

**Kalibrierung der charakteristischen
Schubfestigkeitskennwerte für Vollholz
in EN 338 entsprechend den Rahmen-
bedingungen der nationalen Sortiernorm**

T 3061

T 3061

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2004, ISBN 3-8167-6667-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de

**Kalibrierung der charakteristischen Schubfestigkeitskennwerte
für Vollholz in EN 338 entsprechend den
Rahmenbedingungen der nationalen Sortiernorm**

Bericht Nr. 04502

Die Arbeit wurde gefördert durch die
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
mit Mitteln des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin

P. Glos, J.K. Denzler

August 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Material und Methode	6
2.1	Material	6
2.2	Methode	7
3	Ergebnisse astfreier Prüfkörper	11
3.1	Allgemeines.....	11
3.2	Einfluss der Jahringlage.....	13
3.3	Einfluss der Rohdichte	15
3.4	Einfluss der Markröhre	20
4	Prüfkörper mit Ästen	21
5	Vergleich mit weiteren Versuchswerten	24
5.1	Versuche nach EN 408	24
5.2	Versuche an BS-Holz-Lamellen und BS-Holz	25
6	Schlussfolgerungen	27
7	Zusammenfassung	29
8	Literatur.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Einteilung und Bezeichnung der verschiedenen Jahrringlagen.....	7
Abb. 2.2:	Prüfkörper und Prüfanordnung nach EN 408.	8
Abb. 2.3:	Schablone zur Fixierung von unterer und oberer Stahlplatte bei der Verklebung mit dem Prüfkörper – untere Stahlplatte.....	9
Abb. 2.4:	Schablone zur Fixierung von unterer und oberer Stahlplatte bei der Verklebung mit dem Prüfkörper – obere Stahlplatte.....	10
Abb. 2.5:	Einlegen der fixierten Schubprüfkörper in die Presse zum Aushärten des Klebstoffes.	10
Abb. 3.1:	Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und des Klebebruchanteils; n = 169.	12
Abb. 3.2:	Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und der Jahrringlage nach Jahrringlage getrennt; n = 150.....	14
Abb. 3.3:	Bruchbilder einer Probe mit radialen Jahrringen (1180) und einer Probe mit 45-Grad-Orientierung der Jahrringe (4306).	15
Abb. 3.4:	Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und der Jahrringlage; n = 150.	17
Abb. 3.5:	Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichtegruppe I für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.....	18
Abb. 3.6:	Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichtegruppe II für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.....	18
Abb. 3.7:	Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichtegruppe III für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.....	19
Abb. 3.8:	Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichtegruppe IV für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.....	19
Abb. 3.9:	Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichtegruppe V für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.....	20
Abb. 3.10:	Schubfestigkeit ast- und markfreier sowie markhaltiger Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und der Jahrringlage; n = 170.	21
Abb. 4.1:	Astverläufe entsprechend der Jahrringlage.....	22
Abb. 4.2:	Schubfestigkeit in Abhängigkeit der Ästigkeit KAR der 102 asthaltigen Prüfkörper.	23

Abb. 4.3:	Versagen eines Astprüfkörpers mit durchgehendem Schmalseitenast (Probe 7544).	24
Abb. 5.1:	Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte; n = 240.	25
Abb. 5.2:	Versuchsergebnisse an BSH und BSH-Lamellen im Vergleich zu Versuchsergebnissen nach EN 408.	26
Abb. 6.2:	Schubfestigkeitswerte nach Norm und nach Versuch (n=150) in Abhängigkeit der charakteristischen Rohdichte.	28

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Definition der Rohdichtegruppen bei einem Holzfeuchtegehalt von u = 12%.	7
Tab. 3.1:	Prüfkörper mit Klebebruchanteil < 20% unterteilt nach Jahrringlage und Rohdichtegruppe.	11
Tab. 3.2:	Schubfestigkeit f_v [N/mm ²] der astfreien Prüfkörper.	13
Tab. 3.3:	Soll- und Ist-Verteilung der Rohdichtegruppen der astfreien Prüfkörper.	17
Tab. 3.4:	Schubfestigkeit und Rohdichte der ast- und markfreien sowie der markhaltigen Prüfkörper.	20
Tab. 4.1:	Schubfestigkeit und Rohdichte für asthaltige Prüfkörper unterteilt nach Jahrringlage.	23
Tab. 6.1:	Gegenüberstellung von Normwerten und Versuchswerten für die charakteristische Schubfestigkeit von Pappel- und Nadelholz.	28

1 Einleitung

Die europäische Produktnorm für Bauschnittholz EN 14 081-1 „Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ steht kurz vor der endgültigen Verabschiedung und der Veröffentlichung als harmonisierte europäische Norm, die dann in allen Mitgliedsländern der EU verbindlich einzuführen und anzuwenden ist. Bezüglich der charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte bezieht sich die EN 14 081-1 auf die Normen EN 1912 „Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen - Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten“, EN 384 „Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte“ und EN 338 „Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen“. Dabei wird verlangt, dass die charakteristischen Werte der harmonisierten Eigenschaften in Übereinstimmung mit EN 384 zu bestimmen sind, wobei sich die EN 384 auf die Prüfnorm EN 408 „Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften“ bezieht. EN 338 enthält ein System von Festigkeitsklassen, deren jeweils charakteristische Werte der harmonisierten Eigenschaften zugeordnet sind. Die nationalen Sortierklassen werden diesen Festigkeitsklassen in EN 1912 zugeordnet.

Historisch sind die EN 338 und die EN 384, in denen charakteristische Werte für die Schubfestigkeit bzw. Rechenverfahren zu deren Bestimmung angegeben sind, früher entstanden als die Prüfnorm EN 408, die in ihrem Abschnitt 20 ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Schubfestigkeit angibt.

Eine kritische Prüfung der derzeit vorliegenden Normentwürfe führt zu folgenden ungeklärten Fragestellungen:

Im Lichte neuerer Untersuchungen [7] ist fraglich, ob der in EN 338 zu Grunde gelegte Zusammenhang zwischen Biege- und Schubfestigkeit der Wirklichkeit entspricht. Nach EN 338 steigt die Schubfestigkeit $f_{v,k}$ nach der Beziehung

$$f_{v,k} = \min \begin{cases} 3,8 \\ 0,2 \cdot (f_{m,k})^{0,8} \end{cases} \quad [\text{N/mm}^2]$$

in Abhängigkeit von der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ bis zu einem Grenzwert von 3,8 N/mm² an, wobei dieser Grenzwert in der Festigkeitsklasse C40 erreicht wird. Aus heutiger Sicht ist

anzunehmen, dass die Rohdichte auf die Schubfestigkeit einen geringeren Einfluss als auf die Biegefestigkeit ausübt und dass die Ästigkeit die Schubfestigkeit eher positiv als negativ beeinflusst. Daher ist zu erwarten, dass bei Zugrundelegung der oben genannten Beziehung die Schubfestigkeit im Bereich niederer Festigkeitsklassen unterschätzt und im Bereich höherer Festigkeitsklassen überschätzt wird. Darüber hinaus ist auf Grund von Voruntersuchungen fraglich, ob die nach EN 408 bestimmten Schubfestigkeiten mit den in EN 338 angegebenen Werten übereinstimmen. Falls dies nicht der Fall ist, könnte dies beispielsweise bei der Evaluierung von importiertem Holz oder von neuen Sortierklassen zu einer falschen, auf der unsicheren Seite liegenden Bewertung führen. Deshalb erscheint es notwendig, die Kalibrierung der charakteristischen Schubfestigkeitskennwerte in EN 338 anhand von Prüfungen nach EN 408 zu überprüfen.

2 Material und Methode

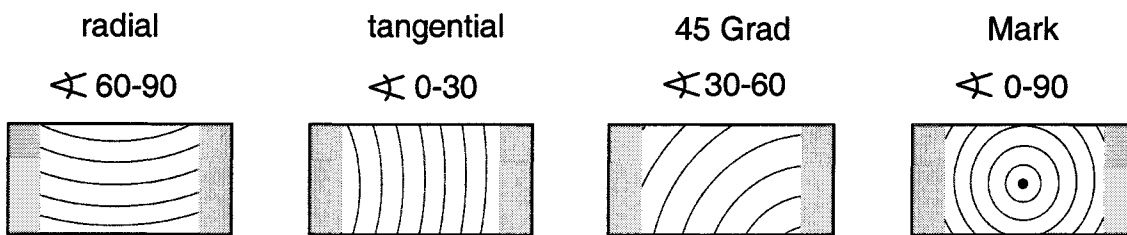
2.1 Material

Die Schubfestigkeit nach EN 408 wurde an insgesamt 292 Prüfkörpern der Holzart Fichte (*Picea abies*) bestimmt. Als Ausgangsmaterial diente in Deutschland verwendetes Fichtenschnittholz sechs verschiedener Herkünfte. Ziel war es, die Einflüsse von Rohdichte, Jahrringlage und Ästigkeit auf die Schubfestigkeit zu erfassen.

Dazu wurden 170 astfreie Prüfkörper so ausgewählt, dass sowohl ein möglichst großes Rohdichtespektrum als auch alle möglichen Jahrringlagen abgedeckt wurden. Die Prüfkörper wurden entsprechend den Festigkeitsklassen C 16, C 24, C 30, C 35 und C 40 gemäß EN 338 in 5 annähernd normal verteilte Rohdichtegruppen aufgeteilt. Die Prüfkörper wurden so auf die Gruppen verteilt, dass jede Gruppe den entsprechenden charakteristischen Wert und den entsprechenden Mittelwert der jeweiligen Festigkeitsklasse aufwies (siehe Tabelle 2.1). Der Kleinstwert der Rohdichte lag bei 316 kg/m^3 , der größte Wert bei 620 kg/m^3 . Die Jahrringlagen wurden entsprechend Abbildung 2.1 gewählt und klassifiziert.

Tab. 2.1: Definition der Rohdichtegruppen bei einem Holzfeuchtegehalt von $u = 12\%$.

Rohdichtegruppen [-]	$\rho_{12,k}$ [kg/m ³]	$\rho_{12,mean}$ [kg/m ³]	Festigkeitsklasse EN 338 [-]	Sortierklasse DIN 4074 [-]
I	310	370	C16	S7/MS7
II	350	420	C24	S10/MS10
III	380	460	C30	S13
IV	400	480	C35	MS13
V	420	500	C40	MS17

**Abb. 2.1:** Einteilung und Bezeichnung der verschiedenen Jahrringlagen.

Die Bezeichnung der Jahrringlagen kennzeichnet die Richtung der Schubbeanspruchung und damit auch die zu erwartende Bruchrichtung in Bezug auf den Jahrringverlauf. Bei radialer Orientierung entsprechend Abbildung 2.1 wird ein Versagen radial zum Jahrringverlauf und damit über die Jahrringgrenzen hinweg eintreten. Bei tangentialer Orientierung ist ein Bruch entlang einer Jahrringgrenze zu erwarten.

Um den Einfluss von Ästen und Mark auf die Schubfestigkeit zu untersuchen, wurden zusätzlich 102 Prüfkörper mit Ästen und 20 Prüfkörper mit Markröhre geprüft. Bei der Wahl der Astprüfkörper bereitete der kleine Prüfkörperquerschnitt Probleme (vgl. Abbildung 2.2). Durch ihn konnten die typischen Astformen, die im Bauholz vorkommen, nur ansatzweise abgedeckt werden.

2.2 Methode

Die Prüfmethode nach EN 408 ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Auffällig ist der kleine Prüfkörperquerschnitt mit 32 x 55 mm².

Die Prüfkörper müssen mit den Stahlplatten verklebt werden. Aus der Literatur ist bekannt, dass diese Verbindung bei der kleinen Schmalseitenfläche nur schwer zu realisieren ist [8]. Damit möglichst wenige Brüche in der Klebefuge auftreten, muss ein

geeignetes Klebstoffsystem gewählt und dieses sachgerecht appliziert werden. Hier wurde der Klebstoff Terokal-221 verwendet. Dies ist ein lösungsmittelfreier Zwei-Komponenten-Klebstoff auf Epoxidharzbasis, der sich auf Grund von Vorversuchen als am Besten geeignet herausgestellt hatte.

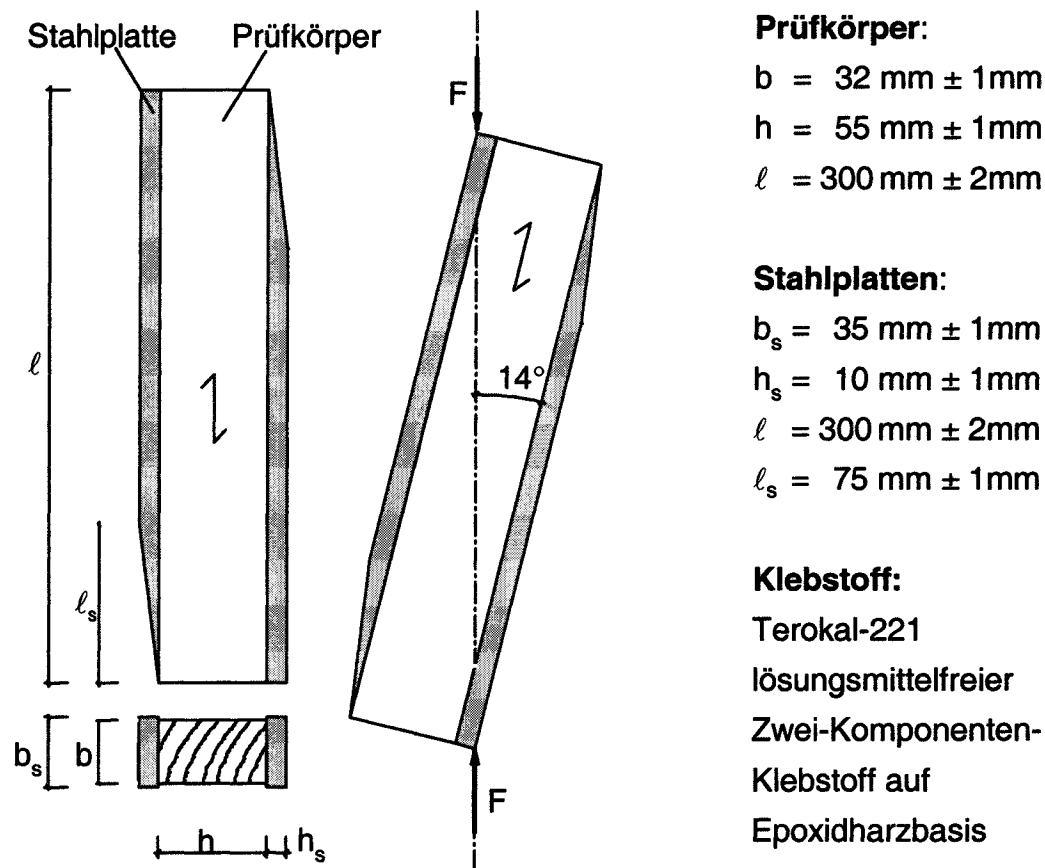


Abb. 2.2: Prüfkörper und Prüfanordnung nach EN 408.

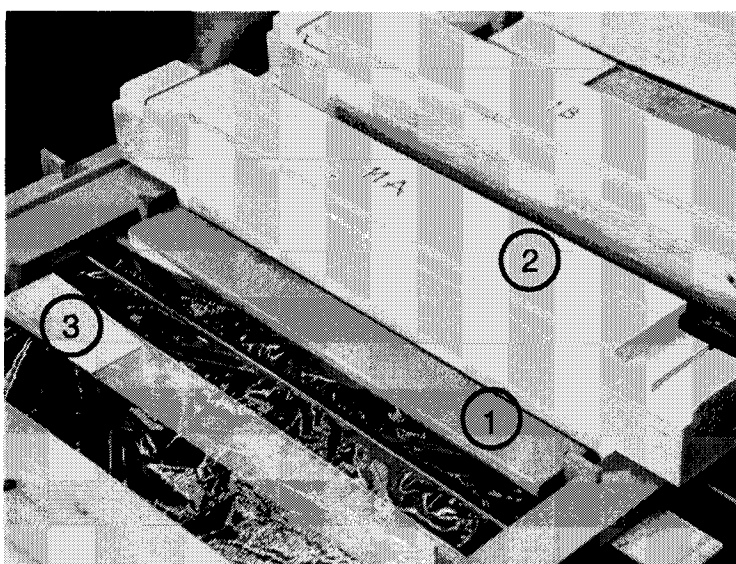
In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Prüfkörper mit Übermaß faserparallel aus dem Fichtenschnittholz entnommen. Zur Einordnung in die 5 Rohdichtegruppen wurde die Rohdichte dieser Rohlinge bestimmt. Die Rohlinge wurden den Rohdichtegruppen so zugeordnet, dass innerhalb jeder Gruppe annähernd eine Normalverteilung erzeugt wurde.

Bei der Entnahme der Rohlinge wurde auf die Jahringlage, den Astverlauf und die Astgröße innerhalb der Prüfkörper geachtet. Die Rohlinge wurden im Normalklima 20/65 klimatisiert. Unmittelbar vor der Verklebung wurden die Prüfkörper auf das genaue Querschnittsmaß gehobelt und abgelängt. Dabei wurde ein ca. 2 cm breiter Streifen zur Ermittlung der Darr-Rohdichte nach DIN 52 182, der Jahringbreite nach

DIN 52 181 und des Feuchtegehaltes nach DIN 52 183 abgetrennt. Die Holzfeuchte der insgesamt 292 Proben lag vor dem Verkleben im Mittel bei 11.4 %. Zum Vergleich der Ergebnisse mit den genormten Werten wurde die hier bestimmte Darr-Rohdichte nach EN 384 auf eine Holzfeuchte von 12% umgerechnet. Die im Folgenden angegebenen Rohdichtewerte stellen immer die Normalrohichte bezogen auf 12% Holzfeuchte dar.

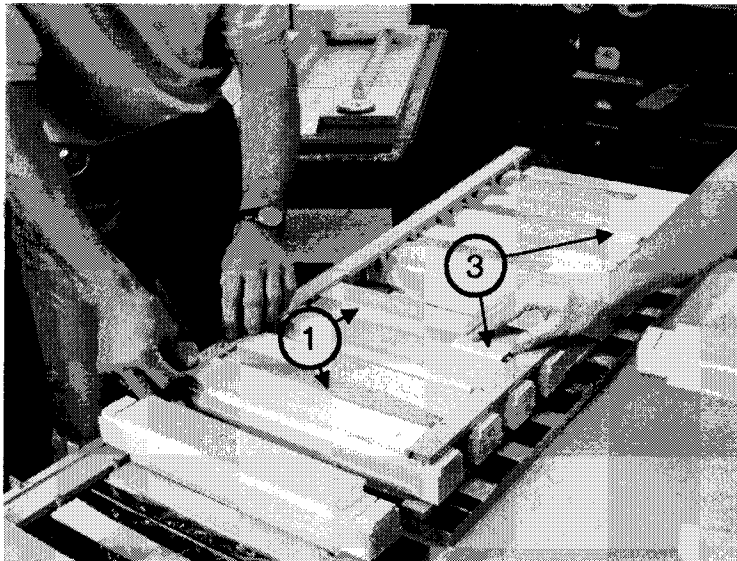
Für die Verklebung der Prüfkörper mit den Stahlplatten wurde eine Schablone verwendet (siehe Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4), um die Prüfkörper und Stahlplatten während der Press- und Trocknungszeit des Klebstoffes in ihrer Lage zu fixieren. Sowohl die Holzoberflächen als auch die zuvor sandgestrahlten und entfetteten Stahloberflächen wurden mit Klebstoff bestrichen, um eine ausreichende Benetzung der zu verbindenden Teile zu gewährleisten. Während einer zweitägigen Aushärtezeit wurde ein Pressedruck von ca. 10 N/cm² aufgebracht (Abbildung 2.5) und die Pressflächen auf 50°C erwärmt. Die Prüfkörper wurden in der Regel drei Tage nach der Verklebung geprüft.

Durch die zweitägige Erwärmung der Prüfkörper beim Verkleben wurde die Holzfeuchte reduziert. Da SPENGLER (1982) keinen signifikanten Einfluss der Holzfeuchte auf die Schubfestigkeit feststellen konnte, wird unterstellt, dass die Versuchswerte dadurch nicht beeinflusst werden.



- ① Stahlplatte
- ② seitliche Fixierung
- ③ Unterlegkeil im Bereich der Abschrägung der Stahlplatte

Abb. 2.3: Schablone zur Fixierung von unterer und oberer Stahlplatte bei der Verklebung mit dem Prüfkörper – untere Stahlplatte.



- ① Stahlplatte
- ③ Unterlegkeil im Bereich der Abschrägung der Stahlplatte

Abb. 2.4: Schablone zur Fixierung von unterer und oberer Stahlplatte bei der Verklebung mit dem Prüfkörper – obere Stahlplatte.



Abb. 2.5: Einlegen der fixierten Schubprüfkörper in die Presse zum Aushärten des Klebstoffes.

3 Ergebnisse astfreier Prüfkörper

3.1 Allgemeines

Insgesamt wurden 170 astfreie Proben geprüft. Entsprechend EN 408 dürfen Prüfkörper nur dann in die Auswertung aufgenommen werden, wenn der Anteil der Bruchfläche im Bereich der Verklebung zwischen Prüfkörper und Stahlplatte kleiner als 20% ist. Ist der Anteil der Bruchfläche im Bereich der Verklebung zwischen Prüfkörper und Stahlplatte größer, wird das Versagen auf einen Bruch der Verklebung zurückgeführt. Die ermittelte Bruchlast entspricht dann nicht der maximalen Traglast des Holzes. Trotz größter Sorgfalt bei der Verklebung mussten 19 der 170 Prüfkörper auf Grund solcher Klebebrüche aussortiert werden, obwohl Abbildung 3.1 zeigt, dass die Prüfkörper mit Klebebruch im Wesentlichen im Streubereich der Prüfkörper ohne Klebebruch liegen. Ein Prüfkörper musste wegen eines technischen Fehlers bei der Prüfung aussortiert werden (keine Festigkeitswerte gespeichert).

Tabelle 3.1 zeigt die Aufteilung der verbleibenden 150 astfreien Prüfkörper in die einzelnen Jahrringlagen. In Tabelle 3.2 sind die Ergebnisse der Schubfestigkeitsprüfung nach Jahrringlage und Rohdichtegruppe getrennt zusammengestellt.

Tab. 3.1: Prüfkörper mit Klebebruchanteil < 20% unterteilt nach Jahrringlage und Rohdichtegruppe.

Rohdichtegruppe	radial	tangential	45 Grad	Summe
I	11	9	10	30
II	11	10	9	30
III	10	10	10	30
IV	10	10	10	30
V	9	10	11	30
Summe	51	49	50	150

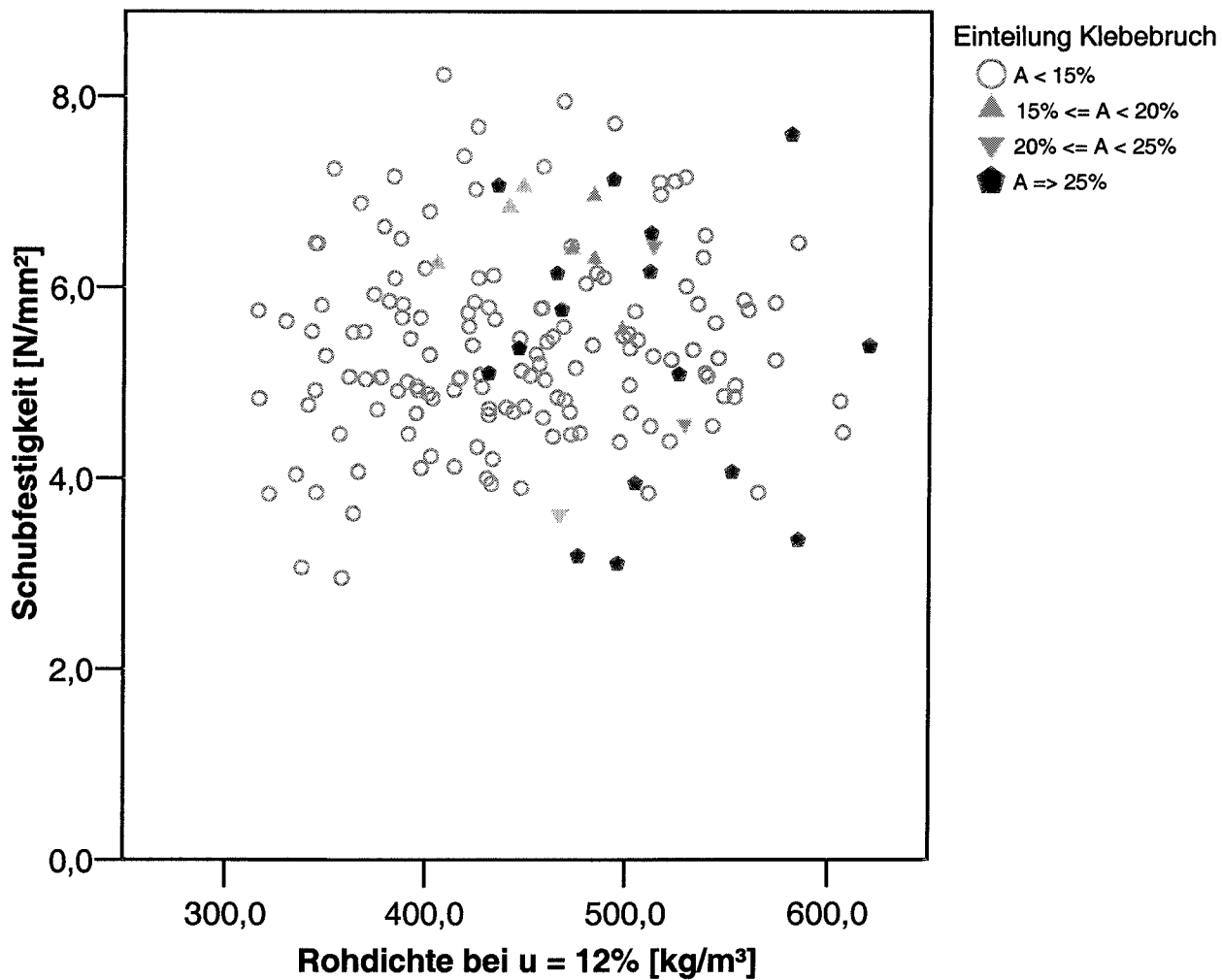


Abb. 3.1: Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und des Klebebruchanteils; n = 169.

Tab. 3.2: Schubfestigkeit f_v [N/mm²] der astfreien Prüfkörper.

Rohdichtegruppe		radial	tangential	45 Grad	Summe
I	n	11	9	10	30
	MW ($\pm s$)	5.4 (± 1.5)	4.8 (± 0.9)	5.3 (± 0.6)	5.2 (± 1.1)
	Min	3.0	3.0	3.9	3.0
	5%-Fraktile				3.0
II	n	11	10	9	30
	MW ($\pm s$)	6.8 (± 0.6)	5.1 (± 0.6)	5.2 (± 0.6)	5.8 (± 1.0)
	Min	5.7	4.0	4.5	4.0
	5%-Fraktile				4.3
III	n	10	10	10	30
	MW ($\pm s$)	6.3 (± 1.3)	5.0 (± 0.6)	4.8 (± 0.7)	5.4 (± 1.1)
	Min	3.9	4.1	3.9	3.9
	5%-Fraktile				3.9
IV	n	10	10	10	30
	MW ($\pm s$)	6.3 (± 1.0)	4.9 (± 0.7)	5.2 (± 0.7)	5.5 (± 1.0)
	Min	5.0	3.8	4.1	3.8
	5%-Fraktile				4.0
V	n	9	10	11	30
	MW ($\pm s$)	5.5 (± 0.5)	5.3 (± 0.8)	5.1 (± 0.6)	5.3 (± 0.6)
	Min	4.7	3.8	4.4	3.8
	5%-Fraktile				4.1
Summe	n	51	49	50	150
	MW ($\pm s$)	6.1 (± 1.1)	5.0 (± 0.7)	5.1 (± 0.6)	5.4 (± 1.0)
	Min	3.0	3.1	3.9	3.0
	5%-Fraktile	3.8	3.8	4.0	3.9

3.2 Einfluss der Jahrringlage

Abbildung 3.2 zeigt den Einfluss der Jahrringlage und der Rohdichte auf die Schubfestigkeit. Die eingezeichneten Regressionsgeraden geben den Verlauf der Schubfestigkeit der Proben getrennt nach der Jahrringlage an. Bei radialer Schubbeanspruchung ergibt sich, wie auch Tabelle 3.2 zeigt, im Mittel die höchste Schubfestigkeit, während die Mittelwerte bei tangentialer und schräger Jahrringlage etwa auf dem gleichen Niveau liegen.

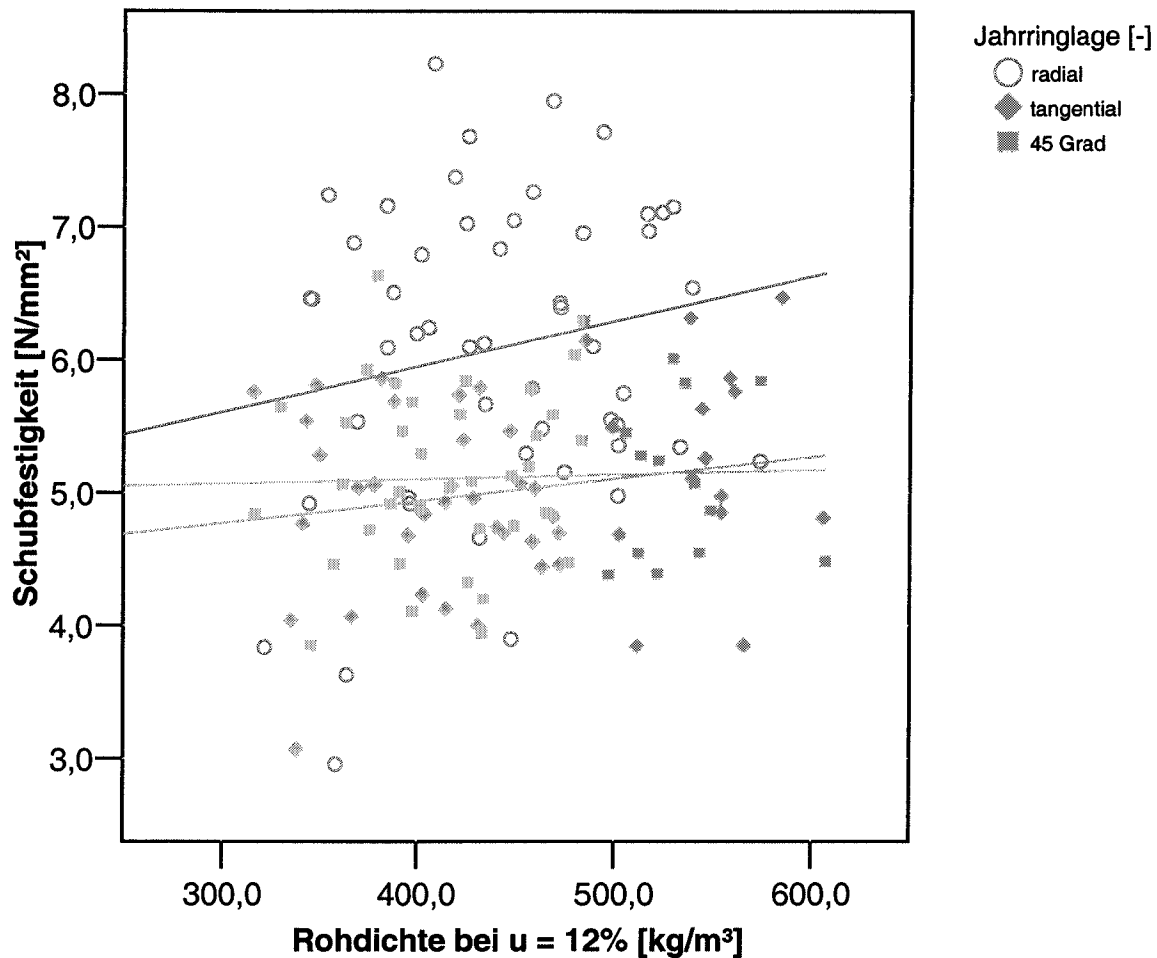


Abb. 3.2: Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und der Jahrringlage nach Jahrringlage getrennt; $n = 150$.

Die höhere Schubfestigkeit bei radialer Schubbeanspruchung ergibt sich aus der Bruchform, da der Prüfkörper bei dieser Jahrringorientierung gezwungen ist, über die Jahrringgrenzen hinweg im Bereich des Früh- und des Spätholzes zu versagen. Bei tangentialer Jahrringlage oder unter 45 Grad kann die Probe entlang einer Jahrringgrenze im Frühholzbereich abscheren. Zwei typische Bruchbilder sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Auf dem Niveau der 5%-Fraktile lässt sich dieser Einfluss der Jahrringlage allerdings nicht nachweisen (Tabelle 3.2). Dieser wird hier offenbar durch die große Streuung der Einzelwerte infolge anderer Einflüsse überdeckt.

Dass tangential orientierte Jahrringe im Mittel zu einer tendenziell geringeren Schubfestigkeit als radial angeordnete Jahrringe führen, ist vor allem bei Brettschichtholz zu beachten. Durch den lamellenartigen Aufbau der Brettschichtholzträger und die vorzugsweise verwendeten Seitenbretter mit liegenden Jahrringen verlaufen

Schubbrüche in der Regel tangential zu den Jahrringen der Brettlamellen. Deshalb sollte sorgfältig geprüft werden, in welchem Umfang es im Hinblick auf die geringere Rissbildung gerechtfertigt erscheint, die charakteristischen Schubfestigkeitswerte für Brettschichtholz höher als für Vollholz anzusetzen.

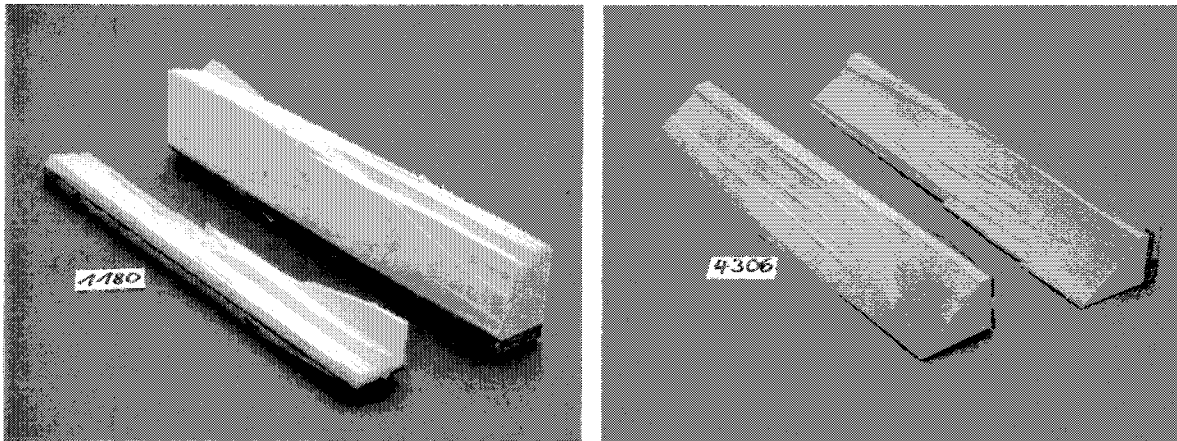


Abb. 3.3: Bruchbilder einer Probe mit radialen Jahrringen (1180) und einer Probe mit 45-Grad-Orientierung der Jahrringe (4306).

3.3 Einfluss der Rohdichte

Der Einfluss der Rohdichte auf die Schubfestigkeit ist aus Tabelle 3.2 und den Abbildungen 3.2 bis 3.9 ersichtlich. Dabei wird deutlich, dass bei der Beurteilung dieses Einflusses unterschieden werden muss zwischen einem „theoretischen“ Einfluss der Rohdichte, wie er in Abbildung 3.4 und nach Jahrringlage getrennt in Abbildung 3.2 erkennbar ist, sowie einem „praktischen“ Einfluss der Rohdichte in Abhängigkeit von Festigkeitsklassen (Tabelle 3.2 und Abbildung 3.5 bis 3.9).

Abbildung 3.4 zeigt, dass die Schubfestigkeit grundsätzlich von der Rohdichte abhängt: Die Schubfestigkeit steigt im Mittel mit zunehmender Rohdichte an, allerdings bei großer Streuung der Einzelwerte. Aus Abbildung 3.2 wird deutlich, dass dieser generelle Rohdichteinfluss je nach Jahrringlage unterschiedlich ausgeprägt ist. Bei der radialen Jahrringlage ist wegen des dabei auftretenden Bruches quer zu den Jahrringen, also auch in den Spätholzbereichen, im Mittel ein deutlicher Rohdichteinfluss vorhanden. Bei tangentialer und schräger Jahrringlage erfolgt der Bruch ausschließlich oder vorwiegend im Frühholzbereich, dessen Struktur bei Fichtenholz unabhängig von der Rohdichte weitgehend konstant ist. Deshalb ist bei diesen Jahrringlagen nur ein schwacher oder kein Rohdichteinfluss vorhanden.

Dieser Einfluss der Jahrringlage liefert eine Erklärung für den in der Literatur vorhandenen Widerspruch: In den angelsächsischen Ländern, die einen Rohdichteinfluss unterstellen, wurde die Schubfestigkeit bisher überwiegend an hochkant biegebeanspruchten Bohlenquerschnitten untersucht, bei denen der Schubbruch im Wesentlichen radial zu den Jahrringen eintritt, während die österreichischen Untersuchungen [7] an Brettschichtholz durchgeführt wurden, wo der Schubbruch im Wesentlichen tangential zu den Jahrringen verläuft.

Im Hinblick auf die abgestuften charakteristischen Werte in den Festigkeitsklassen der EN 338 war jedoch zu prüfen, ob und gegebenenfalls wie sich die Schubfestigkeit zwischen diesen Festigkeitsklassen unter Berücksichtigung der jeweils vorhandenen Streubreite der Rohdichte unterscheidet. Dazu waren die in Tabelle 2.1 genannten Rohdichtegruppen gebildet worden. Tabelle 3.3 zeigt, dass diese 5 Rohdichtegruppen die nach EN 338 und EN 384 definierten Rohdichtebereiche der Festigkeitsklassen C16 bis C40 sehr gut widerspiegeln.

Wie sich die Schubfestigkeit mit steigender Rohdichtegruppe, also mit steigender Festigkeitsklasse, verändert, ist aus Tabelle 3.2 und den Abbildungen 3.5 bis 3.9 zu ersehen. Tabelle 3.2 zeigt, dass sich die Schubfestigkeit mit steigender Rohdichtegruppe unabhängig von der Jahrringlage im Mittel und auch im Bereich der 5%-Fraktile, von einem niedrigen Wert in der Rohdichtegruppe I abgesehen, nicht signifikant verändert. Verdeutlicht wird dieser Zusammenhang durch die Abbildungen 3.5 bis 3.9, in denen die kumulativen Häufigkeiten der Schubfestigkeit in den 5 Rohdichtegruppen nach der Jahrringlage getrennt dargestellt sind.

Die große und unterschiedliche Streuung der einzelnen Teilkollektive belegt, dass der theoretisch vorhandene Zusammenhang zwischen Rohdichte und Schubfestigkeit durch die große Streuung der Rohdichte in den einzelnen Rohdichtegruppen überlagert wird. Daher unterscheidet sich die Schubfestigkeit zwischen den 5 Rohdichtegruppen nicht signifikant.

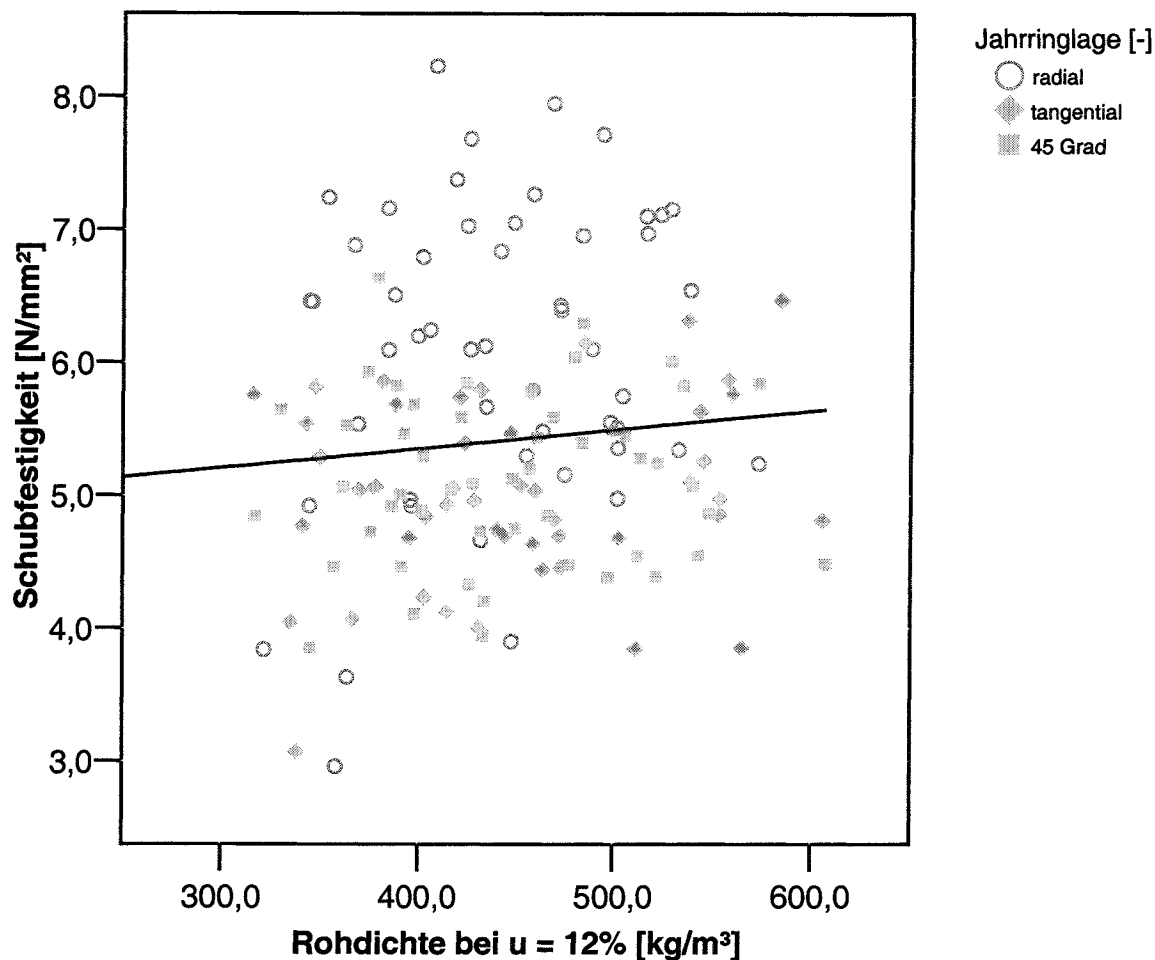


Abb. 3.4: Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und der Jahrringlage; n = 150.

Tab. 3.3: Soll- und Ist-Verteilung der Rohdichtegruppen der astfreien Prüfkörper.

Rohdichtegruppe			Mittelwert	Standardabweichung	5%-Fraktilwert
[-]			[kg/m³]	[kg/m³]	[kg/m³]
I n = 30	C16	soll	370	30	310
		ist	360	25	317
II n = 30	C24	soll	420	35	350
		ist	420	40	349
III n = 30	C30	soll	460	40	380
		ist	457	50	382
IV n = 30	C35	soll	480	40	400
		ist	483	50	401
V n = 30	C40	soll	500	40	420
		ist	504	57	423

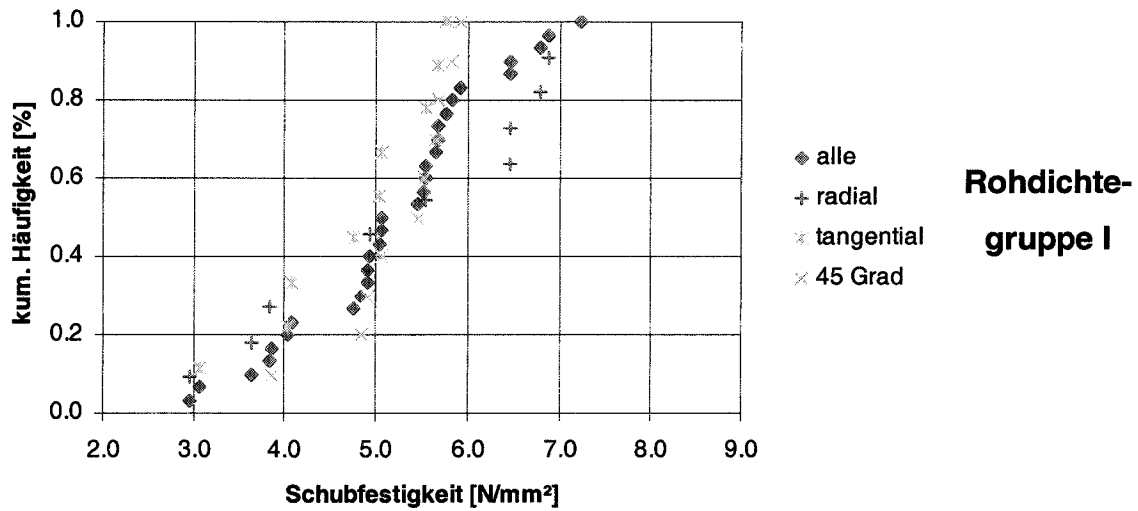


Abb. 3.5: Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichte-gruppe I für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.

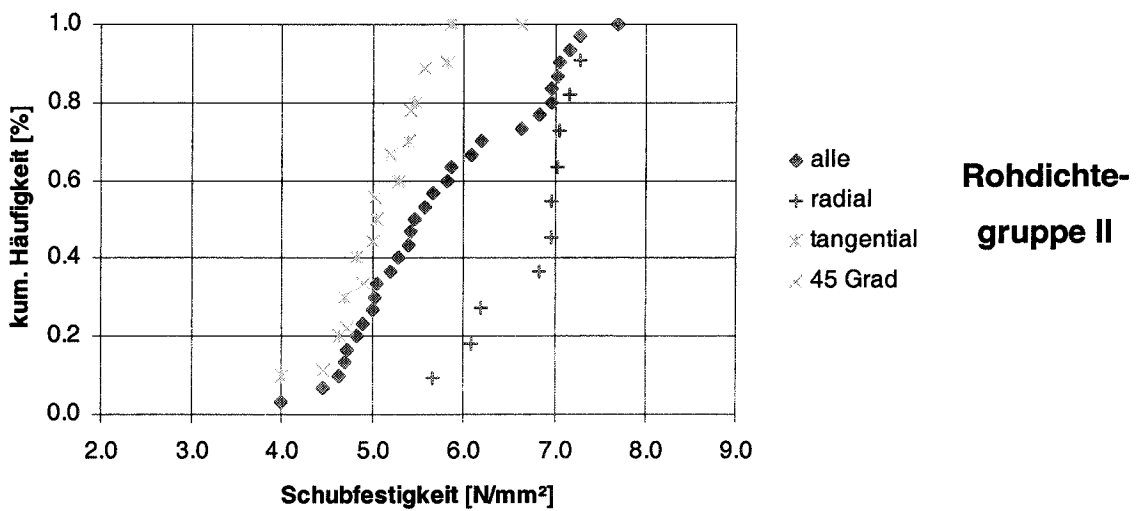


Abb. 3.6: Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichte-gruppe II für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.

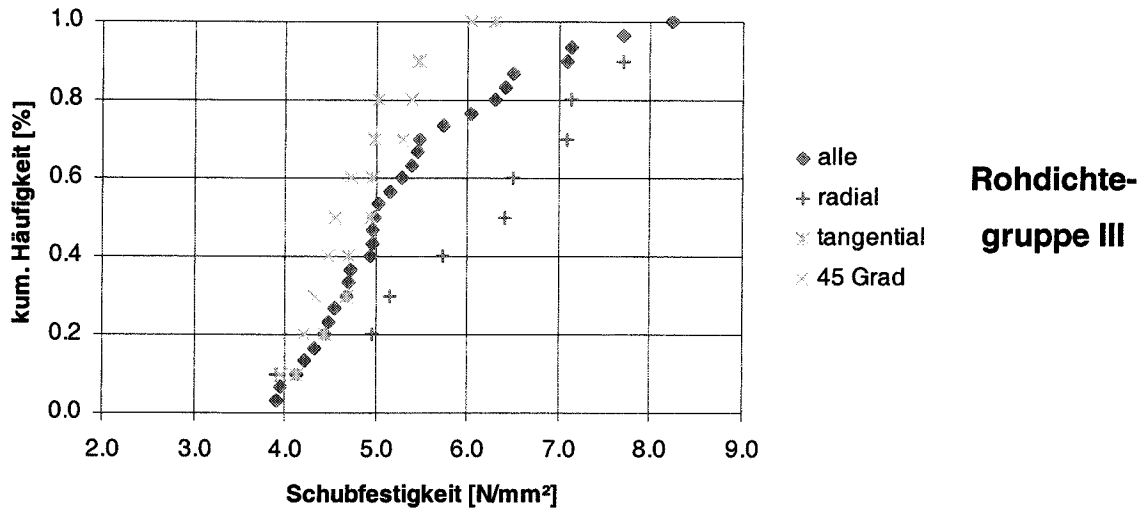


Abb. 3.7: Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichte-gruppe III für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.

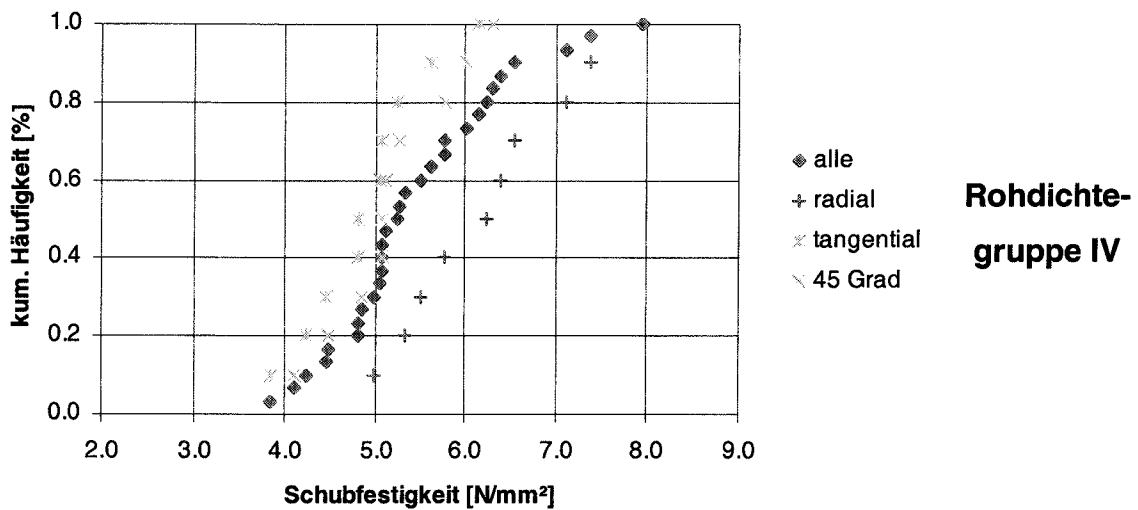


Abb. 3.8: Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichte-gruppe IV für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.

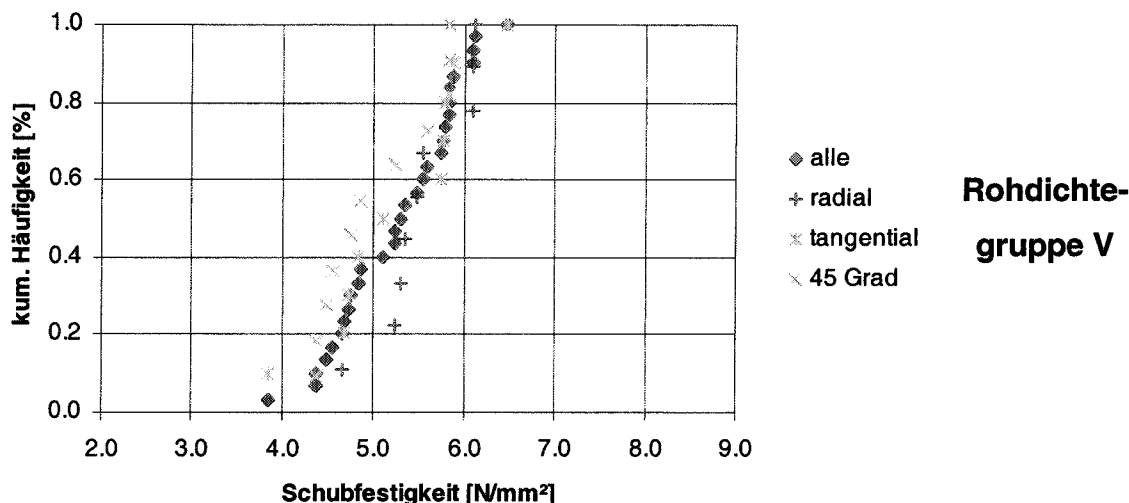


Abb. 3.9: Relative kumulative Häufigkeit der Schubfestigkeit in Rohdichte-gruppe V für alle Prüfkörper und unterteilt nach Jahrringlage.

3.4 Einfluss der Markröhre

Abb. 3.10 zeigt den Vergleich der Schubfestigkeit der 20 zusätzlichen Markprüfkörper mit den 150 ast- und markfreien Prüfkörpern. Die Schubfestigkeiten sowie die Rohdichten der Proben sind getrennt nach der Jahrringlage in Tabelle 3.4 zusammengestellt. Die Schubfestigkeitswerte der markhaltigen Proben liegen im Streubereich der astfreien Proben. Die Markröhre wirkt sich also trotz der niedrigeren Rohdichte der marknahen Jahrringe nicht negativ auf die Schubfestigkeit aus. Die niedrigere Rohdichte wird offenbar weitgehend durch die überwiegend radial verlaufenden Schubbrüche kompensiert.

Tab. 3.4: Schubfestigkeit und Rohdichte der ast- und markfreien sowie der markhaltigen Prüfkörper.

		radial	tangential	45 Grad	Mark
Anzahl	n	51	49	50	20
f_v [N/mm²]	MW ($\pm s$)	6.1 (± 1.1)	5.0 (± 0.7)	5.1 (± 0.6)	5.6 (± 1.1)
	Min	3.0	3.1	3.9	3.9
	5%-Fraktile	3.8	3.8	4.0	3.9
ρ_{12} [N/mm²]	MW ($\pm s$)	441 (± 61)	448 (± 76)	445 (± 68)	396 (± 34)
	Min	322	316	317	339
	5%-Fraktile	345	337	338	339

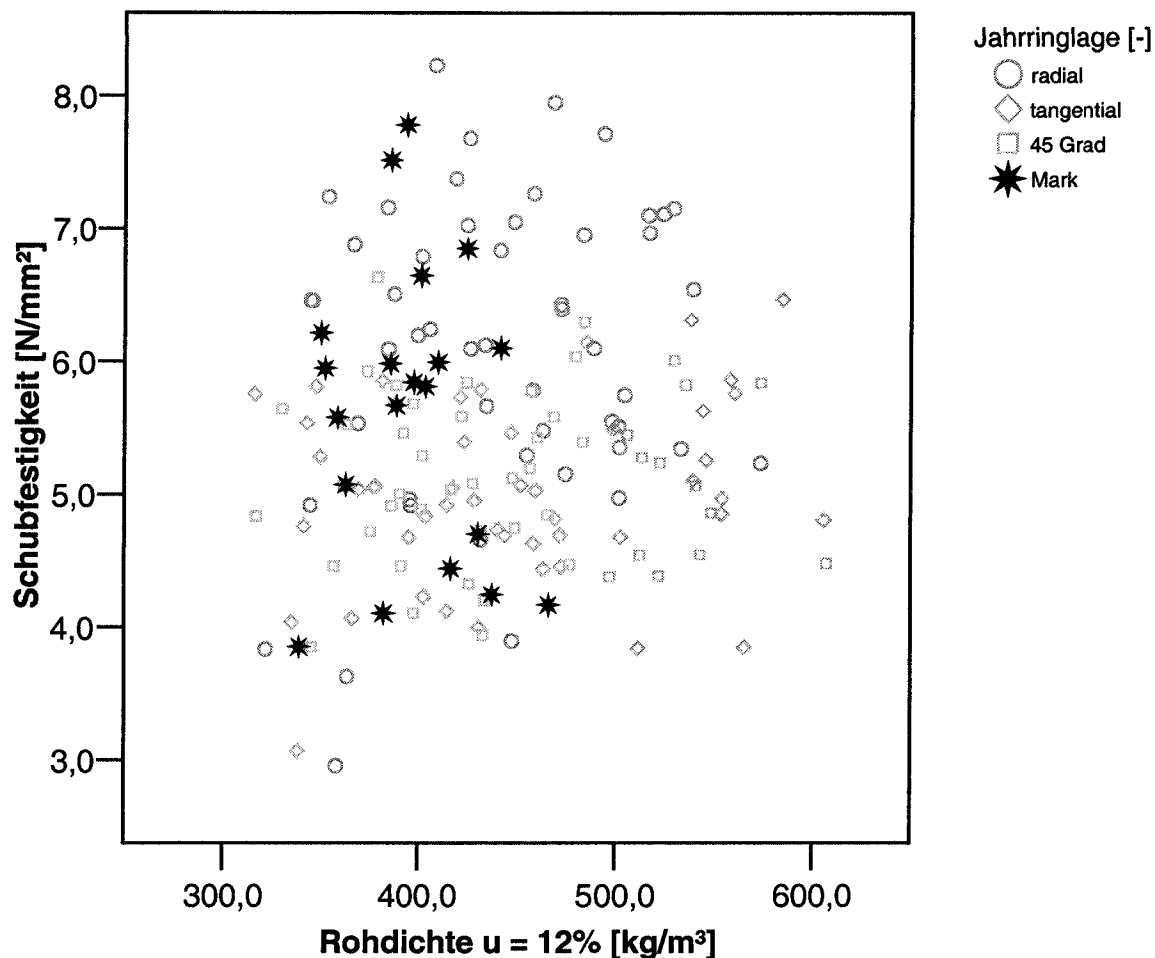


Abb. 3.10: Schubfestigkeit ast- und markfreier sowie markhaltiger Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte und der Jahrringlage; n = 170.

4 Prüfkörper mit Ästen

Um die Auswirkung von Ästen auf die Schubfestigkeit von Fichtenholz zu untersuchen, wurden 102 Prüfkörper mit Ästen und mit unterschiedlichem Jahrringverlauf geprüft. Der jeweilige Jahrringverlauf beeinflusst die Lage der Äste im Prüfkörper (Abbildung 4.1). Bei radialer Jahrringlage verlaufen die Äste von Breitseite zu Breitseite. Bei dieser Jahrringstellung ist zu erwarten, dass die Schubfestigkeit im Vergleich zu einem astfreien Prüfkörper wegen der Faserabweichung im Astbereich tendenziell verringert wird. Bei tangentialer Jahrringstellung verlaufen die Äste von Schmalseite zu Schmalseite. Hier erzeugen Äste einen Dübeleffekt, der eine Erhöhung der Schubfestigkeit bewirken kann.

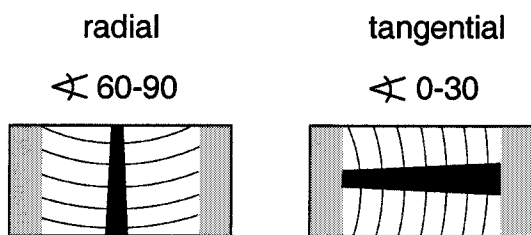


Abb. 4.1: Astverläufe entsprechend der Jahrringlage.

Als Astmaß wird das Astflächenverhältnis KAR gewählt. Dabei werden alle auf den Querschnitt projizierten Astflächen in einem Bereich von 150 mm in Längsrichtung des Prüfkörpers auf die Querschnittsfläche bezogen. Sich überlappende Astflächen werden nur einmal berücksichtigt.

Abbildung 4.2 zeigt den Einfluss der Ästigkeit KAR auf die Schubfestigkeit unterteilt nach der Jahrringlage: Mit steigender Ästigkeit nimmt die Schubfestigkeit unabhängig von der Jahrringlage ab. Die Mittelwerte der Schubfestigkeit für die einzelnen Jahrringlagen sowie die jeweiligen Rohdichten sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt. Die Rohdichtewerte sind im Mittel für alle drei Teilkollektive gleich. Aus Tabelle 4.1 ist kein Dübeleffekt bei tangentialer Jahrringlage zu erkennen. Abbildung 4.2 bestätigt dieses Ergebnis.

Dieses den oben genannten Überlegungen widersprechende Ergebnis lässt sich durch die Prüfmethode erklären. Häufigste Versagensursachen der Prüfkörper mit Ästen waren entweder die Faserabweichung entlang des Astes oder bei durchgehenden Schmalseitenästen das vollständige Ablösen des Astes an der Stahlplatte verbunden mit einem Schubbruch des Restquerschnitts (Abbildung 4.3). Als Ursache für die schlechte Haftung zwischen Stahlplatte und Asthirnholzfläche kann die höhere Rohdichte und Steifigkeit der Äste angenommen werden.

Tab. 4.1: Schubfestigkeit und Rohdichte für asthaltige Prüfkörper unterteilt nach Jahrringlage.

		radial	tangential	45 Grad	alle
Anzahl	n	30	42	30	102
f_v [N/mm ²]	MW ($\pm s$)	5.2 (± 1.0)	5.1 (± 0.9)	5.1 (± 0.7)	5.1 (± 0.8)
	Min	3.2	3.8	3.9	3.2
	5%-Fraktile				3.9
ρ_{12} [kg/m ³]	MW ($\pm s$)	390 (± 43)	390 (± 35)	398 (± 41)	392 (± 39)
	Min	331	323	335	323
	5%-Fraktile				336

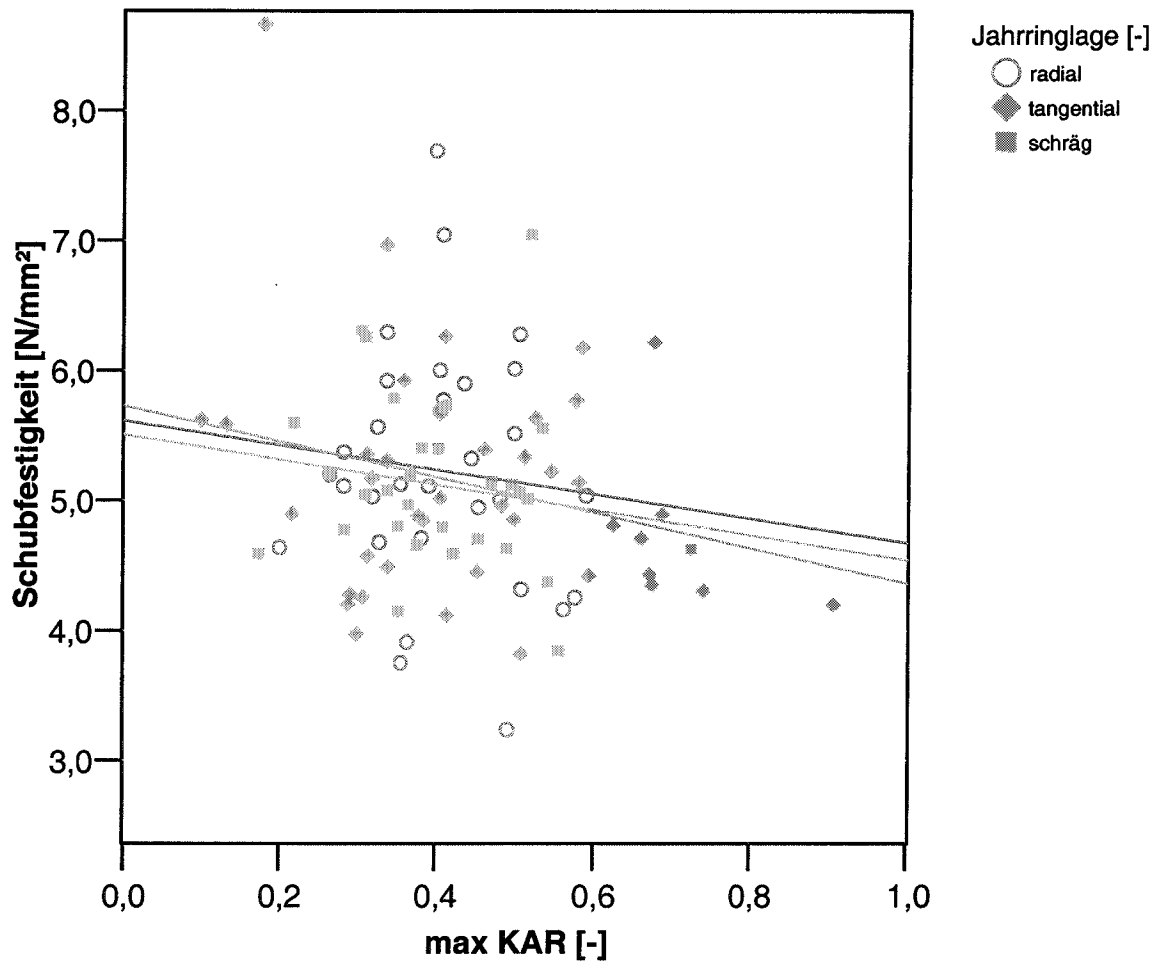


Abb. 4.2: Schubfestigkeit in Abhängigkeit der Ästigkeit KAR der 102 asthaltigen Prüfkörper.

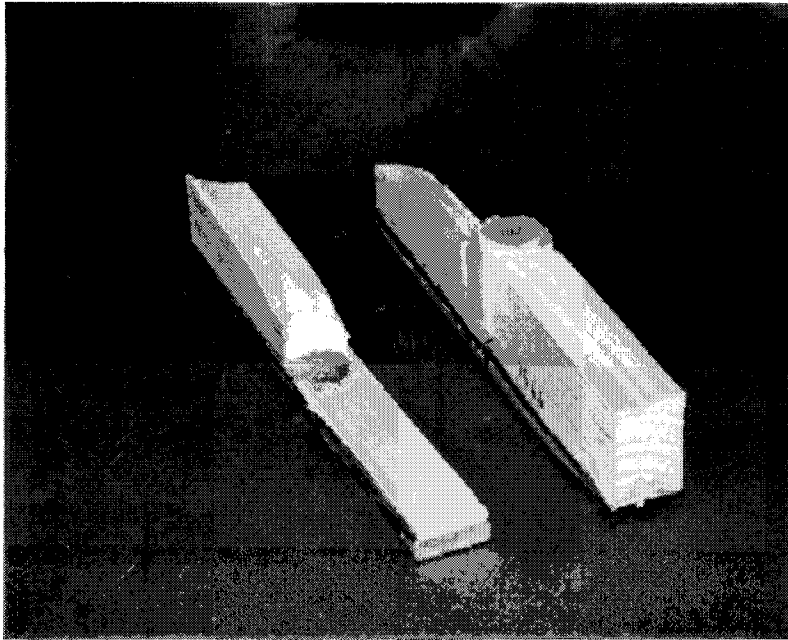


Abb. 4.3: Versagen eines Astprüfkörpers mit durchgehendem Schmalseitenast (Probe 7544).

5 Vergleich mit weiteren Versuchswerten

5.1 Versuche nach EN 408

Um den in Kapitel 3.3 ermittelten theoretischen Einfluss der Rohdichte auf die Schubfestigkeit weiter abzusichern, wurde das astfreie Kollektiv der 150 Prüfkörper um weitere 90 Prüfkörper aus einem früheren Projekt der Holzforschung München erweitert. Diese 90 Prüfkörper waren ebenfalls nach der in Kapitel 2 beschriebenen Methode hergestellt und geprüft worden. Abb. 5.1 zeigt den Einfluss der Rohdichte auf die Schubfestigkeit auf der Basis aller 240 Prüfkörper.

Bei diesem vergrößerten Kollektiv ergibt sich im Mittel ein geringfügig größerer Einfluss der Rohdichte auf die Schubfestigkeit. Bei großer Streuung der Einzelwerte ist jedoch auch hier auf dem Niveau der 5%-Fraktile kein konsistenter Einfluss der Rohdichte sichtbar.

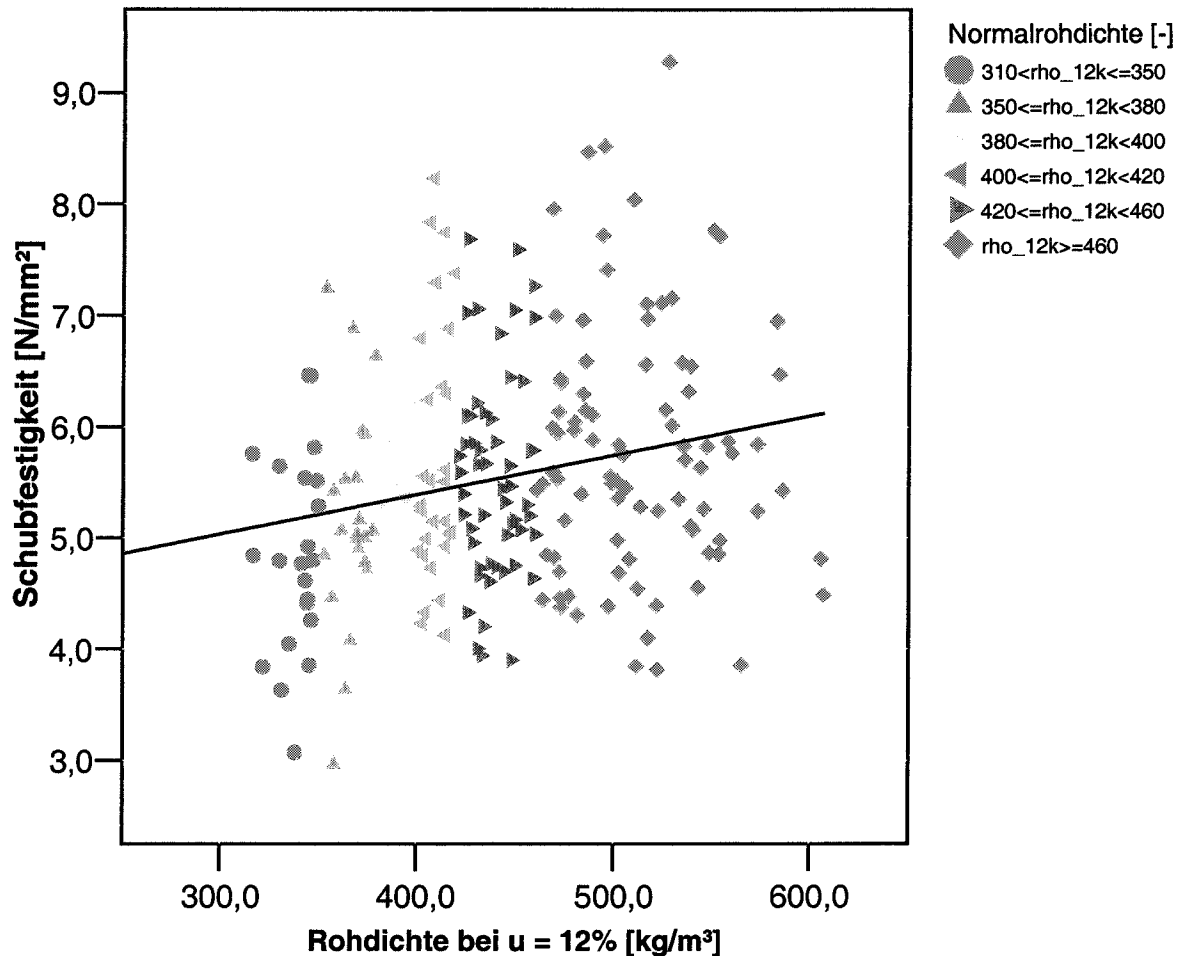


Abb. 5.1: Schubfestigkeit der astfreien Prüfkörper in Abhängigkeit der Rohdichte; n = 240.

5.2 Versuche an BS-Holz-Lamellen und BS-Holz

In früheren Untersuchungen an Brettschichtholzlamellen (BSH-Lamellen) aus Fichte waren unter reiner Schubbeanspruchung bei 12% Holzfeuchte Festigkeiten von 3,5 bis 7,0 N/mm² ermittelt worden [10].

Bei Biegeversuchen der MPA Stuttgart wurden an 5 Brettschichtholzträgern (BSH-Trägern) aus Fichte mit Querschnittsabmessungen von 120 bis 147 mm Breite und 420 bis 600 mm Höhe durch eine kurze Stützweite von $l/h \approx 10$ Schubbrüche erzeugt. Dabei ergaben sich bei einer Holzfeuchte von 10 bis 13% Schubfestigkeiten von 3,6 bis 5,3 N/mm² [11].

Abbildung 5.2 stellt diese Versuchsergebnisse den Ergebnissen der nach EN 408 geprüften Fichtenvollholzproben gegenüber. In allen Fällen liegt die charakteristische Schubfestigkeit bei etwa 3.5 bis 4.0 N/mm².

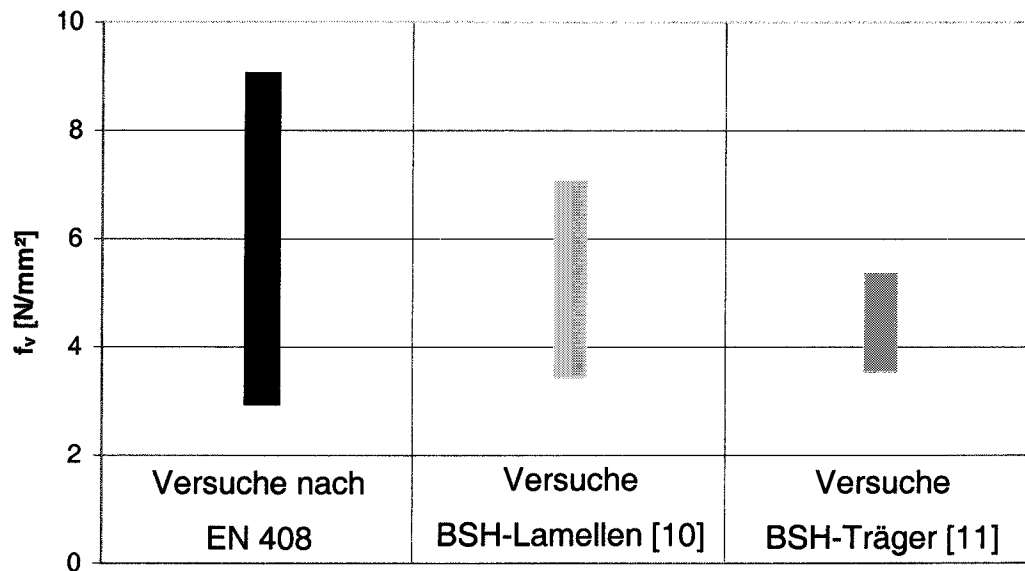


Abb. 5.2: Versuchsergebnisse an BSH und BSH-Lamellen im Vergleich zu Versuchsergebnissen nach EN 408.

6 Schlussfolgerungen

Die Schubfestigkeit von Fichtenholz ist sehr starken Streuungen unterworfen. In Tabelle 6.1 und Abbildung 6.2 werden die nach EN 408 ermittelten charakteristischen Werte und Mittelwerte der Schubfestigkeit den in EN 338 und E DIN 1052 angegebenen charakteristischen Schubfestigkeitswerten gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, dass die nach EN 408 ermittelten charakteristischen Schubfestigkeitswerte nicht mit den charakteristischen Schubfestigkeitswerten nach EN 338 übereinstimmen.

Generell wird die Schubfestigkeit von der Rohdichte, der Ästigkeit und der Jahrringlage beeinflusst. Unter Berücksichtigung der Streubreite der Rohdichte in den Festigkeitsklassen der EN 338 ist ein Rohdichteeinfluss auf die Schubfestigkeit in der Größenordnung, wie ihn EN 338 unterstellt, nicht erkennbar.

Das Prüfverfahren nach EN 408 ist nicht geeignet, um die Schubfestigkeit von Holz üblicher Qualität zu prüfen. Insbesondere können die für Bauholz typischen Astformen mit dem kleinen Prüfkörperquerschnitt nicht erfasst werden. Weil sich die Prüfnorm EN 408 auf quasi fehlerfreies Holz bezieht, wird ein Einfluss von Rissen auf die Schubfestigkeit von Schnittholz bei dieser Prüfmart nicht erfasst. Es ist daher noch zu klären, ob dieser Einfluss in den Produktnormen bei der Definition der charakteristischen Festigkeitswerte oder in den Ausführungsnormen berücksichtigt werden soll.

Unter Beachtung des bislang nicht explizit berücksichtigten Einflusses möglicher Risse erscheinen die charakteristischen Schubfestigkeitswerte in EN 338 in den Festigkeitsklassen C35 und höher zu hoch angesetzt.

Tab. 6.1: Gegenüberstellung von Normwerten und Versuchswerten für die charakteristische Schubfestigkeit von Pappel- und Nadelholz.

Pappelholz und Nadelholz		C16	C24	C30	C35	C40	C50
EN 338	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	1.8	2.5	3.0	3.4	3.8	3.8
	$\rho_{12,k}$ [kg/m ³]	310	350	380	400	420	460
	ρ_{mean} [kg/m ³]	370	420	460	480	500	550
E DIN 1052	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
	$\rho_{12,k}$ [kg/m ³]	310	350	380	400	420	460
Versuche nach EN 408	n [/]	30	30	30	30	30	-
	$f_{v,k}$ [N/mm ²]	3.0	4.3	3.9	4.0	4.1	-
	$f_{v,mean}$ [N/mm ²]	5.2	5.8	5.4	5.5	5.3	-
	$\rho_{12,k}$ [kg/m ³]	317	349	382	401	423	-
	ρ_{mean} [kg/m ³]	360	420	457	483	504	-

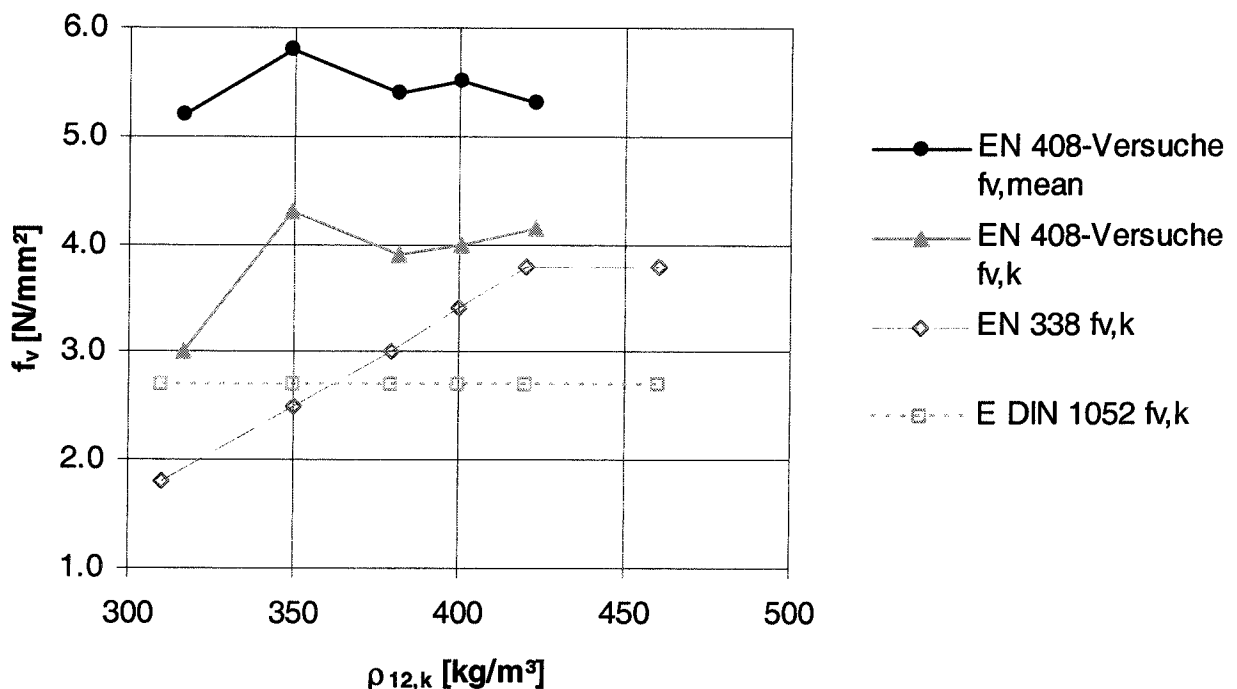


Abb. 6.2: Schubfestigkeitswerte nach Norm und nach Versuch (n=150) in Abhängigkeit der charakteristischen Rohdichte.

7 Zusammenfassung

In diesem Forschungsvorhaben sollte überprüft werden, ob die nach der Europäischen Norm EN 408 ermittelten Schubfestigkeitswerte zu den in EN 338 festgelegten charakteristischen Werten führen. Dazu sollte die charakteristische Schubfestigkeit von Fichtenschnittholz der Festigkeitsklassen C16 bis C40 nach EN 338 nach den Vorgaben der EN 408 bestimmt und mit den entsprechenden Werten in EN 338 verglichen werden.

Dazu wurden 292 Prüfkörper so ausgewählt, dass sie die in EN 338 für die jeweiligen Festigkeitsklassen angegebene Rohdichteverteilung auswiesen. Zusätzlich wurde sichergestellt, dass in jeder Festigkeitsklasse Prüfkörper mit radialer, tangentialer und unter 45 Grad verlaufender Jahrringlage vorhanden waren. Darüber hinaus wurden auch Prüfkörper mit Markröhre und Prüfkörper mit Ästen geprüft.

Dabei ergaben sich bei den hier verwendeten kleinen Prüfkörperquerschnitten von 32x55 mm² folgende Ergebnisse: Schubbrüche, die in tangentialer Richtung entlang einer Jahrringgrenze auftreten, weisen im Mittel eine niedrigere Schubfestigkeit auf als radiale Schubbrüche über Jahrringgrenzen hinweg. Prüfkörper mit Mark weisen eine ähnliche Schubfestigkeit wie markfreie Prüfkörper auf.

Die Schubfestigkeit von Prüfkörpern mit Ästen liegt im Streubereich der Schubfestigkeit von astfreien Prüfkörpern. Äste wirken sich unabhängig von der Jahrringlage und damit unabhängig von einer eventuellen Dübelwirkung bei tangentialer Jahrringlage bei den nach EN 408 vorgegebenen Prüfkörperabmessungen nicht positiv auf die Schubfestigkeit aus.

Die nach EN 408 ermittelten charakteristischen Schubfestigkeiten stimmen bezüglich der absoluten Größe als auch bezüglich der Abhängigkeit von der Rohdichte nicht mit den in EN 338 angegebenen Werten überein: Generell ist ein Rohdichteeinfluss auf die Schubfestigkeit vorhanden. Dieser wird aber durch die große Streubreite der Rohdichte und der Festigkeitswerte innerhalb der einzelnen Festigkeitsklassen überdeckt. Die hier durchgeführten Untersuchungen bestätigen den Anstieg der Schubfestigkeit mit zunehmender Rohdichte in der in EN 338 unterstellten Form nicht. Die vorliegenden Versuchsergebnisse rechtfertigen es daher nicht, mit ansteigender Festigkeitsklasse

höhere charakteristische Schubfestigkeitswerte anzusetzen. Diese Erkenntnisse sollten bei der nächsten Überprüfung der EN 338 berücksichtigt werden.

Summary

The objective of this project was to determine the relationship between the characteristic shear strength values in EN 338 and the results of shear tests according to EN 408.

292 test pieces made of European spruce were prepared so that they covered the density distribution of structural timber in strength classes C16 to C40 of EN 338. It was ensured that the test pieces of each strength class comprised pieces with the same growth ring orientation, e.g. radial, tangential and with the slope of 45 degrees. Moreover, specimens including pith and knots were tested.

Based on tests according to EN 308, i.e. small specimens with cross-sections of 32x55 mm², the following results were obtained: shear strength is significantly lower when failure occurs in tangential direction as compared to shear failure in radial direction across the growth rings. Shear strength of specimens with pith is similar to the shear strength of specimens without pith.

The shear strength of specimens with knots is in the same range as shear strength of specimens without knots. Independent of growth ring orientation, hence independent of a possible dowel-effect at tangential growth ring orientation, knots do not have a positive effect on shear strength. This may be due to the small specimen size according to EN 408.

Characteristic shear strength values as determined according to EN 408 do not agree with the corresponding values in EN 338. The absolute values as well as the relation with density are different. Basically the results show a correlation between density and shear strength. However, this correlation is superseded by the large variation of density and strength within each strength class. The test results do not confirm the increase in shear strength with increasing density as given in EN 338. Therefore the test results do not justify using higher characteristic shear values in higher characteristic strength classes. These findings should be considered during the next evaluation of EN 338.

8 Literatur

- [1] EN 338:2003-04. Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen. CEN, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- [2] EN 384:2004-01. Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte. CEN, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- [3] prEN 408:2000-11. Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brett-schichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigen-schaften. CEN, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- [4] prEN 1912:2004-03. Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen - Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten. CEN, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- [5] E DIN 1052:2003-08. Entwurf Deutsche Norm. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [6] prEN 14 081-1:2003-11. Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. CEN, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- [7] SCHICKHOFER, G. (1998) Entwicklung einer optimierten Versuchskonfiguration zur Ermittlung der Schubfestigkeit von BS-Holz. In: Von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung zum Einsatz innovativer Holzbau-produkte. Habilitationsschrift. Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Graz.
- [8] BENHAM, C.A.; CANISIUS, T.D.G., MORRISON, P.A.G. (1997) Compression, tension and shear strength properties for CEN strength classes based on UK grown timber using new CEN methods. Centre for Timber Technology & Construction, BRE CR 24/97. Watford, United Kingdom.

- [10] SPENGLER, R. (1982) Festigkeitsverhalten von Brettschichtholz unter zweiachsiger Beanspruchung – Ermittlung des Festigkeitsverhaltens von Brettlamellen aus Fichte durch Versuche. Sonderforschungsbereich 96, Heft 62. Laboratorium für den Konstruktiven Ingenieurbau (LKI) Technische Universität München.
- [11] RADOVIC, B.; ROHLFING, H. Persönliche Mitteilung.