---	----

## A Anordnung der Versuchsserien je Prüfkörper

A.1	Prüfkörper-Typ B.....	95
A.2	Prüfkörper-Typ C .....	96
A.3	Prüfkörper-Typ D .....	96
A.4	Prüfkörper-Typ E.....	96

A.5	Prüfkörper-Typ G.....	97
A.6	Prüfkörper-Typ H.....	97
A.7	Prüfkörper-Typ J.....	97
A.8	Prüfkörper-Typ F.....	98
A.9	Prüfkörper-Typ K.....	98
A.10	Prüfkörper-Typ L.....	99
A.11	Prüfkörper-Typ M.....	99
A.12	Prüfkörper-Typ N.....	100
A.13	Prüfkörper-Typ O.....	100

# Tabellenverzeichnis

## 1 Einleitung

## 2 Stand des Wissens

- 2.1 Mindestabstände untereinander sowie von den Hirnholzenden und den Rändern bei in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben [21]..... 7
- 2.2 Mindestabstände von Nägeln [14] ..... 11
- 2.3 charakteristische Werte für die Ausziehparameter und die Kopfdurchziehparameter in  $N/mm^2$  für Holzschrauben [14] ..... 12
- 2.4 minimale Abstände für in Schaftrichtung belastete Schrauben [25] ..... 13
- 2.5 Zusammenfassung der Kennwerte eines Box-Plots [27]..... 18

## 3 Vorversuche

- 3.1 Schraubengeometrie, Angaben in Millimeter [28] ..... 20
- 3.2 Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben (Prüfkörper-Typ A)..... 22
- 3.3 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ G und H)..... 23
- 3.4 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für radial eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ D und E)..... 24
- 3.5 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_2$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ J) ..... 24
- 3.6 Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_2$  für radial eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ B und C) ..... 24
- 3.7 Versuchsserien zur Bestimmung der Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment (Prüfkörper-Typ F) ..... 25
- 3.8 Bandbreite der Parameter in der Bezeichnung der Vorversuche ..... 26
- 3.9 zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit (Prüfkörper-Typ M)..... 33
- 3.10 zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ K und L) ..... 34

3.11	zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände $a_2$ für tangential eingedrehte Schrauben (Prüfkörper-Typ K und M) .....	34
3.12	Anzahl der Versuche mit Einzelschrauben je Einschraubrichtung .....	46
3.13	Anzahl der Versuche je Abstand (parallel bzw. normal) .....	47
3.14	Anzahl der Werte für die momentane Anpresskraft je Drehmomentstufe .....	51

#### **4 Hauptversuche**

4.1	Bandbreite der Parameter in der Bezeichnung der Hauptversuche .....	55
4.2	Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe .	57
4.3	zusätzliche Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe (Prüfkörper-Typ P und Q) .....	62
4.4	Versuchsserien zur Bestimmung des Blockscherungsverhaltens .....	63
4.5	Anzahl der Prüfungen je Lagerungs- und Versagensart .....	67
4.6	Ergebnisse der Blockscherversuche .....	72
4.7	Auswirkung der Exzentrizität der resultierenden Gesamtkraft vom Schwerpunkt der Schraubengruppe .....	78

#### **5 Schlussbetrachtung**

#### **A Anordnung der Versuchsserien je Prüfkörper**

# A Anordnung der Versuchsserien je Prüfkörper

Anhang A zeigt die Anordnung der Prüfungen bzw. der Versuchsserien im jeweiligen Prüfkörper, sofern diese nicht bereits im Hauptteil der vorliegenden Arbeit abgebildet sind.

## A.1 Vorversuche

### A.1.1 Erforderliche Mindestabstände

Nachstehend sind in Abb. A.1 bis Abb. A.7 die unterschiedlichen Prüfkörper der Versuchsserien zur Bestimmung der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  und  $a_2$ , sowie die Anordnung der einzelnen Versuche im jeweiligen Prüfkörper dargestellt.

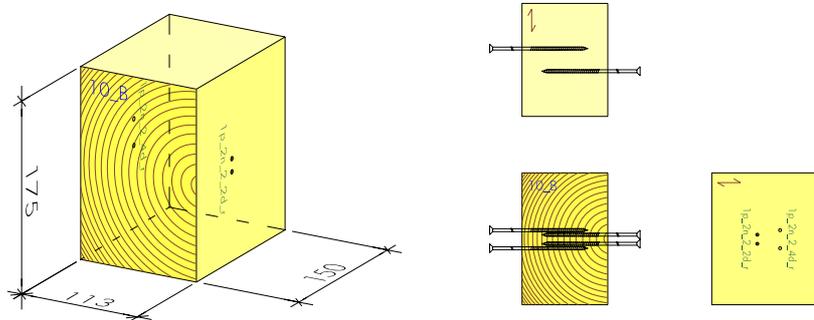


Abb. A.1 Prüfkörper-Typ B

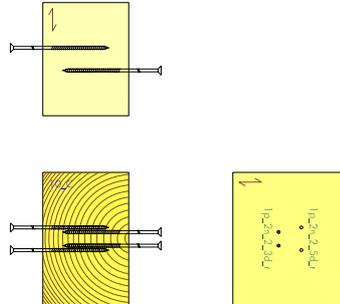
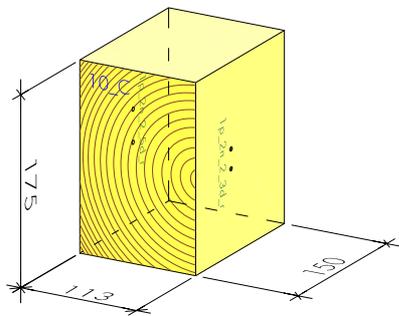


Abb. A.2 Prüfkörper-Typ C

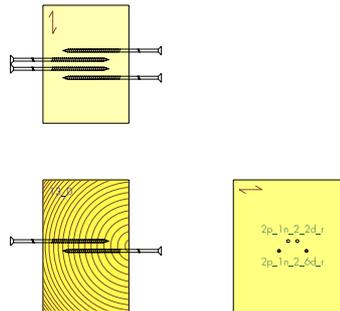
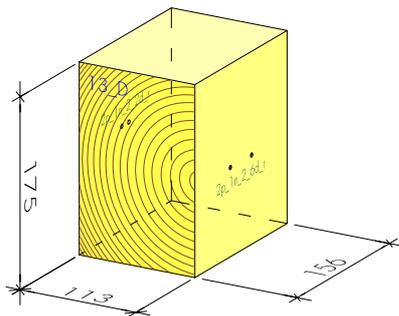


Abb. A.3 Prüfkörper-Typ D

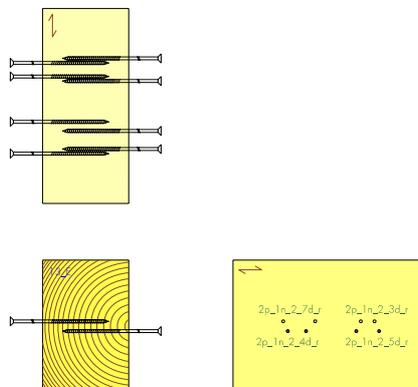
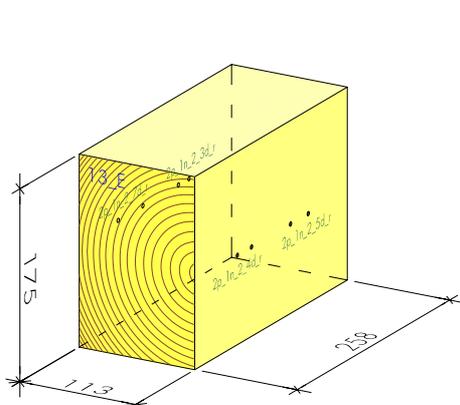


Abb. A.4 Prüfkörper-Typ E

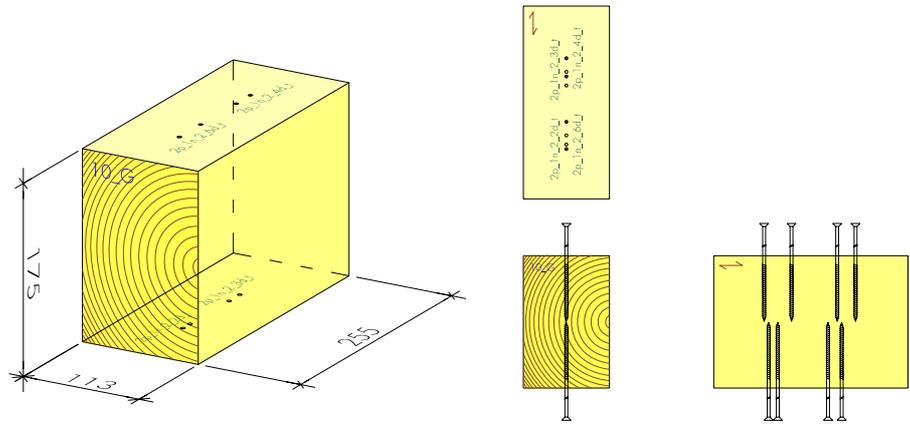


Abb. A.5 Prüfkörper-Typ G

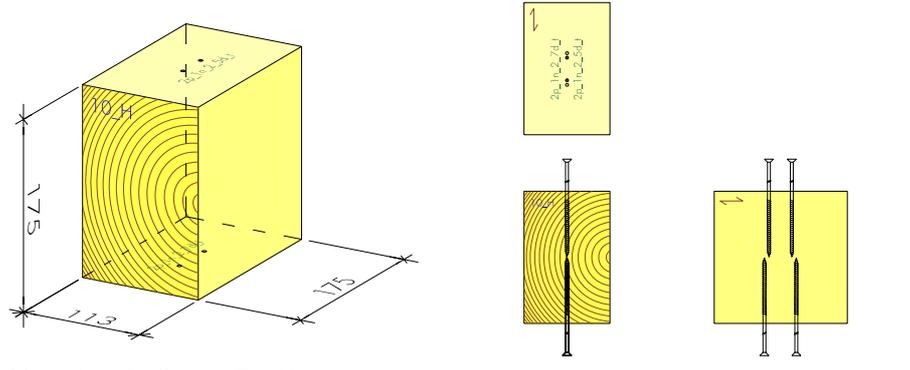


Abb. A.6 Prüfkörper-Typ H

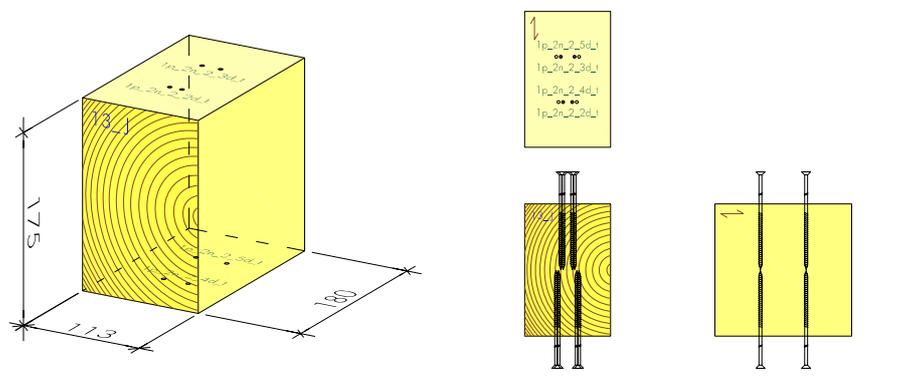


Abb. A.7 Prüfkörper-Typ J

### A.1.2 Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment

Die Anordnung der Versuche zur Bestimmung der Anpresskraft in Abhängigkeit vom Drehmoment im Prüfkörper des Typs F sind der Abb. A.8 zu entnehmen.

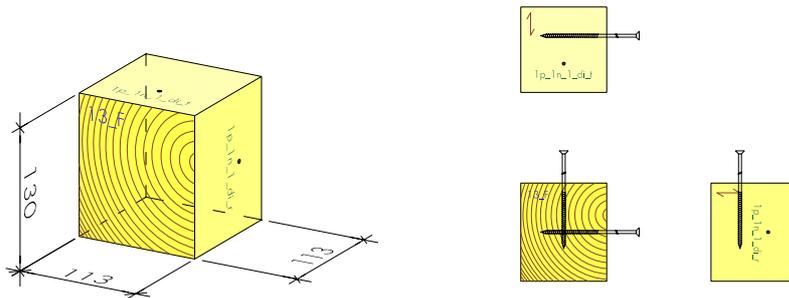


Abb. A.8 Prüfkörper-Typ F

### A.1.3 Erweiterter Prüfumfang

Abb. A.9, Abb. A.10 und Abb. A.11 zeigen die Prüfkörper des erweiterten Prüfumfanges, sowie die Anordnung der darin geprüften Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit, sowie der erforderlichen Mindestabstände  $a_1$  und  $a_2$ .

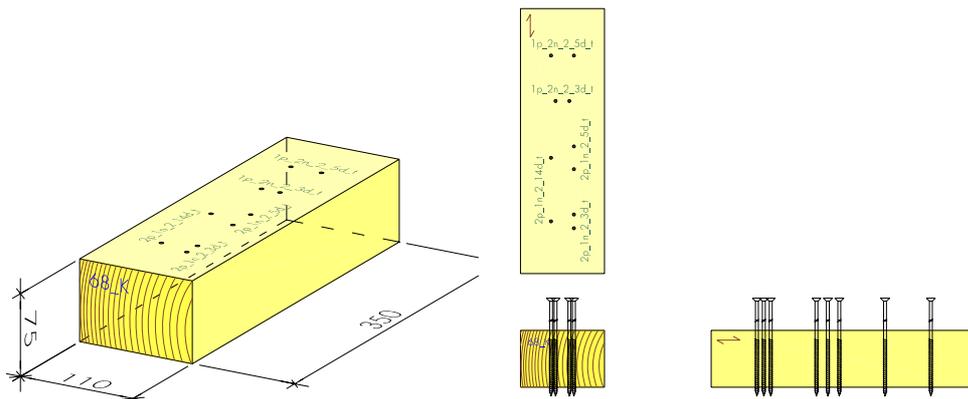


Abb. A.9 Prüfkörper-Typ K

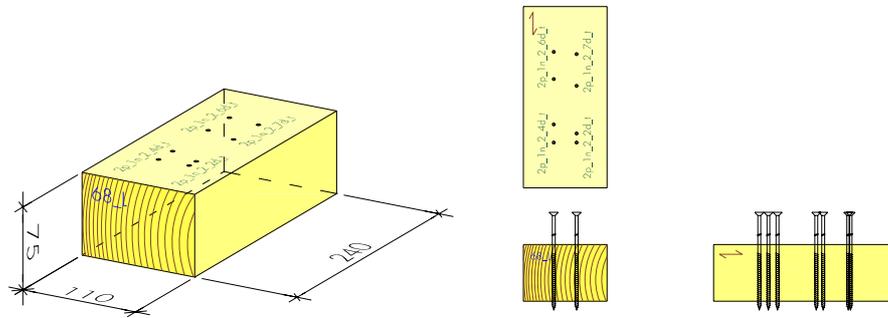


Abb. A.10 Prüfkörper-Typ L

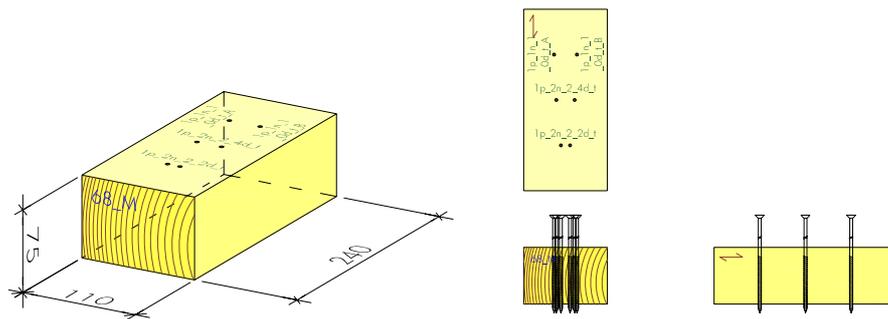


Abb. A.11 Prüfkörper-Typ M

## A.2 Hauptversuche

Die Anordnung der Versuchsserien zur Bestimmung der Ausziehfestigkeit einer Schraubengruppe im jeweiligen Prüfkörper des Typs N bzw. O ist in Abb. A.12 und Abb. A.13 dargestellt. Dabei zeigt Abb. A.12 die Anordnung der Schraubengruppe für die Serie „5p\_5n\_25\_5d\_r“. Das Schraubenbild für die beiden anderen in Prüfkörpern des Typs N durchgeführten Serien, d.h. für die Serien „4p\_4n\_16\_5d\_r“ und „3p\_3n\_09\_5d\_r“, wurde ebenfalls zentrisch im Prüfkörper angeordnet.

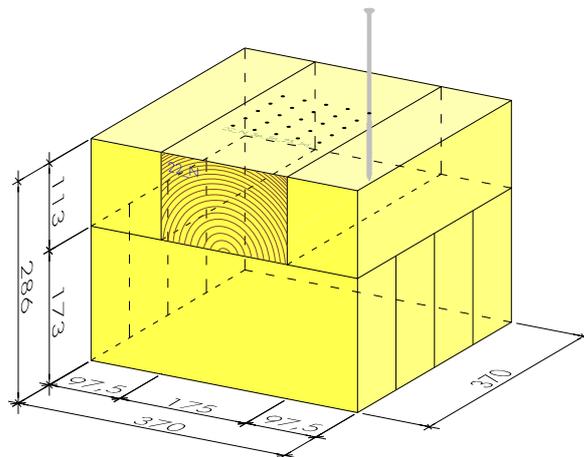


Abb. A.12 Prüfkörper-Typ N

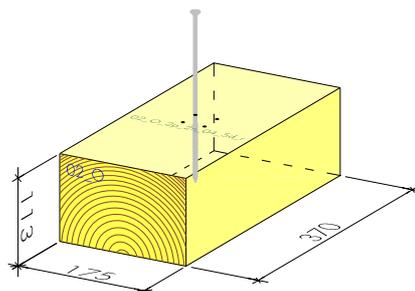


Abb. A.13 Prüfkörper-Typ O



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 | D – Diplomarbeiten | M – Masterarbeiten

Institutskenzahl:

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