

Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz(BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen im Kurzzeitversuch nach internationalen Standards und vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz(BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit

T 2901

T 2901

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

2000, ISBN 3-8167-5711-1

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.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

A B S C H L U S S - B E R I C H T

Forschungsvorhaben

**"Vergleichende Betrachtungen europäischer
Bauproduktennormen mit nationalen
Bestimmungen"**

**An das
Deutsche Institut für Bautechnik - D I B t -
Postfach 62 02 29
10792 Berlin**

A B S C H L U S S - B E R I C H T

Betreff: Forschungsvorhaben "Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauproduktennormen mit nationalen Bestimmungen"

Teilprojekte: "Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen im Kurzversuch nach internationalen Standards"

und

"Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit"

1. Zielsetzung

Grundsätzlich beinhalteten die angeführten Teilprojekte die Untersuchung von zwei einander ergänzenden Fragestellungen:

- a) Inwieweit bestehen Möglichkeiten zur Erweiterung der Leimpalette bei der Herstellung von Brettschichtholzverleimungen (BSH)

und

- b) Inwieweit kann mittels Kurzprüfverfahren oder zusätzlich Kurzalterungsverfahren das Langzeitverhalten von Brettschichtholz-Verleimungen mit hinreichender Sicherheit abgeschätzt werden.

Bei BSH-Verleimungen stehen sich zwei Aspekte gegenüber. Es sind dies

- Einerseits die Forderung der Denkmalpflege und der Wunsch der Industrie nach Erweiterung der Leimpalette

und

- Andererseits der Aspekt der Sicherheit und damit zusammenhängend der langfristige Funktionserhalt bei BSH-Verleimungen.

Bei diesen Zusammenhängen ergibt sich aufgrund der möglichen Risiken die Frage, ob die gegenwärtig angewandten Prüfverfahren (DIN 68 705, 68 602, u. a.) hinsichtlich ihrer Aussagen ausreichend sind für Klärungen im vorstehend genannten Sinne oder ob sie nicht vielmehr durch den Einsatz geeigneter Schnellalterungsverfahren ergänzt werden sollten. Die Bedeutung der Kurzprüfverfahren liegt in dem Umstand begründet, daß einerseits ein umfangreicher Informationsstand aus jahrzehntelanger Anwendung und entsprechender Erfahrung vorliegt und andererseits sind sie relativ einfach anwendbar und mit wenig Zeitaufwand verbunden.

Bei einer Anwendung von Kurzprüfverfahren besteht grundsätzlich das Problem, daß sie entweder einseitig auf bestimmte Klebstoffe zugeschnitten sind, d. h., daß andere Klebstoffe, die vielleicht auch geeignet wären, durch die Auswahl der Prüfkriterien benachteiligt werden. Dies wäre somit ein Hemmnis im Sinne des technischen Fortschrittes. Oder andererseits, daß durch Kurzprüfverfahren infolge von Auswahl und Anordnung der Prüfparameter die fortlaufend entstehende Alterung von

Brettschichtholz-Verleimungen nicht ausreichend erfaßt werden kann, wodurch Beurteilungen über Langzeitverhalten- und Funktionserhalt nicht oder nur eingeschränkt erfolgen können.

Demzufolge waren im Rahmen des Vorhabens sowohl vergleichend Kurzprüfverfahren nach nationalem und internationalem Standard und korrespondierend dazu Schnellalterungsverfahren anzuwenden, denn besonders Wechselbeanspruchungen bei unterschiedlichen Temperaturen und Feuchtegehalten sind von gravierender Bedeutung. Gerade diese langfristig wirkenden Wechselbeanspruchungen können durch Kurzprüfverfahren generell nur unzureichend simuliert werden. Neben diesen grundsätzlichen Aspekten waren mehrere Prüfparameter auf ihre Bedeutung hin zu untersuchen. Es waren dies der Einfluß von Holzart (Kiefer, Fichte), Prüfkörperformen (Kreuzscher- und Delaminierungsprüfkörper), Leimflottenansätzen (Modifizierungen, Streckmittelzugaben), Leimfugendicken (0,1 mm dünne und 0,5 mm dicke Fuge), Leimauftrag, Preßbedingungen u.a.m.

Bei den Beanspruchungen war besonders die Simulation der zu erwartenden Belastungen von Bedeutung. Feucht- Trocken-Lagerungen und Temperatur-Wechselagerungen waren gleichermaßen von Bedeutung. Neben Versprödungsvorgängen innerhalb der Leimfugen, sind es die fortwährenden Quell- und Schwindbewegungen im Holz, die zu Dauerbelastungen bei der Leimfuge führen. Da BSH häufig für tragende und aussteifende Zwecke im Bauwesen verwendet wird, kommt darüberhinaus dem Sicherheitsaspekt eine entscheidende Bedeutung zu. Aus diesem Grund sollten durch die Ergebnisse bei den Teilprojekten der Bauaufsicht Informationen an die Hand gegeben werden, auf deren Basis eine Entscheidungsfindung für die Beurteilung neuer Klebstoffe zu treffen ist. Insbesondere sollten auch die Risiken aufgezeigt werden, die bei Anwendung bestehender Prüfverfahren bei der Urteilsfindung bestehen. In diesem Zusammenhang wurde der folgende Arbeitsplan (Abschnitt 2) erstellt:

2. Untersuchungsaufbau (Arbeitsplan)

2.1 Begründung

Insbesondere in den skandinavischen Ländern liegen Bestrebungen vor, als Leime Kasein- und Knochenleime für Brettschichtholz-Verleimungen (BSH) einzusetzen. Desweiteren gibt es Überlegungen Isocyanate (MDI) für den Brettschichtholzbau einzusetzen.

Alle genannten Leime bergen für einen Einsatz im Brettschichtholzbau Sicherheitsrisiken in sich. Bei den organischen Klebstoffen ist die biologische Beständigkeit ein Schwachpunkt. Bei MDI ist das Dauerstandverhalten kritisch zu sehen und könnte Anlaß zu Problemen geben. Bei Erörterungen im SVA wurde erkennbar, daß bezüglich der genannten Fragen erhebliche Wissenslücken bestehen.

Desweiteren ist darauf zu verweisen, daß insbesondere durch die Denkmalpflege bei Restaurierungsarbeiten Auflagen erteilt werden, auch bei den eingesetzten Leimen auf organische Bindersysteme zurückzugreifen. Auch hierbei muß der Sicherheitsaspekt sorgfältig abgewogen werden.

Anstelle des im Forschungsantrag vorgesehenen Isocyanates mit Melaminharz, wurde aus versuchstechnischen Gründen PUR-Harz für die Versuche eingesetzt. Zusätzlich wurden weitere Leime in das Vorhaben mitaufgenommen: PUR-Harz (Typ 1), PUR-Harz (Typ 1) gestreckt mit 5 % Kokosnußschalenmehl, MUF-Harz und ein PVAc-Leim (B4-Leim).

Es wurden folgende Proben gemäß Forschungsantrag hergestellt:

2.2 Holzarten:

- a) Kiefernkernelholz;
- b) Fichtenholz.

2.3 Proben/Prüfkörper:

- a) **Zugscherproben** (Kiefer + Fichte) mit 0,1 mm und 0,5 mm dicker Leimfuge;
- b) **Druckscherproben** (Kiefer + Fichte) mit 0,1 mm und 0,5 mm dicker Leimfuge;

- c) **Delaminierungsblöcke** (Kiefer + Fichte) nach DIN EN 302, Teil 2 bzw. ASTM 1101-59.
Je 2 Kleinträger mit 6 Lamellen und dünner Leimfuge (0,1 mm).
Maße: 400 mm lang x 150 mm breit x 150 mm hoch, Lamellendicke = 25 mm;
- d) **Delaminierungsbrettchen** (Kiefer + Fichte) mit 0,1 mm dicker Leimfuge (195 mm x 125 mm x 20 mm Dicke, 5 Lamellen à 25 mm Breite) für Kurzzeitbewitterungen im Xenotest-Gerät, Typ 1200. Beurteilung der Delaminierung gemäß DIN EN 302, Teil 2 (bzw. ASTM 1101-59).

2.4 Verwendete Klebstoffe:

- a) PF/RF mit Alkalihärter, Kauresin 440 (**Referenzverleimung**);
- b) PUR-Harz, Typ 2 ;
- c) Kaseinleim modifiziert mit 3 % MDI (B4-Verleimung), **ohne** Schutzmittel;
- d) Kaseinleim modifiziert mit 3 % MDI (B4-Verleimung), **mit** Schutzmittel;
- e) Perleim **ohne** Schutzmittel;
- f) Perleim **mit** Schutzmittel;
- g) PUR-Harz, Typ 1;
- h) PUR-Harz, Typ 1 gestreckt mit 5 % Kokosnußschalenmehl;
- i) MUF-Harz;
- j) PVAc, B4-Leim.

2.5 Prüfungen:

Beim Kaseinleim **mit** Schutzmittel und Knochenleim **mit** Schutzmittel waren vorab Verträglichkeitsprüfungen durchzuführen (AW 100-Test)

- a) Trocken-Zugscherprüfung;
- b) Naß-Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 gemäß DIN EN 302-1 (früher AW 100);
- c) CTB-Test, 2 Zyklen;
- d) CTB-Test, 3 Zyklen;
- e) ASTM-Test, 2 Zyklen;
- f) ASTM-Test, 3 Zyklen;
- g) WCAMA-Test, 6 Zyklen;
- h) Naß-Zugscherprüfung nach 12 Wochen Kurzzeitbewitterung;
- i) Naß-Zugscherprüfung nach 24 Wochen Kurzzeitbewitterung;
- j) Naß-Zugscherprüfung nach 36 Wochen Kurzzeitbewitterung;
- k) Naß-Zugscherprüfung nach 48 Wochen Kurzzeitbewitterung;
- l) 10 Wochen Wechselklimalagerung (20°C/90% rel. Feuchte und 40°C/50% rel. Feuchte) unter Last (15 kg);

- m) Delaminierungsprüfung mit Blöcken nach DIN EN 302, Teil 2 bzw. ASTM 1101-59;
- n) Delaminierungsprüfung mit Brettchen nach 12 bis 36 Wochen Kurzzeitbewitterung in Anlehnung an DIN EN 302, Teil 2 bzw. ASTM;
- o) Bestimmung der Beständigkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten nach 12 Wochen Versuchsdauer (Prüfpilze: *Coniophora pueana* und *Gloeophyllum trabeum*).

2.6 Vorgehensweise

Das Vorhaben wurde durch die Fachhochschule Eberswalde abgewickelt, wobei der Unterzeichner für die sachliche und technische Durchführung verantwortlich zeichnete.

Einige Untersuchungen konnten in der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Laboratorium IV.22, Unter den Eichen 87 in Berlin, durchgeführt werden.

Eine kostenlose Bereitstellung des Kiefern- und Fichtenholzes erfolgte durch die Firma Klenk aus Baruth/Brandenburg. Klebstoffe und weitere Untersuchungsmaterialien stellten die Firmen BASF Ludwigshafen und Bayer AG Leverkusen zur Verfügung.

Ein Teil der Arbeiten ist durch eine studentische Hilfskraft erledigt worden.

3. Untersuchungsanordnung

3.1 Herstellung der Proben/Prüfkörper

Es wurden folgende Proben gemäß Forschungsantrag hergestellt:

- a) **2000 Zugscherproben** (Kiefer + Fichte) mit 0,1 mm und 0,5 mm dicker Leimfuge;
- b) **4000 Druckscherproben** (Kiefer + Fichte) mit 0,1 mm und 0,5 mm dicker Leimfuge;
- c) **12 Delaminierungsblöcke** (Kiefer + Fichte) nach DIN EN 302, Teil 2 bzw. ASTM 1101-59. Kleinträger mit 6 Lamellen und dünner Leimfuge (0,1 mm). Maße: 400 mm lang x 150 mm breit x 150 mm hoch, Lamellendicke = 25 mm;
- d) **80 Delaminierungsbrettchen** (Kiefer + Fichte) mit 0,1 mm dünner Leimfuge (195 mm x 125 mm x 20 mm Dicke, 5 Lamellen à 25 mm Breite) für Kurzzeitbewitterungen im Xenotest-Gerät, Typ 1200. Beurteilung der Delaminierung gemäß DIN EN 302, Teil 2 (bzw. ASTM 1101-59.

3.2 Verleimungen

Die Verklebungen - bis auf die Perleimverleimungen - wurden mittels Zwingendruck kalt verleimt. Bei den Perleimverklebungen wurde auf je einer Lamelle der Leim angegeben und dann mit je einer auf 80°C vorgewärmten Lamelle verleimt. Der Leimflottenauftrag betrug bei allen Verleimungen je Fuge etwa 200g/m². Es wurden gemäß Aufgabenstellung folgende Leimtypen verarbeitet:

- a) PF/RF mit Alkalihärter, Kauresin 440 (**Referenzverleimung**);
- b) PUR-Harz, Typ 2 ;
- c) Kaseinleim modifiziert mit 3 % MDI (B4-Verleimung), **ohne** Schutzmittel;
- d) Kaseinleim modifiziert mit 3 % MDI (B4-Verleimung), **mit** Schutzmittel;
- e) Perleim **ohne** Schutzmittel;
- f) Perleim **mit** Schutzmittel;
- g) PUR-Harz, Typ 1;
- h) PUR-Harz, Typ 1 gestreckt mit 5 % Kokosnußschalenmehl;
- i) MUF-Harz;
- j) PVAc, B4-Leim.

3.3 „Holzklebstoffe“

Abbildung 1 vermittelt einen Überblick über die stoffliche Einteilung der Holzklebstoffe und die Stellung der untersuchten Holzklebstoffe innerhalb des Gesamtbereiches der Klebstoffe für Holzverleimungen. Bei den Untersuchungen zur Verklebung kamen 6 Klebstoffe zum Einsatz.

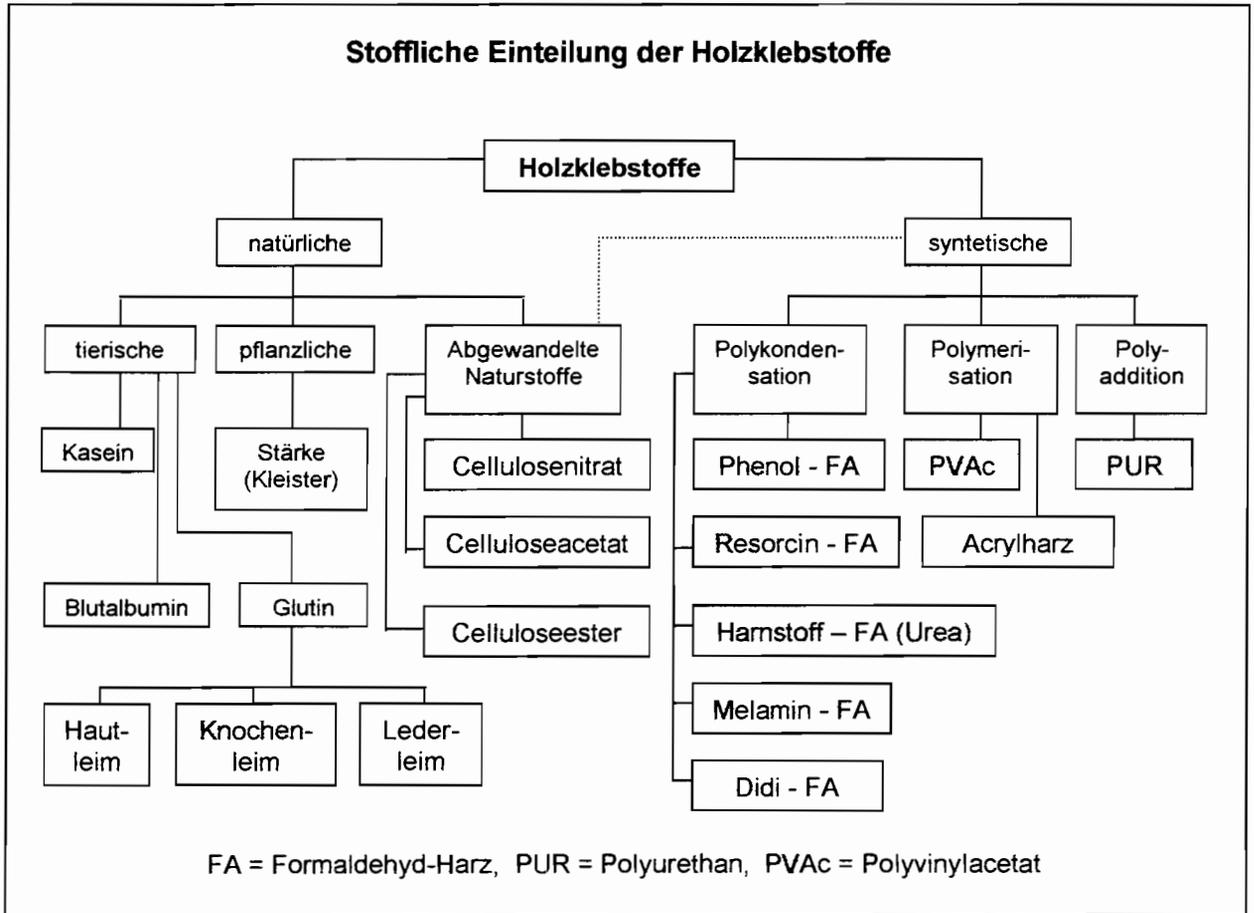


Abb. 1: Stoffliche Einteilung der Holzklebstoffe nach ZEPPENFELD (1991)

3.3.1 Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Klebstoff mit Alkalihärter

Bei den Untersuchungen wurde generell Kauresin-Leim 440 flüssig als Referenzleim eingesetzt. Als Härter wurde Kauresin-Härter 444 Pulver verwendet. Dieser Leim erfüllt die Anforderungen folgender Normen:

DIN 68602	B3, B4
DIN 68705	A100, AW100
ASTM	D1101
CS 35-1972	Kochwechselfest
BS 1455-1972	WBP

Entsprechend Herstellerempfehlung wurde gemäß Technischem Merkblatt M 2166 d März 1982 Ansatz Nr. 1 der Leim mit folgenden Gewichtsanteilen eingesetzt:

K 440 flüssig = 100 Gewichtsteile plus Härter 444 Pulver = 20 Gewichtsteile.

Die Aushärtung findet im neutralen pH-Bereich statt. Bei der Verarbeitung war eine Holzfeuchte von 5-20% einzuhalten. Der Leimauftrag betrug 250 g/m².

3.3.2 Polyurethan Klebstoff (PUR – Klebstoffe, Typ 2)

Es wurde ein 1-K-PUR Holzklebstoff 60100 der Firma Forbo-CTU AG eingesetzt. Dieser Leim ist einkomponentig (1-K) und kochwasserfest (D 4, nach EN 204). Desweiteren ist er lösungsmittelfrei, formaldehydfrei und feuchtigkeitshärtend. Dieser flüssige 1-K PUR-Klebstoff härtet unter Einfluß von Material- und Luftfeuchte zu einem zähelastischen bis sprödharten Film aus. Er ist für die Fertigung von tragenden Holzbauteilen nach DIN 1052 zugelassen. Technische Daten des 1-K PUR Holzklebstoffes:

- Trockengehalt: 100%
- Dichte: 1,1 g/m³
- Lagerstabilität bei Raumtemperatur: ca. 8 Monate.

Bei der Verarbeitung wurden Holzfeuchtwerte von 8 - 25 % eingehalten, der Leimauftrag betrug 150 g/m². Richtwerte zur Verpressung:

Offene Zeit:	60 Minuten
Pressart:	Presse oder Schraubzwinde
Presszeit:	ca. 4 Stunden
Pressdruck:	mind. 4 kg/m ²
Weiterverarbeitung:	Nach ca. 10 Stunden
Endfestigkeit:	Nach ca. 48 Stunden

3.3.3 Kaseinleim ohne Schutzmittel

Kaseinleime gehören bekanntlich zu den historisch ältesten Leimen. Sie sind physikalisch abbindende tierische Leime auf der Basis von (Mager-) Milch - Proteinen. Kaseine sind generell Kaltleime. In Kombination mit Blutalbuminleimen wurden sie in der US-amerikanischen Sperrholzindustrie lange Zeit für die Herstellung von "feuchtebeständigem" Innensperrholz verwendet. Die Leime bilden bereits in geringer Konzentration sehr viskose und zähflüssige Lösungen. Bei der Verarbeitung muß demzufolge mit hohen Leimauftragsmengen und hohen Preßdrücken gearbeitet werden. Kasein selbst ist im Wasser nahezu unlöslich, es quillt jedoch, indem es das 10-fache Volumen an Wasser aufnimmt. Dagegen ist es in alkalischen Lösungen und Säuren leicht löslich. Die Klebefugen sind hart und spröde. Sie bewirken, infolge ihres hohen mineralischen Gehaltes, einen hohen Werkzeugverschleiß.

Für die Untersuchungen wurde mit einem Kalk-Kasein-Kaltleim gearbeitet. Der Klebstoff ist geeignet für Verleimungen in Innenräumen. Es wurden mit Kaseinleim Verleimungen mit relativ hohen Festigkeitswerten erreicht, die allerdings nur bedingt wasserfest sind. Einzelne Kaseinleime entsprechen der Beanspruchungsgruppe D3 gemäß DIN EN 204.

Da der Leim alkalisch reagiert, können im Bereich der Leimfuge Verfärbungen auftreten. Technische Daten des verwendeten Kasein-Kaltleimes:

- Schüttdichte ca. 0,75 g/cm³
- Lagerstabilität ungeöffnet ca. 1 Jahr
- Zusammensetzung Milch-Kasein, Weißkalkhydrat, Kalkspat, Kreide, Borax, Soda, Zeolith

Gemäß Technischen Merkblatt wurde bei den Versuchen mit einem Gewichtsverhältnis 1:1 gearbeitet. Es sind 100 Gewichtsteile Pulver unter ständigem Rühren in 100 Gewichtsteilen von kaltem Wasser (ca. 16°C) eingerührt worden. Auftragsmenge 200-300 g/m². Für die Verpressung galten folgende Richtwerte:

Offene Zeit	ca. 5 - 15 Minuten
Pressart	Presse oder Schraubzwinde
Presszeit - Raumtemperatur	ca. 3 Stunden
Presszeit - 90°C	ca. 10 Minuten
Pressdruck - Sperrholz	ca. 1 N/mm ²
Pressdruck - andere Verleimungen	ca. 0,1 N/mm ²
Endfestigkeit	ca. nach 24 Stunden

Holzfeuchte von 6 - 12%, Material- und Raumtemperatur mindestens 8°C.

Für die Untersuchungen wurde der Kaseinleim mit 3% an emulgierbarem MDI modifiziert.

3.3.4 Kaseinleim mit Schutzmittel

Bei diesem Kaseinleim handelt es sich um den gleichen Kalk - Kasein - Kaltleim, wie im Abschnitt 3.3.2. Der Leim ist lediglich durch die Untermischung eines Schutzmittels modifiziert worden (vgl. Abschnitt 3.4.1).

3.3.5 Perlleim ohne Schutzmittel

Der Oberbegriff ist Glutinleim. Glutinleime sind Klebstoffe, die aus tierischen Rohstoffen, wie Knochen, Leder oder Fischblasen, durch milde Hydrolyse hergestellt werden. Sie gehören zu den Eiweißklebstoffen und zeichnen sich durch hohe Elastizität, sowie schnelles Anziehungsvermögen aus. Es sind sogenannte Warmleime. Glutinleime umfassen Gelantine, Haut-, Knochen- und Lederleime. Ein gewisser Nachteil ist der Abbau des Glutins zu Glucose durch die Einwirkung von Säuren und Alkalien oder durch langandauerndes und starkes Erhitzen. Jeder Herstellungsprozeß beruht daher auf einem Kompromiß zwischen Qualität und Ausbeute. Es deuten verschiedene Erfahrungen darauf hin, daß bei den technischen Klebstoffen, die derart gewonnen werden, zwar ein Überschuß an Glucose nachteilig, ein gewisser Mindestgehalt aber nützlich, wahrscheinlich sogar erforderlich ist [PLATH, 1963]. Bei der Glutinleim-Herstellung muß darauf geachtet werden, daß die das Klebevermögen beeinträchtigenden Stoffe, wie Fette, mineralische Bestandteile und Gerbstoffe, entfernt werden. Die im Wasser quellbaren, aber unlöslichen, hochmolekularen Polypeptide werden in lösliche Glutine umgewandelt.

Bei den Verleimungen wurde ein Knochenleim aus Beständen der BAM verwendet. Dieser Leim ist hauptsächlich ein Korpus- und Konstruktionsleim für Innenraumklimare. Er liegt perfförmig vor. Eigenschaften des eingesetzten Knochenleimes:

- Trockengehalt: ca. 80%
- pH – Wert: 5,5... 7,0
- Lagerstabilität: 1 Jahr

Die Knochenleime bilden eine Gruppe der Glutin - Leime. Für die Herstellung werden Knochen in Brechmühlen zerkleinert, mit Benzin entfettet, in Sortiertrommeln von Haaren und Staub gereinigt und hydrolysiert. Zum Schluß werden sie gebleicht und zu Tafel-, Perl- oder Pulverleim verarbeitet. Die Hydrolyse erfolgt in Großanlagen mittels gespanntem Wasserdampf.

Knochenleim zählt zu den Warmleimen und wird durch Lösen im Wasser hergestellt. Dazu werden die Perlen mit der berechneten Menge 3:1 (3 MT Wasser zu 1 MT Leimperlen) mit Wasser bei Zimmertemperatur vermischt. Nach dem Quellen des Leimes (Perlleim 45...60 min.) wurde das überschüssige Wasser dekantiert und das erhaltene Gel in einem Wärmebad (etwa 60...80°C) geschmolzen.

Danach wurde der Leim mit den herkömmlichen Mitteln, wie Pinsel oder Spachtel, auf je ein leicht vorgewärmtes Fügeteil (um ein vorzeitiges Gelieren des Leimes zu verhindern) einseitig aufgetragen und mit jeweils einem stark vorgewärmten Fügeteil (ca. 70...80°C) verpreßt. Es wird ein Leimauftrag von 150...180g/m² empfohlen. Die Holzfeuchte sollte im Bereich zwischen 8 und 10 % liegen. Der Preßdruck soll zwischen 0,4 und 1,2 Mpa variieren. Der Druck sollte ungefähr 2 Stunden aufrecht gehalten werden. Die Preßzeit erhöht sich mit Zunahme der Holzfeuchte.

Nachteilig wirkt sich eine Wasserlagerung auf die Klebefuge aus, da sich der Verbund auflöst. Werden feucht gelagerte Klebefugen rückgetrocknet, so erreichen sie die Ausgangsfestigkeit wieder. Glutinleime sind allgemein nicht in der Lage mehrfache Wechselagerungen ohne Festigkeitsverluste zu überstehen.

3.3.6 Perleim mit Schutzmittel

Es wurde der gleiche Warmleim, wie unter Punkt 3.3.5 beschrieben, verwendet. Um die Schutzwirkung gegen Pilz- und Insektenbefall zu erhöhen, wurde dem Leim im Untermischverfahren ein Schutzmittel untergerührt (vgl. Abschnitt 3.4).

3.4. Schutzmittel

Bei der Verklebung kam das Schutzmittel Preventol CMK zum Einsatz. Es handelt sich um ein 3-Methyl - 4 chlorphenol. Preventol CMK ist in der Liste der zugelassenen Konservierungsmittel in der Deutschen- und EU-Kosmetik-Verordnung/Direktive, Anhang IV, Teil 1, aufgeführt. Ferner als Empfehlung XIV der Kunststoff-Kommission des BgVV als Schutz gegen Fäulnis und als Desinfektionsmittel nach § 10c Bundesseuchengesetz enthalten.

Gemäß Sicherheitsdatenblatt 690981/07 vom 12. August 1997 des Herstellers sind folgende physikalische und chemische Eigenschaften zu nennen

Geruch:	stark riechend
Dichte:	1,37 g/cm ³ bei 20°C
pH-Wert:	ca. 5,6 in gesättigter, wäßriger Lösung bei 22,9°C
Flammpunkt:	ca. 118°C
Zündtemperatur:	ca. 590°C
Löslichkeit im Wasser:	ca. 4 g/l bei 20°C, ca. 7 g/l bei 50°C

Schmelzbereich:	63 - 65°C
Siedetemperatur:	ca. 235°C
Zersetzungstemperatur:	ca. 200°C

Preventol CMK und dessen Natriumsalz verfügen über ein breites und sehr ausgewogenes Wirkungsspektrum, das sowohl grampositive und gramnegative Bakterien als auch Schimmelpilze und Hefen umfaßt. Besonders ausgeprägt ist die Wirksamkeit gegen Fäulnis-Bakterien. Die ausgeprägte thermische und chemische Stabilität von Preventol CMK/CMK-Na ermöglicht einen flexiblen Einsatz über einen weiten Bereich des Produktionsprozesses der zu schützenden Güter. Außerdem sind die geringe Toxizität gegenüber Mensch und Tier und die gute biologische Abbaubarkeit hervorzuheben.

Zur Einarbeitung wurde das Schuttmittel vorgelöst. Eine alkalische Stammlösung, die 30% Preventol CMK enthielt, wurde wie folgt hergestellt:

1 kg Preventol CMK in 1,85 l Wasser und 0,5 kg 50%ige Natronlauge (NaOH), unter Rühren lösen. Der Lösungsvorgang wurde durch geringfügiges Erwärmen beschleunigt. Umrechnung für diesen Verklebungsprozeß:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| • 1 kg Preventol CMK | 100 g Preventol CMK |
| • 1,85 l Wasser | 185 ml Wasser |
| • 0,5 kg 50%ige NaOH | 50g 50%ige NaOH |

Als erstes wurde die 50%ige Natronlauge angesetzt. Anschließend wurden die im Wasser gelösten Pastillen mit der Natronlauge vermengt. Es konnte festgestellt werden, daß sich die Lösung unter Lichteinwirkung etwas dunkel verfärbt. Dieses spiegelte sich auch im Farbaussehen der Kaseinleimfuge wieder. Sie wurde dunkler als die normale Kasein-Klebefuge.

3.5 Prüfungen

Die Untersuchungen basieren auf den erzielten Festigkeitseigenschaften der Klebeverbindungen. Es wurden im ersten Teilvorhaben Delaminierungsprüfungen und Zugscherprüfungen nach verschiedenen Beanspruchungen durchgeführt.

3.5.1. Zugscherfestigkeitsprüfung

Die in Anlehnung an DIN EN 302-1 durchgeführten Prüfungen beruhen auf der Bestimmung

der Scherfestigkeit von Klebstoffverbindungen längs zur Faser an überlappten Prüfkörpern. Dieses Verfahren ist für folgende Anwendungsfälle geeignet:

- a) Zuordnung des Klebstoffs zu einem der in EN 301 angegebenen Klebstofftypen
- b) Feststellung der Eignung und der Qualität von Klebstoffen für tragende Holzbauteile
- c) Zum Vergleich der Klebefestigkeit bei dünnen und dicken Klebstoffugen.

Die Proben wurden mit einer Prüfmaschine Typ 1474, der Fa. Zwick/Einsingen Baujahr: 1983 auf ihre Festigkeit geprüft.

3.5.2 Delaminierungsprüfung

Dieses Prüfverfahren erfolgte gemäß EN 302-2. Die Prüfung ist für folgende Anwendungsfälle geeignet:

- a) Zuordnung des Klebstoffes zu einem der in EN 301 angegebenen Klebstofftypen
- b) Feststellung der Eignung und der Qualität von Klebstoffen für tragende Holzbauteile
- c) Feststellung von möglichen Auswirkungen verschiedener, klimatischer Beanspruchungen, der gewählten Verklebungsbedingungen und der Behandlung der Prüfkörper vor und nach der Verklebung auf die Klebefestigkeit.

Bei der Prüfung wurden die verklebten, lamellierten Prüfkörper zwei Bewässerungs-/Trocknungs-Folgen unterworfen. Durch Untertauchen wurden die einzelnen Prüfkörper bewässert. Danach wurden die bewässerten Proben abwechselnd einer hohen und niedrigen Vakuum/Druck Beanspruchung ausgesetzt. Nach Beendigung des Vakuum-Druck-Zyklus wurden die Prüfkörper in einem Umluftofen (Typ 1 = 65°C und Typ 2 = 28°C) bei einem Luftstrom mit hoher Geschwindigkeit rasch auf eine niedrige Holzfeuchte getrocknet. Dieser gesamte Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus wurde je nach Verfahren ein- oder zweimal wiederholt.

Im Anschluß an den letzten Zyklus wurde das Ausmaß der Delaminierung der Klebstoffugen an den beiden Hirnholzenden in mm gemessen. Die Messung erfolgte mit Hilfe eines Mikroskopes der Fa. Zeiss bei 20-facher Vergrößerung. Das Ergebnis wurde in Beziehung zur Gesamtlänge der Klebstoffugen an den Hirnholzenden gesetzt. Bei der Messung war darauf zu achten, daß Risse im Holz nicht als Delaminierung erfaßt wurden und isolierte Delaminierungen von weniger als 2,5 mm Länge und mehr als 5 mm von der nächsten Delaminierungsstelle entfernt, sowie Delaminierungen an Ästen, nicht berücksichtigt wurden.

Die Ergebnisse wurden wie folgt angegeben:

$$\frac{\text{Länge offener Klebstoffugen an den Hirnholzenden}}{\text{Gesamtlänge der Klebstoffugen an den Hirnholzenden}} \times 100\%$$

Für den Befeuchtungs-Druck-Zyklus wurde ein Autoklav 11877, der Fa. Deutsch und Neumann verwendet (vgl. Abb. 2).

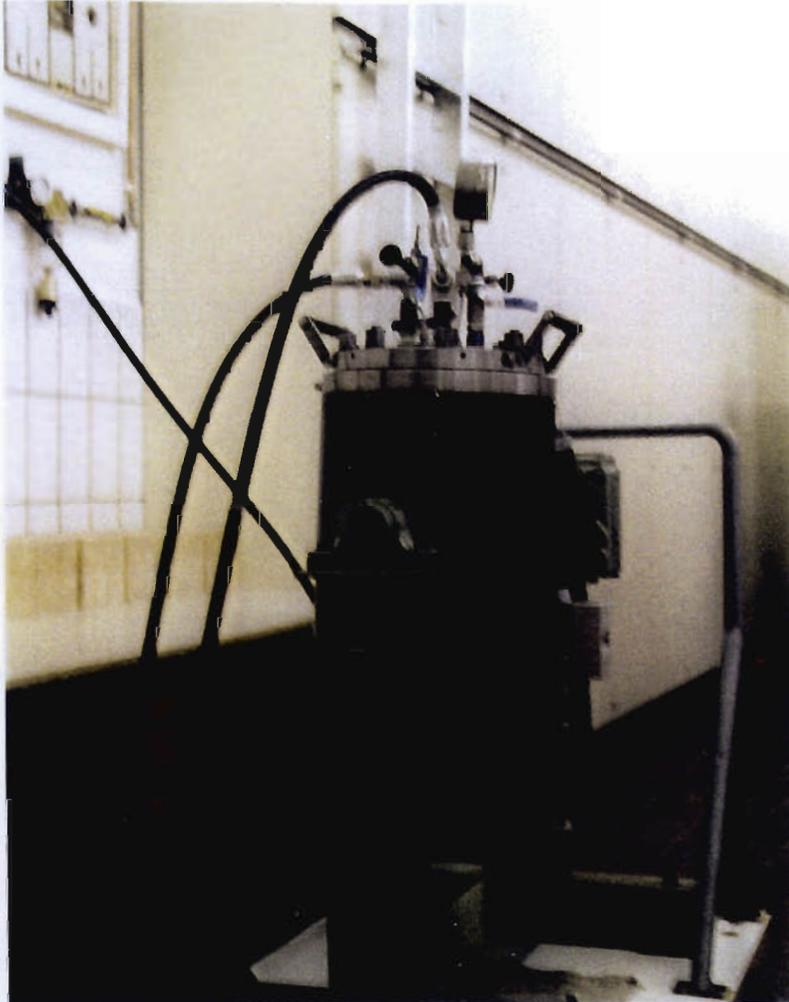


Abb. 2: Bestimmung der Delaminierung mit Autoklav (BAM BERLIN)

An dem Autoklaven war eine Vakuumpumpe angeschlossen, welche zur Reduzierung des Absolutdruckes im Kessel benutzt wurde. Über ein digitales Meßgerät wurde das über einen Regler eingestellte Vakuum abgelesen. Aus sicherheitstechnischen Gründen wurden der Pumpe zwei Waschflaschen vorgeschaltet. Sie sollten ein eventuelles Überlaufen des Wassers in die Vakuumpumpe verhindern.

Die Prüfung der Delaminierung wurde nach zwei Verfahren durchgeführt. Die in dem Druckbehälter befindlichen Prüfkörper mußten untereinander einen Abstand von mindestens 5 mm haben. Nur so war es möglich, daß das Wasser ungehindert über alle Hirnholzflächen eindringen konnte. Die Proben waren gleichzeitig gegen ein mögliches Aufschwimmen zu sichern. Anschließend kam entweder das Verfahren:

- a) bei hoher Temperatur zur Prüfung der Erfüllung der Anforderungen an Klebstoffe des Typs zum Einsatz unter verschärften Klimabedingungen ,
oder
- b) das Verfahren bei niedriger Temperatur, Prüfung der Anforderungen zum Einsatz unter gemäßigten Klimabedingungen, zur Anwendung.

Die folgende Tabelle 1 vermittelt einen Überblick über die Prüfparameter bei den einzelnen Verfahren:

Tab. 1: Prüfparameter für Delaminierungsprüfungen nach DIN EN 302-2

	Hohe Temperatur	Niedrige Temperatur
Wassertemperatur	(15 ±5)°C	(15 ±5)°C
Vakuum	(25±5)kPa	(25±5)kPa
Vakuumdauer	5 min.	5 min.
Druck	(600 ±25)kPa	(600 ±25)kPa
Druckdauer	1 h	2 h
	1 Wiederholung der Zyklen	
Trocknungstemperatur	(65 ±5)°C	(28 ±1)°C
Relative Luftfeuchte	15%	(30±5)%
Luftgeschwindigkeit	(2,25 ±0,25)m/s	(2,25 ±0,25)m/s
Trocknungsdauer	22 h	91 h 30 min.
	Wiederholung des gesamten Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus	
	2 x	1 x
Gesamtprüfzeit	ca. 3 Tage	ca. 8 Tage

3.5.3 Kurztestverfahren

Insbesondere die erforderliche Langfristigkeit von Freibewitterungsuntersuchungen sowie die oftmals erheblichen Klimaschwankungenergaben die Notwendigkeit der Erarbeitung von Kurzprüfverfahren. [DEPPE/SCHMIDT, 1979]

Es wurden Klimabedingungen und Zyklen erstellt, die in geraffter Form mögliche klimatische Belastungen in realistischer Weise widerspiegeln sollten. Die unterschiedliche Feuchtebeständigkeit der Klebstoffe stand hierbei besonders im Vordergrund des Interesses. Es wurde versucht, bestimmte Behandlungsstufen der eigentlichen Festigkeitsprüfung vorzuschalten. Neben den unterschiedlichen Verfahrensbedingungen (Verleimungsbedingungen, Härungsverlauf, Fugendicke, Rezeptur, Holzfeuchtigkeit, Dickengenauigkeit der Abschnitte) spielen auch die Eigenschaften der Leime eine bedeutende Rolle. In Untersuchungen ist nachgewiesen worden, daß einzelne Klebstoffe auf Veränderungen der Verfahrensbedingungen unterschiedlich reagieren. Deshalb hat man versucht, aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Holzleime, die Prüfverfahren diesen Gegebenheiten anzupassen [PLATH, 1963]. Hierin liegt indessen das Problem bei Anwendung von Kurzprüfverfahren. Es wurden vier Kurztestverfahren angewendet, welche im Wechsel Wasser- und Wärmelagerungen bei unterschiedlichen Temperaturen, sowie Kältelagerungen beinhalten, um auf diese Weise das Alterungsverhalten der Klebstoffe zu erfassen.

3.5.3.1 Lagerungsfolge A5 DIN EN 302-1

Da der AW 100 - Test nicht mehr im gegenwertigen Normenwerk existiert, wurde beim Vorhaben die Lagerungsfolge A5 gemäß DIN EN 302-1 für die Prüfung gewählt. Die Prüfkörper wurden vor der Festigkeitsprüfung folgendem Zyklus ausgesetzt:

- 7 Tage im Normalklima lagern (20/65)
- 6 Stunden untergetaucht in kochendem Wasser
- 2 Stunden untergetaucht im Wasser bei $(15\pm 5)^{\circ}\text{C}$
- 7 Tage im Normalklima (20/65)

Die Prüfung der Zugscherfestigkeit der Prüfkörper erfolgte im trockenen Zustand.

3.5.3.2 CTB - Test

Bei diesem Verfahren werden die Prüfkörper einem herkömmlich zyklisch physikalischem Einfluß (Wasser, Kälte, Trocknung) ausgesetzt, wodurch der Einfluß der normal

vorherrschenden Klimabedingungen simuliert werden soll. Beim CTB - Test wurden die Probekörper wie folgt belastet:

- 3d Wasserlagerung bei $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$
- 1d Kältelagerung bei $\text{minus } 20^\circ\text{C}$
- 3d Trocknen bei $(70 \pm 1)^\circ\text{C}$

Bei der Wasserlagerung war darauf zu achten, daß sich über den Proben immer ein 2 cm hoher Wasserspiegel befand. Aus prüftechnischen Gründen mußte bei der Kältelagerung mit einem Temperaturmittel von $\text{minus } 20^\circ\text{C}$ gearbeitet werden. Die Proben wurden nach dem Gefrieren nicht direkt in den Trockenschrank gelegt. Es wurde eine Klimatisierungszeit von 5 bis 10 Minuten eingehalten. Diese Zyklusfolge wurde zweimal beziehungsweise dreimal wiederholt. Die ersten Prüfkörper wurden nach 2 Wochen der Festigkeitsprüfung unterzogen und die restlichen Proben nach 3 Wochen.

3.5.3.3 ASTM - Test

Der ASTM - Test wird in den USA verbreitet angewendet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Zyklusfolge zweimal beziehungsweise dreimal wiederholt. Die Prüfbedingungen gliedern sich wie folgt:

- 1h Wasserlagerung bei $(49 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 3h Wasserdampf bei $(93 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 20h Kältelagerung bei $(\text{minus } 20 \pm 5)^\circ\text{C}$
- 3h Trocknen bei $(99 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 3h Wasserdampf bei $(93 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 18h Trocknen bei $(99 \pm 2)^\circ\text{C}$

Gemäß Prüfnorm mußte bei der Kältelagerung mit einer Temperatur von $\text{minus } (12 \pm 3)^\circ\text{C}$ gearbeitet werden. Aufgrund von technischen Bedingungen mußte der Test in der BAM mit einem Temperaturmittel von $\text{minus } 20^\circ\text{C}$ durchgeführt werden. Nach Beendigung der jeweiligen Zyklusfolgenkombination (zweimal, dreimal) wurden die Prüfkörper nach einer Klimatisierungszeit von 1 h (Abkühlen bei Raumtemperatur) hinsichtlich ihrer Zugscherfestigkeit getestet.

3.5.3.4 WCAMA - Test

Der WCAMA - Test findet verbreitet in der US-Sperrholzindustrie Anwendung. Die Proben wurden nach folgendem Zyklus behandelt:

- 0,5h Wasserlagerung bei $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$
- 2h Kochen bei $(104 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 20h Trocknen bei $(104 \pm 2)^\circ\text{C}$

Der WCAMA - Test umfaßt 6 Zyklen in Wiederholung.

Nach Ende der letzten Trocknungsphase wurden die Proben eine Stunde bei Raumtemperatur klimatisiert. In der anschließenden Zugscherprüfung wurden die Festigkeitswerte für diesen Sechs - Zyklen - Test ermittelt.

4. Untersuchungsaufbau

4.1 Herstellung der Untersuchungsmaterialien

Nach dem Einteilen der Brettabschnitte wurden diese zunächst besäumt und entsprechend der geforderten Brettbreite der Länge nach aufgetrennt. Somit entstanden Hölzer mit den ungefähren Längen 610 mm (Zugscherproben) und 420 mm (Delaminierungslamellen). Die Abschnitte mit der Länge 610 mm und einer Breite von 130 mm wurden für die Zugscherprobenherstellung verwendet. Die besäumten Bretter wurden abgerichtet und gehobelt. Für die Herstellung der Zugscher-Proben benötigte man 5 mm bzw. 5,5 mm dicke Brettchen. Die Bretter wurden entsprechend aufgetrennt. Die so entstandenen 5 Brettchen wurden danach noch einmal gehobelt, bis sie die erforderliche Dicke von 5 bzw. 5,5 mm aufwiesen. Die fertigen Brettchen wurden klimatisiert (20°C/65 % rel. Luftfeuchte), bevor sie verleimt wurden.

Die Lamellen für die Herstellung der Delaminierungsblöcke besaßen eine Länge von 420 mm und eine Breite von 160 mm. Um die erforderliche Lamellendicke von 25 mm zu erreichen, wurden diese mit Hilfe einer Dickenhobelmaschine auf das geforderte Maß gebracht. Bevor die Verleimung der Delaminierungsblöcke erfolgen konnte, wurden diese in einem Klimaraum bei einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte von 65 % 7 Tage gelagert.

Bei der Sortierung und Beurteilung des für die Untersuchungen verwendeten Schnittholzes fiel auf, daß der Astanteil der Fichtenbretter wesentlich höher ausfiel, als bei der Kiefer. Die Bretter der Fichte wiesen viele kleine Äste und Risse auf. In diesem Zusammenhang war die Ausschußquote bei der Fichte höher als bei der Kiefer. Einige Proben konnten, wegen des Astanteils bzw., weil sich einige Äste genau im Bereich der Leimfuge befanden, nicht für die Prüfungen genutzt werden. Befindet sich ein Ast im Bereich der Fuge, so kommt es zum Absinken der Zugscherfestigkeitswerte und zur Verfälschung der Ergebnisse.

Bei der Kiefer trat das Problem der Holzinhaltstoffe auf. Einige Bretter wiesen einen starken Harzanteil auf. Bei allen spanenden Bearbeitungsschritten, wie Sägen und Hobeln, machte sich eine Abstumpfung bzw. Verklebung der Schneidwerkzeuge bemerkbar. Die Standzeiten verringerten sich und die Werkzeuge mußten häufiger gewechselt werden. Die Bretter mit hohem Harzgehalt mußten nach den Bearbeitungsvorgängen aussortiert werden, da sonst die Gefahr bestand, daß es bei einer Verleimung, zu Beeinflussungen bei den Meßergebnissen gekommen wäre.

4.2 Ermittlung von Verleimparametern

Durch Vorversuche war zu klären ob Kasein- und Perleime so zu modifizieren waren, daß eine B 4 - Verleimung gemäß DIN 68 602 erreicht werden konnte. Die Modifizierung sollte durch ein Zumischen von Anteilen eines emulgierbaren Isocyanatklebers (MDI = Ic) erfolgen. Nach DIN 68602 werden bei der Beanspruchungsgruppe B 4 an die Klebfuge nachfolgende Anforderungen gestellt:

- Die Klebung soll beständig gegen Klimaeinflüsse, in einem Klimagebiet mit gemäßigttem Klima (Klimagebiet T nach DIN 50019 Teil 1), unter besonders ungünstigen Bedingungen sein.

Für diese Vorversuche wurde Kiefernholz verwendet. Die einzelnen Brettchen wurden nach folgendem Plan verklebt:

1. MDI - Kleber	150°C Presstemperatur
2. Kasein + 1,0 % MDI	150°C Presstemperatur
3. Kasein + 1,5 % MDI	150°C Presstemperatur
4. Kasein + 2,0 % MDI	150°C Presstemperatur
5. Kasein + 3,0 % MDI	150°C Presstemperatur
6. MDI - Kleber	Kaltverleimung
7. Kasein Kaltverleimung	
8. Kasein + 1,0 % MDI	Kaltverleimung
9. Kasein + 1,5 % MDI	Kaltverleimung
10. Kasein + 2,0 % MDI	Kaltverleimung
11. Kasein + 3,0 % MDI	Kaltverleimung
12. Perleim	Kaltverleimung
13. Perleim + 1 % MDI	Kaltverleimung
14. Perleim + 3 % MDI	Kaltverleimung

Die Verleimungen und Verpressungen sollten bei einer Temperatur von 150°C, sowie im kalten Zustand erfolgen. Es wurden nur 0,1 mm dicke Leimfugen hergestellt. Dünne Leimfugen sind bekanntlich nicht nur wirtschaftlicher, sondern generell durch geringere Schrumpfkraftkräfte wesentlich sicherer zu beherrschen. Vor Bestimmung der Zugscherfestigkeitswerte der einzelnen Verleimtypen waren die Proben zwei Behandlungsfolgen zu unterwerfen.

Es handelte sich um die Lagerungsfolgen A2 und A4 gemäß DIN EN 302, Teil 1, vgl. nachfolgende Tabelle 2.

Tab. 2: Art und Dauer der Behandlung vor der Zugscherprüfung

Kurzzeichen	Behandlung
A 1	- 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] 1)
A 2	- 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] - 4 Tage untergetaucht in Wasser bei (15 ± 5)°C Prüfkörper geprüft in nassem Zustand
A 3	- 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] - 4 Tage untergetaucht in Wasser bei (15 ± 5)°C - 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] Prüfkörper geprüft in nassem Zustand
A 4	- 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] - 6 Stunden untergetaucht in kochendem Wasser - 2 Stunden untergetaucht in Wasser (15 ± 5)°C Prüfkörper geprüft in nassem Zustand
A 5	- 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] - 6 Stunden untergetaucht in kochendem Wasser - 2 Stunden untergetaucht in Wasser (15 ± 5)°C - 7 Tage in Normalklima [20°C/65% r.F.] Prüfkörper geprüft in nassem Zustand

1) Das Normalklima [20°C/65%r.F.] ist definiert durch eine Temperatur von (20 ± 2) °C und eine relative Luftfeuchte von (65 ± 5)%.

Im Anschluß an die Behandlungen sind je Verleimtyp 10 Zugscherproben geprüft worden. Abb. 3 und 4 geben einen Überblick über die erreichten Festigkeitswerte bei den jeweiligen Vorbehandlungen.

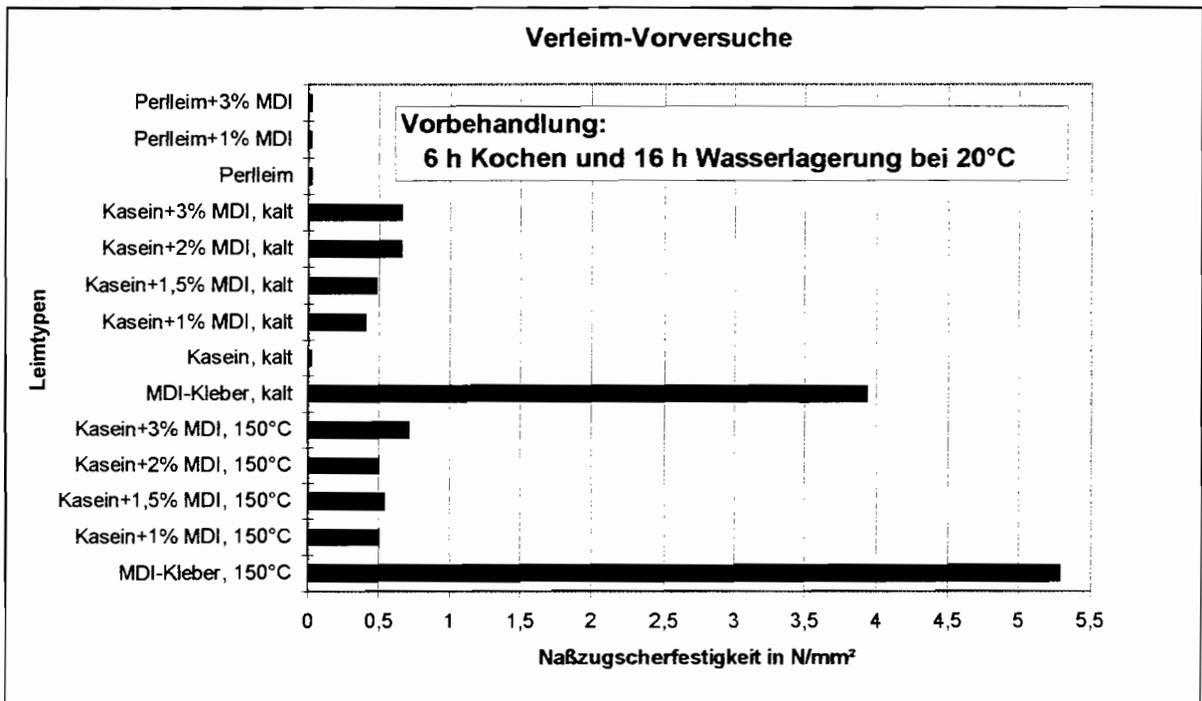


Abb. 3: Naßzugscherfestigkeitswerte (EN 302-1) bei verschiedenen Leimtypen zur Ermittlung der Wirkung von Modifizierungen mit emulgierbaren Isocyanatklebstoffen nach Kochbeanspruchung

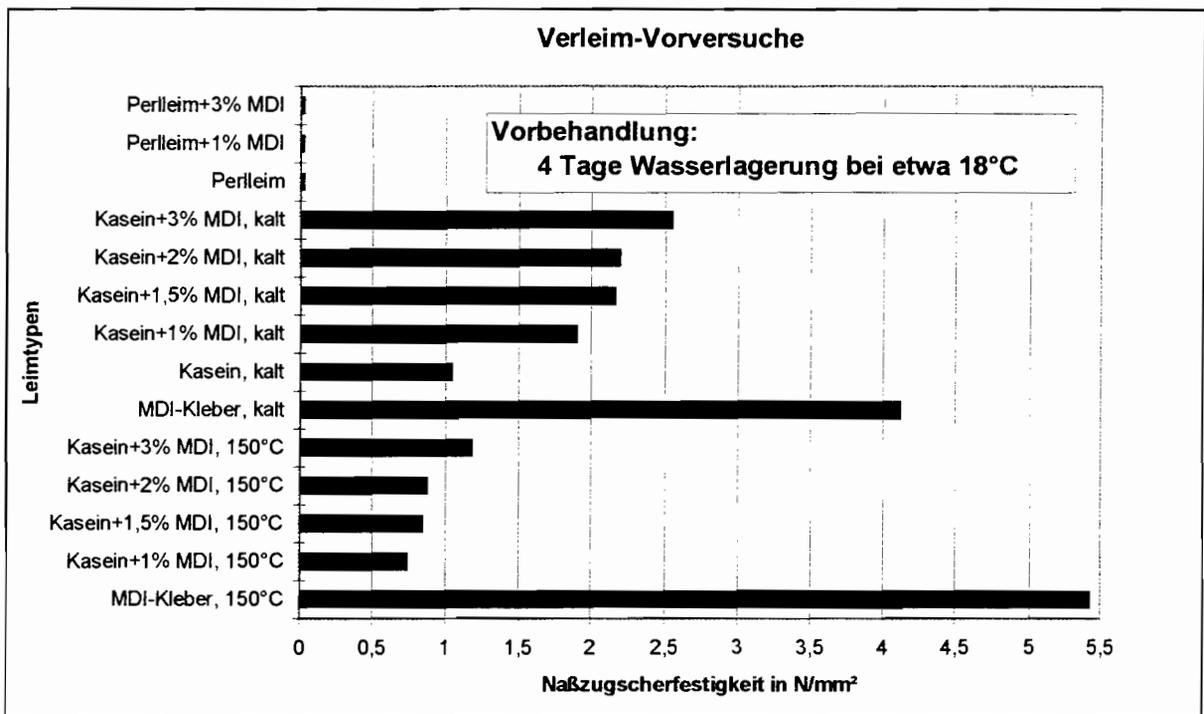


Abb. 4: Naßzugscherfestigkeitswerte (EN 302-1) bei verschiedenen Leimtypen zur Ermittlung der Wirkung von Modifizierungen mit emulgierbaren Isocyanatklebstoffen nach Vorbehandlung

Anhand der ermittelten Werte wurden aus praktischen Erwägungen, zur Modifizierung 3 % Isocyanat (MDI) bei den Kasein-Verleimungen verwendet. Bei den Voruntersuchungen zur Modifizierung von Naturklebstoffen mit MDI-Klebstoffen ergab sich erwartungsgemäß eine Festigkeitssteigerung in Abhängigkeit von der Dosierung, was besonders bei der Kaltverleimung hervortrat. Eine Erwärmung auf 150 °C hingegen ließ keine signifikanten Unterschiede bei den einzelnen Dosierungsstufen bei Kaseinleim mehr erkennen. Feststellbar war indessen, daß nur ein Bruchteil der Festigkeit der reinen MDI-Verleimung erreicht wurde. Modifizierte Perleime versagten bei beiden Vorbehandlungen.

4.3 Verklebung

Bei der Auswahl der Bretter für die Verklebung zu Platten aus zwei Lamellenbrettchen und lamellierten Kanteln, aus denen später die Proben für die Prüfungen der Zugscherfestigkeit und Delaminierungsbeständigkeit herausgeschnitten wurden, waren Jahringverlauf, Grad der Schrägfasrigkeit und eine möglichst gleiche Breite, die Auswahlkriterien. Bei den Zugscherproben ist je Holzart, je Prüfart, je Leimtyp und je Folge ein Lamellenbrett hergestellt worden. Aus den verklebten Brettchen konnten später 10 und 20 Proben herausgeschnitten werden. Somit konnte je Untersuchung ein Prüfumfang von 10 Prüfkörpern festgelegt werden.

Für die Delaminierungsprüfung waren je Holzart, je Leimtyp und je Prüfmethode eine Kante verklebt worden. Aus einer Kante wurden nachfolgend 3 Proben herausgeschnitten.

Die Auftragsmenge für die Klebstoffgruppen wurde mit ca. 250g/m² einheitlich gewählt. Der Klebstoffauftrag erfolgte jeweils einseitig mit Spachtel oder Pinsel. Entsprechend der Herstellerangaben der Klebstoffe, war die Pressdauer bei den Klebstoffen recht unterschiedlich. Mit ca. 1 N/mm² für alle Verklebungen wurde ein einheitlicher Druck angewandt, der sich als ausreichend erwies. Dieser Preßdruck wurde gleichmäßig über die Klebstofffläche verteilt. Das Raumklima bei den Verklebungen lag einheitlich bei ca. 22°C und einer relativen Luftfeuchte von ca. 70 %. Dies entsprach auch der jeweiligen Temperatur des Klebstoffes und des Holzes. Die verklebten Lamellenbrettchen und lamellierten Kanten wurden beschriftet und bis zur weiteren Bearbeitung zu Prüfkörpern im gleichen Klima gelagert.

Die verwendeten Klebstoffe wurden entsprechend den technischen Merkblättern der Hersteller, wie folgt angesetzt und verarbeitet:

1. Beim Klebstoff Kauresin-Leim 440 (K 440) wurden gemäß Ansatz - Nr. 1 zunächst 100 Gewichtsteile Kauresin-Leim 440 flüssig in ein Gefäß gegeben. Danach wurden 20 Gewichtsteile von Härter Kauresin 444 Pulver untergemischt. Das Gemisch war solange zu rühren, bis es homogen und knollenfrei war.
2. Der Einkomponenten Polyurethan-Klebstoff 60100 konnte aus den Klebstofftuben direkt auf die Klebefläche aufgebracht werden.
3. Beim Klebstoff Kasein-Kaltleim war ein Gewichtsteil Pulver unter ständigem Rühren in einem Gewichtsteil von kaltem Wasser einzustreuen. Es war solange zu rühren, bis die Lösung klumpenfrei war und eine zufriedenstellende Viskosität der Leimflotte vorlag. Dem fertigen Gemisch wurden 3 % Isocyanat (MDI) beigemischt.
4. Das Gemisch Kasein-Leim mit Schutzmittel wurde, wie vorstehend beschrieben, hergestellt (vgl. Absch. 3.2.4 und 3.3). Der fertigen Leimflotte wurden 0,2 % Schutzmittel untergemischt.
5. Der Perlleim wurde im Wasser zum Quellen gebracht. Anschließend erfolgte eine Erwärmung im Wasserbad. Der nunmehr flüssige Klebstoff konnte mit Hilfe eines Pinsels direkt auf die vorgewärmten Oberflächen bei etwa 40 °C aufgetragen werden. Nach einer kurzen Zeit gelierte der Leim auf der Oberfläche. In diesem Zustand konnten die heißen Gegenstücke (ca. 100°C) gegengepreßt werden.

6. Beim Perleim-Schutzmittel-Gemisch wurden dem flüssigen Leim 0,12 % Schutzmittel zugemischt.

4.3.1 Zugscherproben

Die Proben zur Ermittlung der Zugscherfestigkeit in Faserrichtung (längs) der Klebefugen wurden gemäß DIN EN 302-1 hergestellt, vgl. Abb. 5.

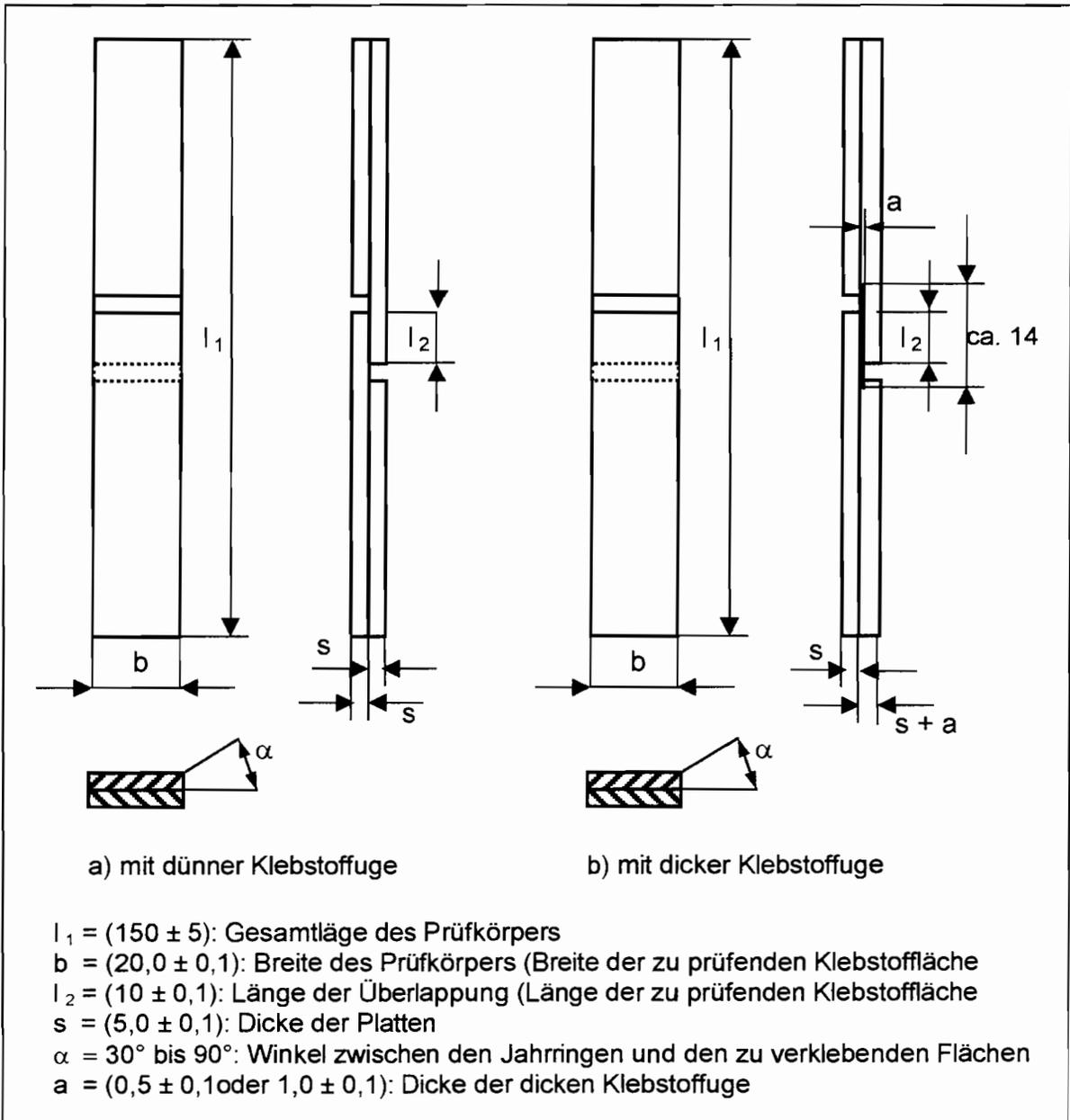


Abb. 5: Überlappte Zugscherfestigkeitsprüfkörper gemäß DIN EN 302-1

Die fertig bearbeiteten Lamellenbrettchen wurden mit den unterschiedlichen Klebstoffen verleimt. Es war darauf zu achten, daß der Winkel zwischen den Jahresringen und der zu verklebenden Fläche zwischen 30° und 90° lag.

Für die Prüfung von dünnen Fugen (0,1 mm) mußten beide Platten je 5 mm stark sein. Bei der Prüfung von dicken Klebstoffugen (0,5 mm) war eine Platte 5,5 mm und die andere 5,0 mm dick. In die 5,5 mm dicken Platte wurden Nuten gefräst. Diese hatten eine Tiefe von 0,5 mm und eine Breite von 14 mm. Nach erfolgter Klimatisierung wurden die Platten in entsprechende Prüfkörper aufgeteilt, vgl. Abb. 6.

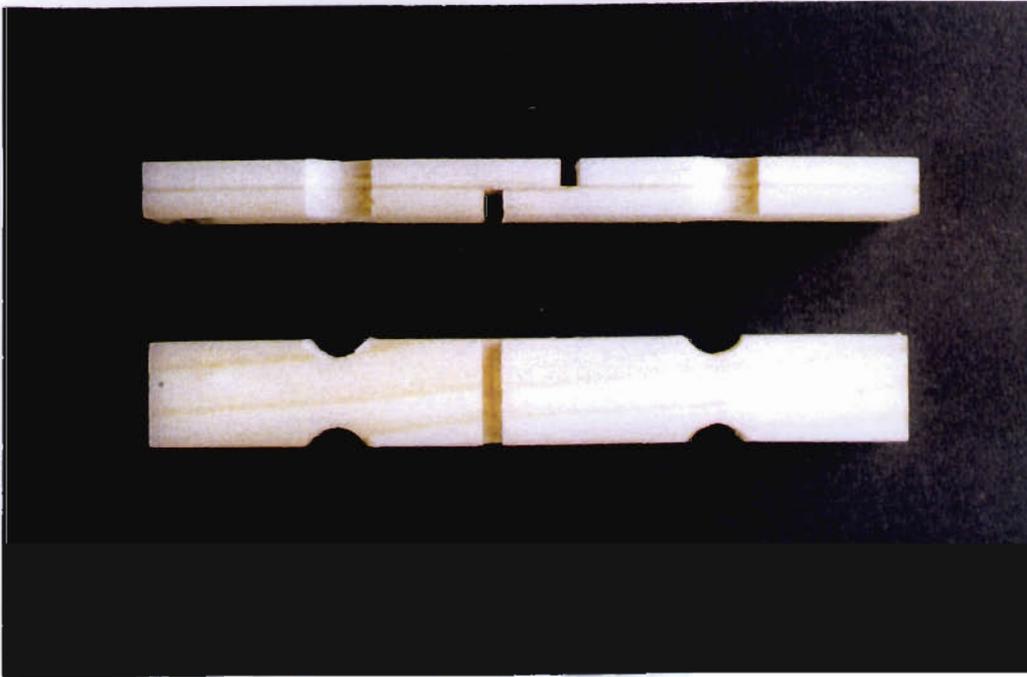


Abb. 6: Zugscherproben

Beim Zuschnitt der Proben war darauf zu achten, daß diese möglichst keine Äste oder größere Faserabweichungen aufwiesen.

4.3.2 Delaminierungsblöcke

Die Delaminierungsblöcke (400 mm Länge x 150 mm Breite x 150 mm Dicke) wurden gemäß DIN EN 302-2 und DIN EN 386 gefertigt. Jeder lamellierte Block bestand aus sechs Lamellen. Bei der Verleimung waren Lamellen mit radialer Schnittrichtung (Riffts) auszuschließen. Jeweils sechs Lamellen mußten innerhalb jedes Teiles die gleiche Jahresringlage aufweisen. Sie sollten generell die Markröhre auf der gleichen Seite haben. Aus den Blöcken wurden je 3 Delaminierungsproben mit einer Länge von 75 mm herausgeschnitten, vgl. Abb. 7.

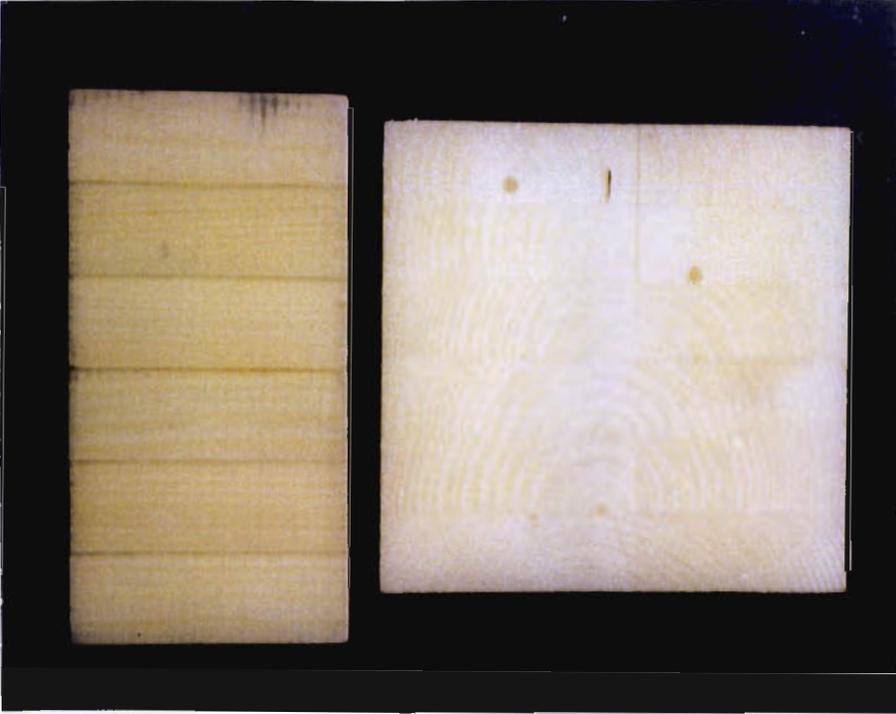


Abb. 7: Delaminierungsproben

Bis zur Prüfung erfolgte die Probenlagerung bei Normalklima.

5. Untersuchungsdurchführung:

Gemäß Arbeitsprogramm wurden entsprechend der vorstehend angeführten Untersuchungsanordnung zum Teilprojekt 1 (Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen im Kurzversuch nach internationalen Standards) folgende Arbeitsstufen durchgeführt:

- Trocken-Zugscherfestigkeit *).
- Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 gemäß DIN EN 302-1 (früher AW 100) *)
- CTB-Zugscherfestigkeit *).
- ASTM-Zugscherfestigkeit *).
- WCAMA-Zugscherfestigkeit *).

Die Untersuchungen zum Teilprojekt 2 (Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit) wurden wie folgt erweitert:

- Kurzzeit-Alterungen im Xenotest-Gerät, Typ 1200, 12, 24, 36 und 48 Wochen.
- Wechselklimalagerungen (4 d 20°C/90 % rel. F. und 3 d 40°C/50 % re. F.) unter Last (15 kg).
- Delaminierungsprüfungen mittels Kurzzeit-Alterungen im Xenotest-Gerät, Typ 1200, Auswertung nach DIN EN 302, Teil 2 (bzw. ASTM 1101-59).
- Bestimmung der Beständigkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten nach 12 Wochen Versuchsdauer (Prüfpilze: *Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum*).

*) Durchführung im Rahmen einer Diplom-Arbeit der FHS Eberswalde, FB Holztechnik durch Herrn Cand. Ing. S. Wilke

6. Untersuchungsergebnisse

Die zum Teilprojekt 1 durchgeführten Untersuchungen ergaben zunächst, daß bei Verleimungen mit Kunstharzen ein relativ hohes Maß an Sicherheit vorhanden ist, das allerdings von der Struktur des jeweiligen Harzes bestimmt wird. Dies gilt auch im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit, soweit Kurzzeitalterungsverfahren hierüber Auskunft geben können. Anhand von Alterungsverfahren, die Langzeitbelastungen einschließen (XENOTEST-Verfahren) waren diese Aussagen im Teilprojekt 2 des Forschungsvorhabens zu überprüfen.

Die Naturharze, insbesondere Verleimungen auf Knocheneiweiß- oder Blutalbuminbasis ließen bereits bei kurzzeitigen Einwirkungen von Feuchte, Wärme und Kälte deutliche Schwächen erkennen.

Hingegen war bei den Untersuchungen der Zugscherfestigkeit im unbehandeltem Zustand (trocken) ersichtlich, daß Naturharze in der Tendenz teilweise deutlich bessere Werte aufwiesen als die Kunstharzverleimungen), wie es Tabelle 3 zu entnehmen ist.

Tabelle 3: Trocken - Zugscherfestigkeit mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Trocken - Zugscherfestigkeit in N/mm ²								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,46	1,01	22,68	40	4,54	0,83	18,30	19
PUR (2)	4,52	1,80	39,79	30	5,72	1,29	22,53	17
Kasein+3% MDI	5,14	1,03	19,94	13	5,31	1,15	21,63	27
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	5,12	1,38	26,95	16	4,39	1,76	40,20	20
Perleim	5,36	1,26	23,44	24	2,84	0,67	17,45	53
Perleim + HSM ²⁾	5,16	0,77	14,96	60	2,90	0,51	17,69	61
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,69	0,88	18,74	40	4,78	1,59	33,34	19
PUR (2)	4,47	1,53	34,22	30	3,04	1,81	59,43	17
Kasein+3% MDI	5,27	1,44	27,33	13	4,93	0,72	14,68	27
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	6,33	1,37	21,65	16	4,78	1,37	28,63	20
Perleim	4,74	0,52	10,88	24	4,27	1,01	23,62	53
Perleim + HSM ²⁾	4,09	0,97	23,77	60	2,91	0,69	23,79	61

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

Bezieht man den Anwendungsbereich von BSH-Elementen in die Überlegungen ein, so ist davon auszugehen, daß die Prüfung im trockenen Zustand allein kein ausreichender Maßstab sein kann. Solange Brettschichtholzverleimungen nicht direkter Außenbeanspruchung ausgesetzt sind und in nicht feuchten Innenräumen, z. B. Bäder verwendet werden, d.h., bei Materialfeuchtwerten von >18%, kann man davon ausgehen, daß sie über eine ausreichende Dauerfestigkeit verfügen. Indessen ist beim Einsatz im Holzbau, z. B. bei Dachschalungen u. ä. damit zu rechnen, daß die Brettschichthölzer unter bestimmten Bedingungen in der Praxis Feuchte- und Temperatureinflüssen ausgesetzt sind. Die Knocheneiweißverleimungen (Perleim) sind deshalb schon vom Ansatz her problematisch, weil bekanntlich bei der Leimflottenherstellung die Perlen zunächst in Wasser gelegt werden. Nachdem sie aufgequollen sind, werden die Perlen in einem Wasserbad bei 70 - 80°C verflüssigt. Daraus ist die Gefahr erkennbar, daß sich die Leimfuge bei Einwirkung von Feuchte und Wärme erneut auflösen wird.

Bei den durchgeführten Kurztestverfahren und Delaminierungsprüfungen waren die Proben mit Perleimverleimung stets einer Feuchtebeanspruchung sowie Temperaturen > 70°C ausgesetzt. Daraus wird erkennbar, daß Perleimverleimungen zwangsläufig auch für viele Innenbereiche (Denkmalpflege, Holzleimbau) ein Sicherheitsrisiko darstellen müssen.

Abgesehen von den bekannten Festigkeitsunterschieden bei Verwendung von Kiefern- und Fichtenholz fallen die Unterschiede zwischen PF/RF- und PUR-Verleimungen hinsichtlich der Größenordnungen auf. So sind beim CTB-Test bei PUR-Verleimungen in der Tendenz die geringsten Abbauwerte feststellbar (dünne Fugen). Bei Anwendung der Lagerungsfolge A5 (EN 302-1) liegt indessen bei PUR-Verleimungen ein deutlicher Festigkeitsverlust vor. Schon aus diesen Versuch zeigt sich, daß das Untersuchungsergebnis in entscheidender Weise von der Wahl des Prüfverfahrens bestimmt wird.

Verleimungen mit Perleim erleiden bei allen verwendeten Prüfverfahren übereinstimmend einen völligen Festigkeitsverlust. Bei Kaseinverleimungen sind erhebliche Streuungen in den Resultaten feststellbar (Abb. 10 und 11). Bei dünnen Leimfugen lassen bei Kasein-Verleimungen sowohl der CTB-Test als auch der ASTM-Test insbesondere bei Kiefernholz relativ hohe Restfestigkeitswerte erkennen, die bei Anwendung der Lagerungsfolge A5 (EN 302-1) nicht vorhanden sind, vgl. Tab. 4 bis 9 und Abb. 8 bis 11.

Tabelle 4: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Zugscherfestigkeit - nach Lagerungsfolge A5 in N/mm ² (EN 302-1)								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,23	1,13	26,62	20	4,80	0,96	20,07	11
PUR (2)	2,98	0,88	29,56	90	3,47	0,67	19,21	84
Kasein+3% MDI	0,54	0,15	28,08	100	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0,54	0,27	49,70	100	0,56	0,38	66,56	100
Perleim	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	3,97	0,66	16,52	33	4,14	1,23	29,70	37
PUR (2)	3,32	0,83	25,14	92	2,27	0,79	34,99	100
Kasein+3% MDI	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁾ 0= Proben beim Kochen entleimt

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

Tabelle 5: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 2 Zyklen mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Zugscherfestigkeit - nach CTB-Test (2 Zyklen) in N/mm ²								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,14	1,36	32,9	18	6,15	1,54	25,02	26
PUR (2)	4,71	1,04	22,15	17	4,2	1,07	25,54	18
Kasein+3% MDI	5,06	1,82	35,89	44	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	4,51	1,75	39	36	0	0	0	0
Perleim	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	3,34	0,98	29,37	29	5,57	1,01	18,08	43
PUR (2)	6,19	1,02	16,4	74	3,75	2,01	53,59	93
Kasein+3% MDI	3,01	1,6	53,17	100	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁾ 0= Proben beim Kochen entleimt

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

Tabelle 6: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 3 Zyklen mit 0,1 mm mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Zugscherfestigkeit - nach CTB-Test (3 Zyklen) in N/mm ²								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,42	1,37	31,05	21	5,49	1,6	29,13	21
PUR (2)	5,43	0,61	11,23	32	4,95	1,35	27,31	9
Kasein+3% MDI	3,97	1,44	36,28	38	3,19	2,71	85,06	37
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	3,88	1,3	33,57	24	4,68	1,41	30,14	29
PUR (2)	4,23	1,63	38,61	79	2,31	0,99	42,84	95
Kasein+3% MDI	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁾ 0= Proben beim Kochen entleimt

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

Tabelle 7: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (2 Zyklen) 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Zugscherfestigkeit - nach ASTM-Test (2 Zyklen) in N/mm ²								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	5,02	0,98	19,44	27	5,54	1,02	18,42	34
PUR (2)	5,25	1,15	21,85	22	4,73	1,11	23,38	25
Kasein+3% MDI	3,15	1,84	58,32	71	1,03	1,49	144,58	90
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0,87	1,59	183	85	0,72	1,13	156,25	90
Perleim	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,3	1,32	30,6	26	5,03	1,43	28,42	38
PUR (2)	4,46	1,48	33,21	73	2,67	1,42	53,13	95
Kasein+3% MDI	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁾ 0= Proben beim Kochen entleimt

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

Tabelle 8: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (3 Zyklen) mit 0,1 mm mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Zugscherfestigkeit - nach nach ASTM-Test (3 Zyklen)								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	5,50	1,67	30,42	18	4,75	1,92	40,34	16
PUR (2)	4,20	1,72	40,86	28	5,59	1,61	28,77	22
Kasein+3% MDI	2,90	2,89	99,76	71	1,36	2,11	155,23	84
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	1,42	2,13	149,50	83	0,35	0,78	224,94	95
Perleim	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,28	1,91	44,58	29	4,98	1,52	30,44	30
PUR (2)	4,87	1,38	28,23	88	2,57	0,95	36,94	100
Kasein+3% MDI	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁾ 0= Proben beim Kochen entleimt

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

Tabelle 9: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test 6 Zyklen 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte

Zugscherfestigkeit - nach WCAMA-Test (6 Zyklen)								
Leimfuge: 0,1 mm	Holzart: Kiefer				Holzart: Fichte			
	N/mm ²		%		N/mm ²		%	
Leimtyp	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	4,13	1,37	33,24	31	5,16	1,28	24,83	47
PUR (2)	4,35	0,58	13,3	31	4,44	0,98	22,02	26
Kasein+3% MDI	1,88	2,25	119,42	85	0,92	1,76	190,71	90
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0,38	0,60	157,39	90	0	0	0	0
Perleim	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Leimfuge: 0,5 mm	x-quer	±s	±v	L ³⁾	x-quer	±s	±v	L ³⁾
PF/RF	3,80	0,75	19,78	34	4,01	0,81	20,25	41
PUR (2)	5,06	1,32	26,03	76	3,08	2,29	74,36	91
Kasein+3% MDI	0 ¹⁾	0	0	0	0	0	0	0
Kasein+3% MDI + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim	0	0	0	0	0	0	0	0
Perleim + HSM ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

¹⁾ 0= Proben beim Kochen entleimt

²⁾ mit Holzschutzmittel (Untermischverfahren)

³⁾ prozentualer Leimbruchanteil

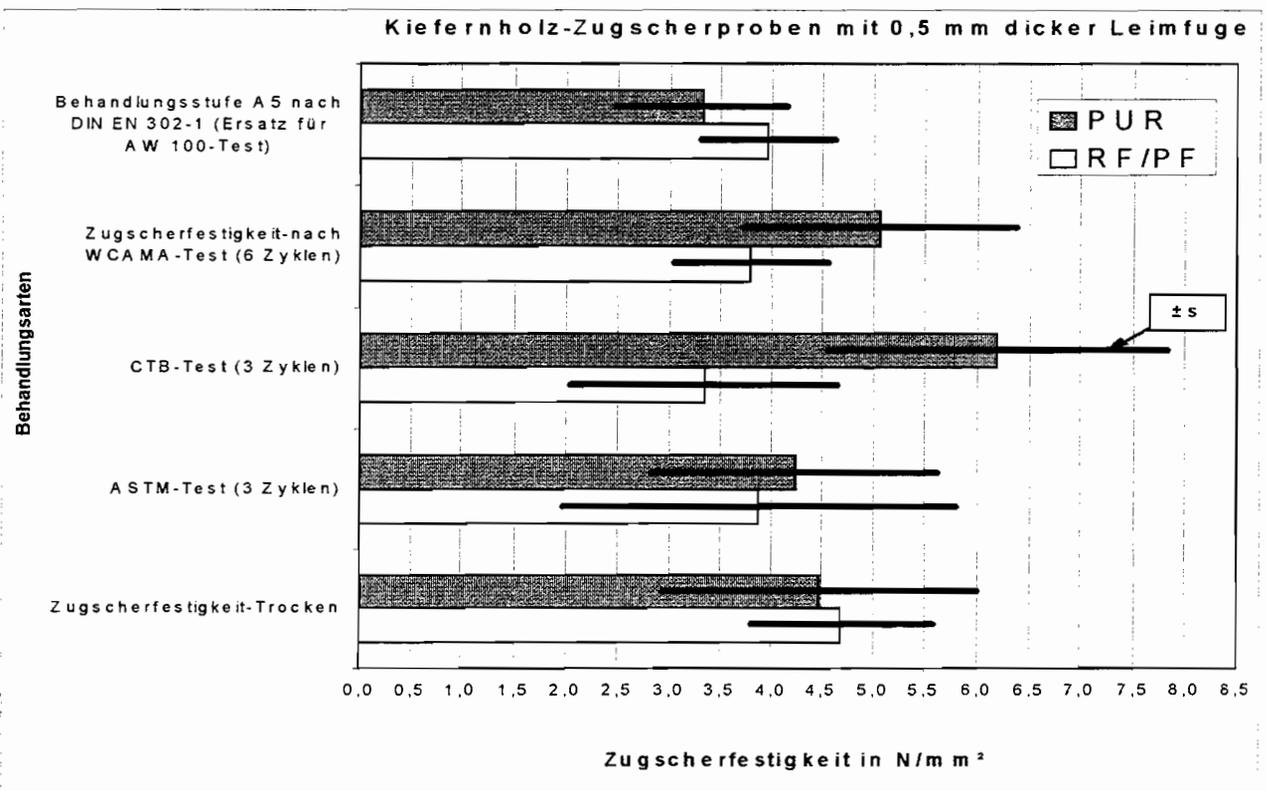
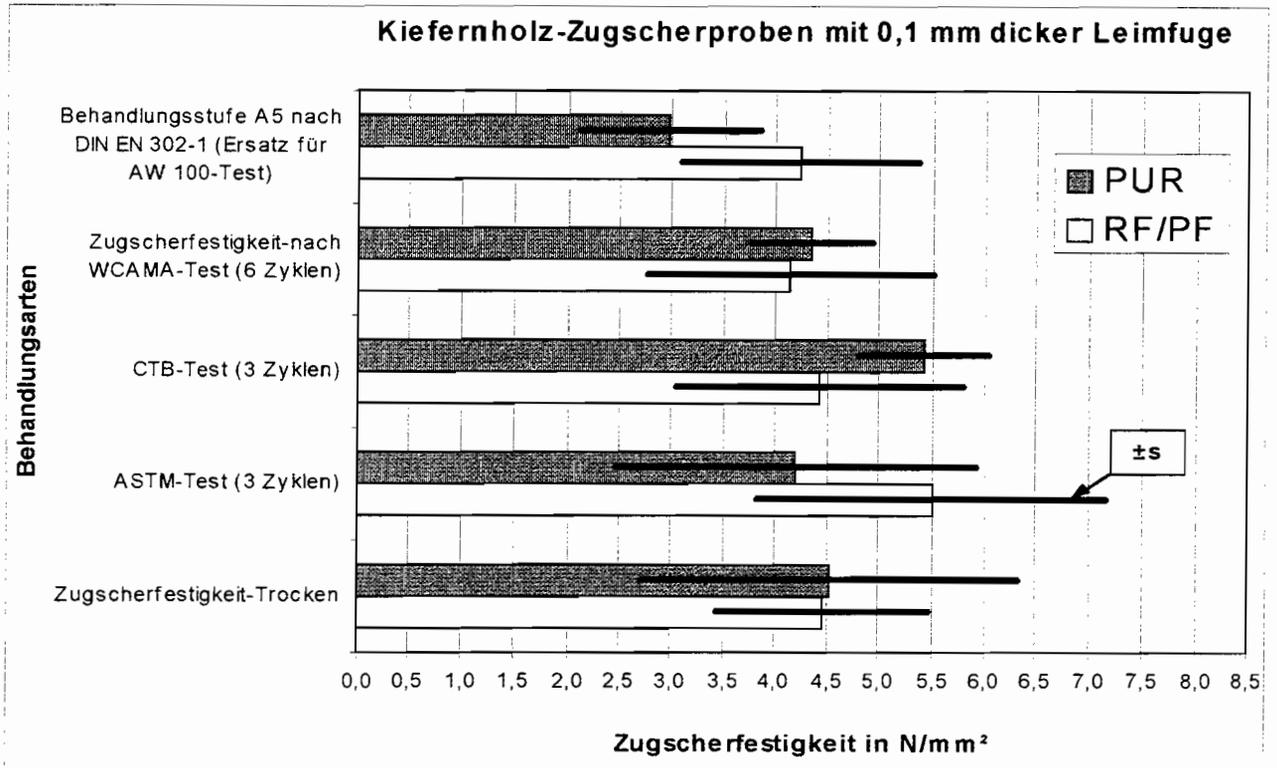


Abb. 8: Zugscherfestigkeit von PF- bzw. PUR-Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren

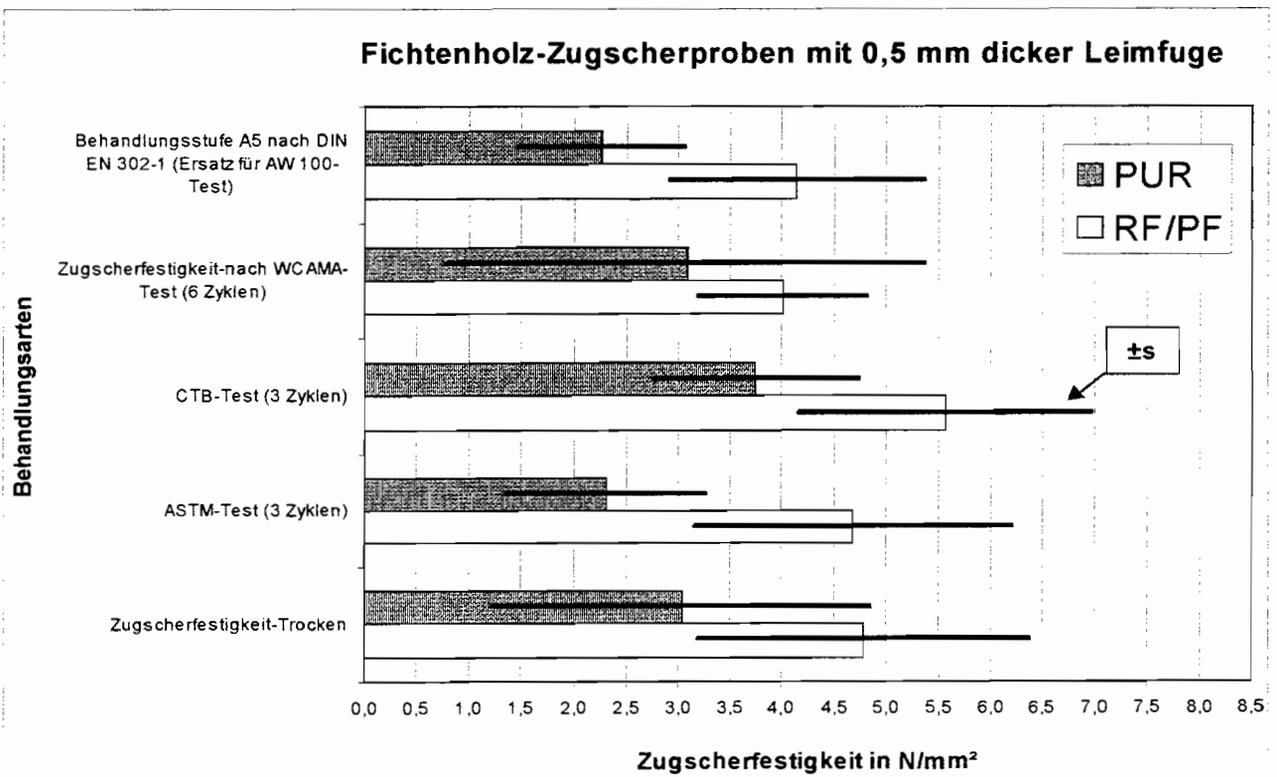
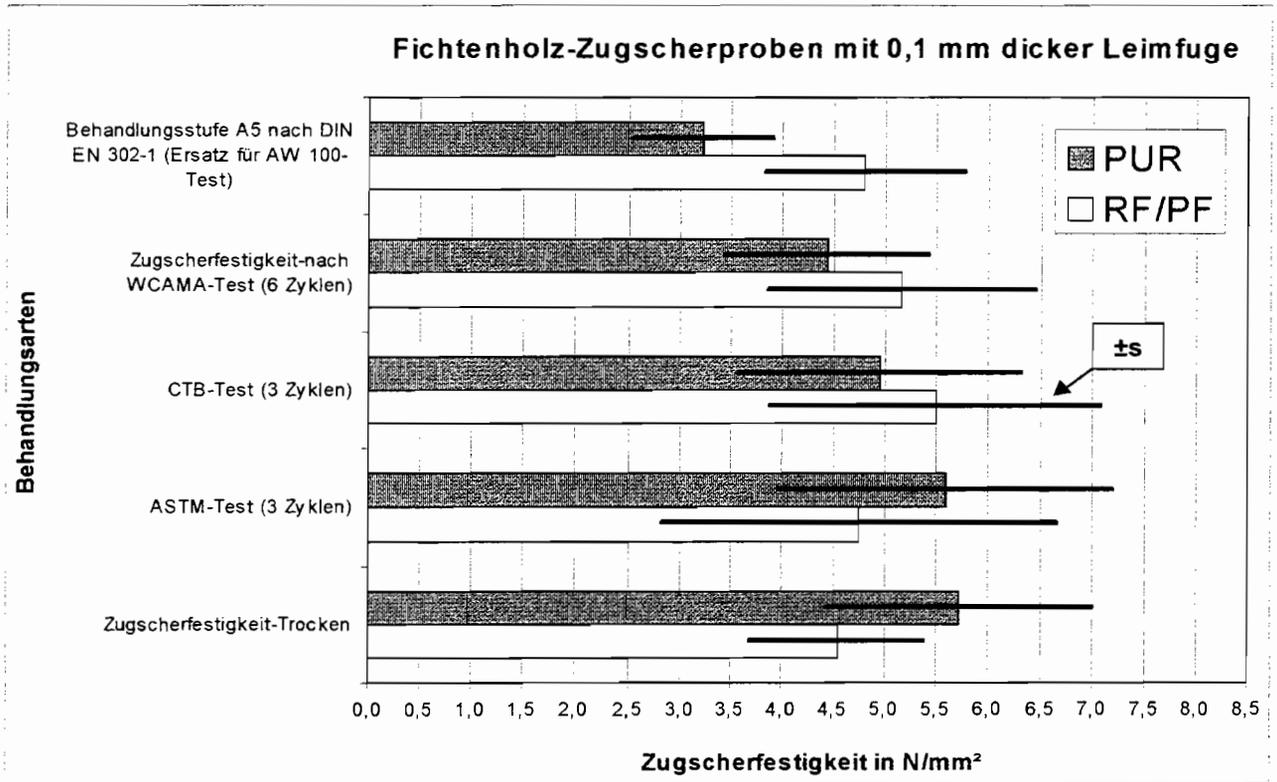


Abb. 9: Zugscherfestigkeit von PF- bzw. PUR-Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren

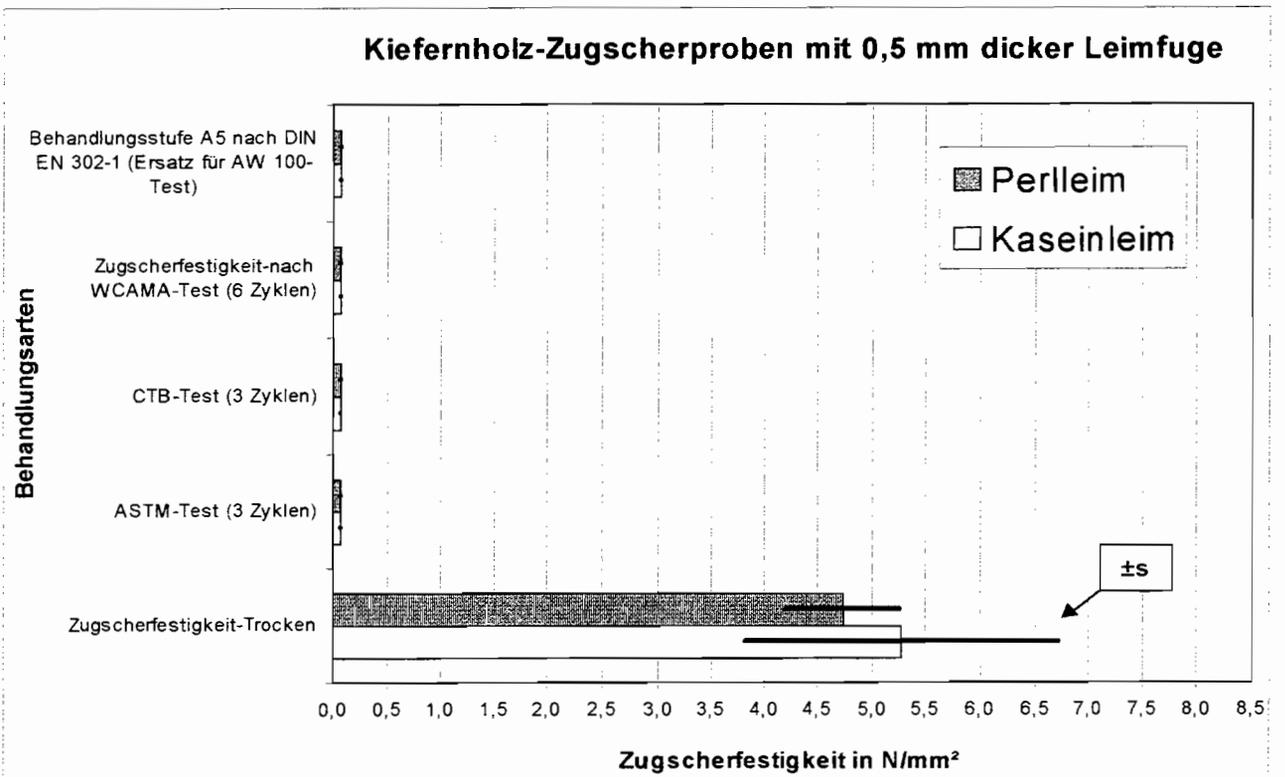
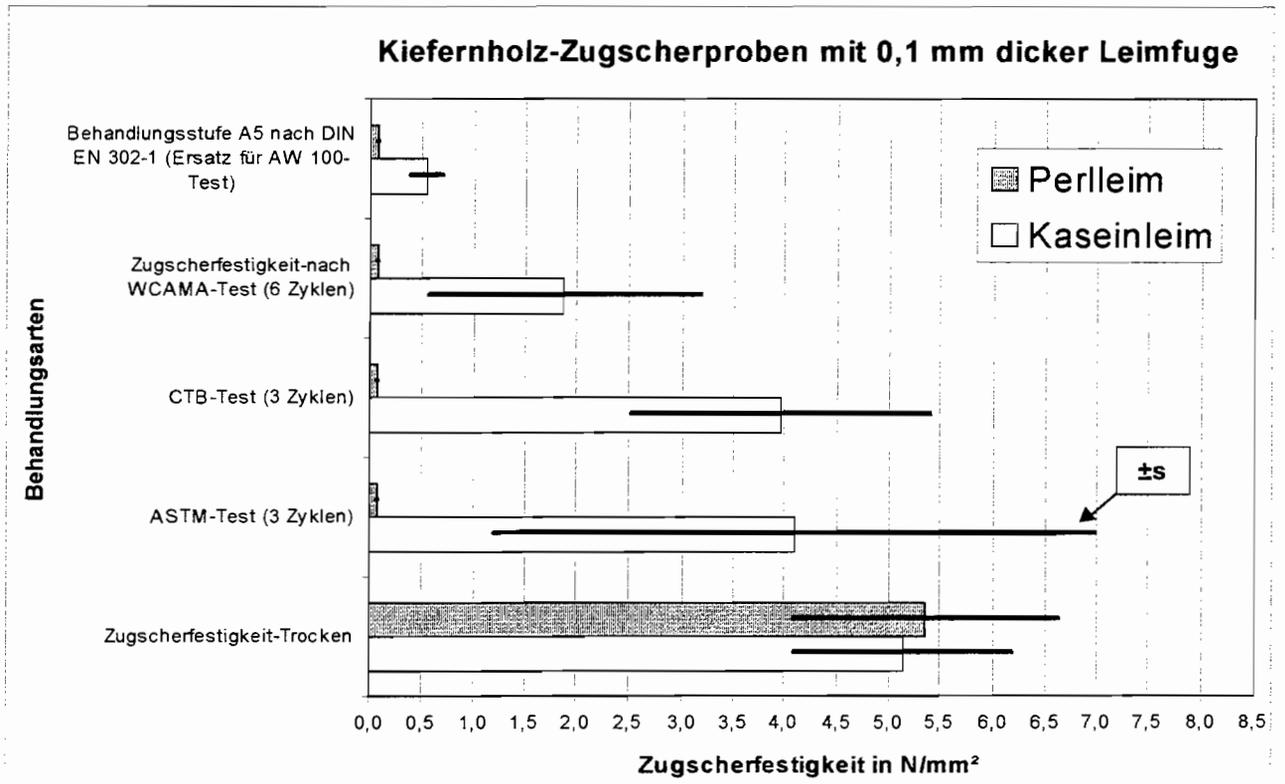


Abb. 10: Zugscherfestigkeit von Kasein- und Perleim-Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren

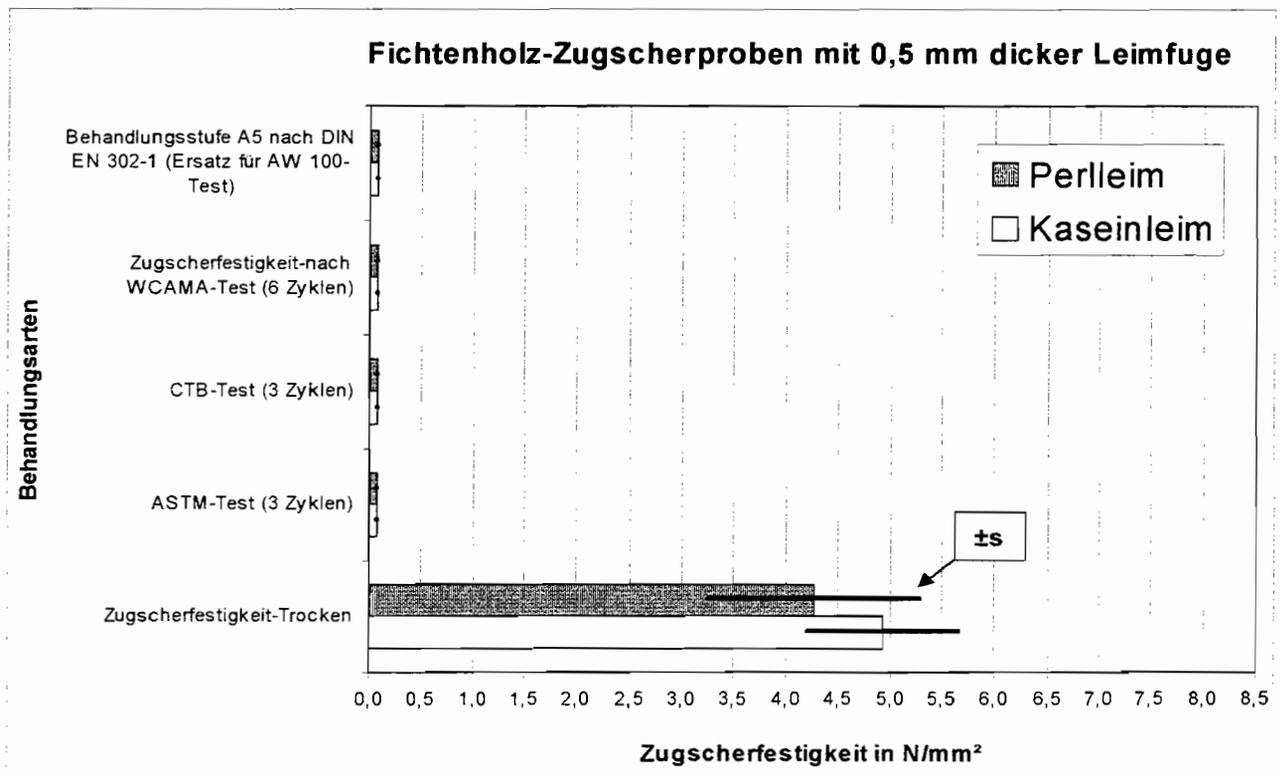
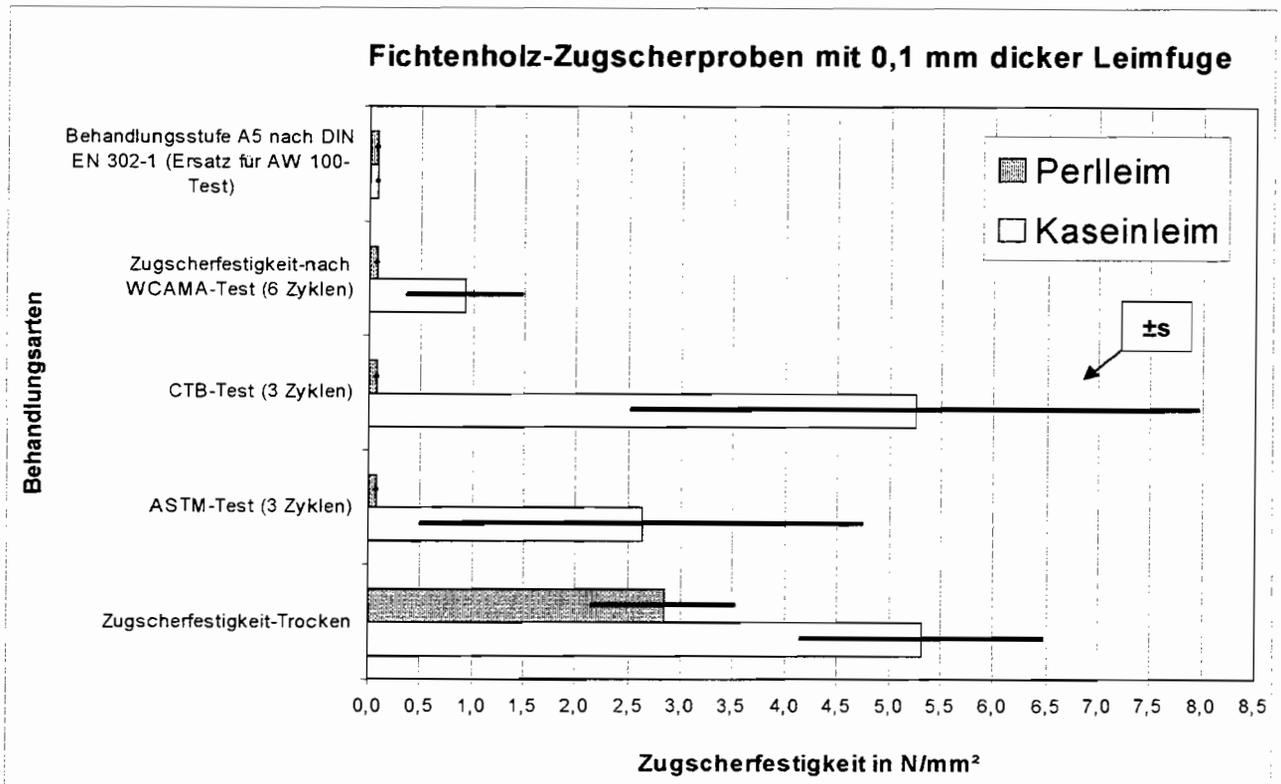


Abb. 11: Zugscherfestigkeit von Kasein- und Perleim-Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren

Trotz der Modifizierung des Kaseinleimes mit 3% MDI gelang es offensichtlich nicht, vorhandene Sicherheitsrisiken abzubauen, wie es die Kurzzeitprüfverfahren erkennen lassen, wobei allerdings die Aussagen je nach Prüfverfahren unterschiedlich sind. Die Kaseinproben wiesen nur bei der Trockenfestigkeits-Prüfung ohne Vorbehandlung ausreichend hohe Festigkeitswerte auf.

Das Trockenwertenniveau der Naturharzverleimungen kann generell keine ausreichende Beurteilungsgrundlage im Hinblick für die spätere Anwendung bilden, bei der oftmals mit Feuchte- und Wärmewechselbeanspruchungen zu rechnen ist.

Bei Delaminierungsversuchen (vgl. Abb. 12 und 13 sowie Tab. 10 bis 13) lagen die Werte für die modifizierten Kaseinproben mit und ohne Schutzmittel in ähnlichen Bereichen, wie bei den Kurztestverfahren (vgl. Tab. 4 bis 9 und Abb. 8 bis 11). Innerhalb der einzelnen Delaminierungsbeanspruchungen schwankten die Werte erheblich. So waren erwartungsgemäß die Delaminierungen beim Belastungstyp 1, d. h. schnelle Trocknung bei hoher Temperatur, wesentlich größer als beim Typ 2, langsame Trocknung bei niedriger Temperatur (Wilke 1999).

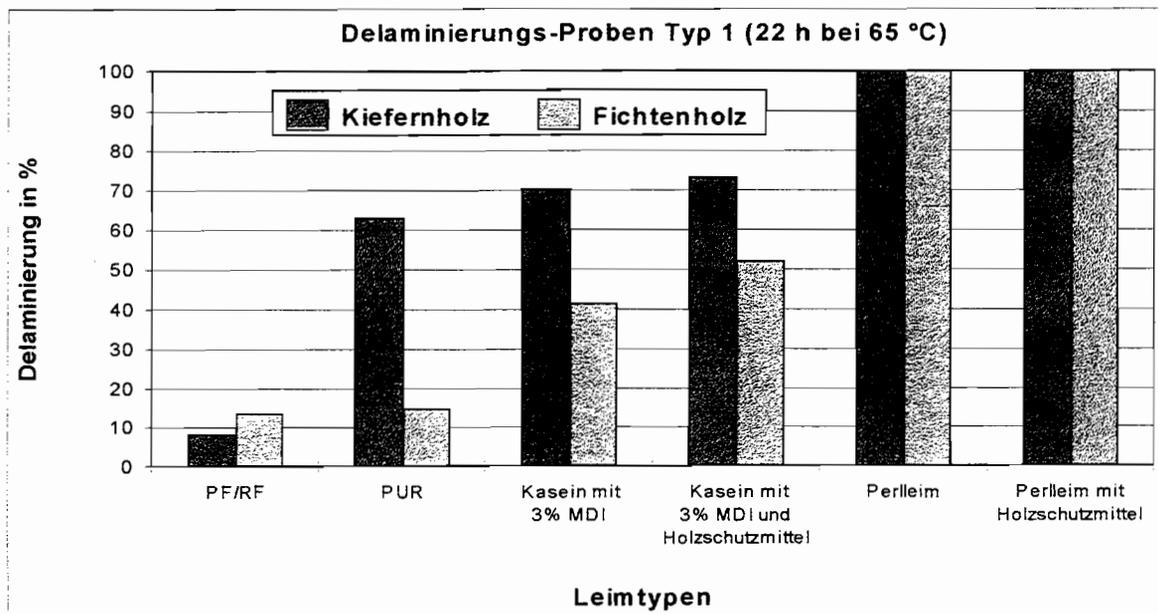


Abb. 12: Delaminierungs-Prüfung nach Vorbehandlung gemäß DIN EN 303, Teil 2 (ASTM 1101-59) verschiedener Verleimungen, Holzarten: Kiefer und Fichte Delaminierungs-Proben Typ 1 (22 h bei 65 °C)

Beim Typ 1 wiesen die Kaseinproben mit Schutzmittelzusatz höhere Werte auf als die Kaseinproben ohne Schutzmittel. Dahingegen verschob sich das Verhältnis bei langsamer Trocknung (Typ 2) zugunsten der Proben mit Holzschutzmittelzugabe.

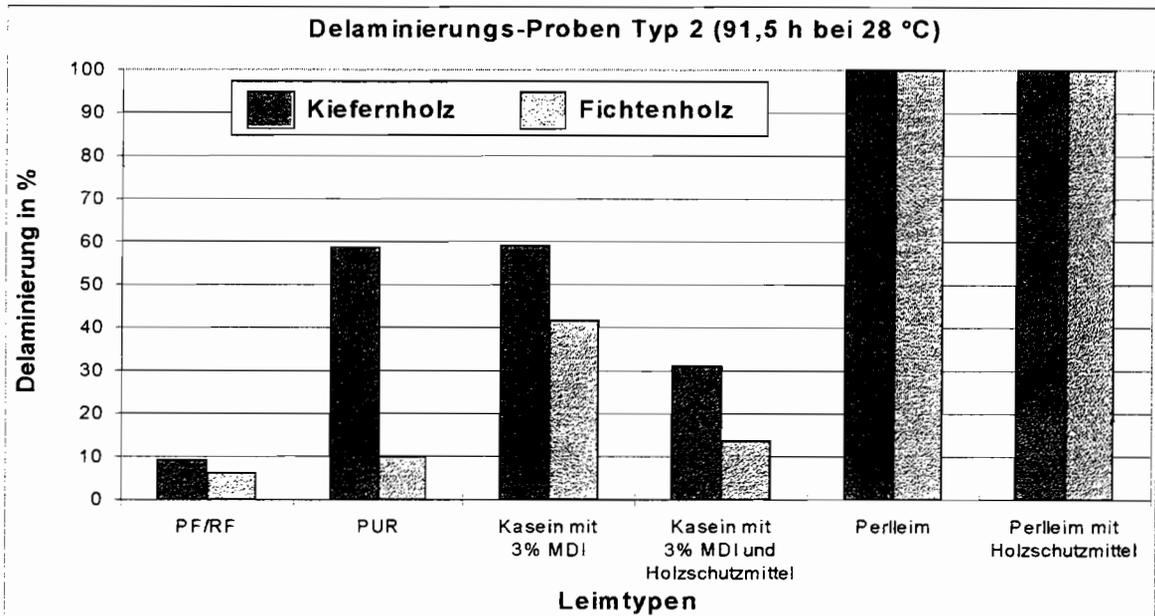


Abb. 13: Delaminierungs-Prüfung nach Vorbehandlung gemäß DIN EN 303, Teil 2 (ASTM 1101-59) verschiedener Verleimungen, Holzarten: Kiefer und Fichte. Delaminierungs-Proben Typ 2 (91,5 h bei 28 °C)

Orientierende Untersuchungen zur Beständigkeit gegen Schimmelbefall (MPA-Brandenburg) lassen erkennen, daß die gewählte Dosierung als Schutzbehandlung ausreichend ist. Die Feuchtebeständigkeit der Kaseinverleimung wurde durch die Schutzmittelzugabe erwartungsgemäß nicht verbessert.

Bei den Verleimungen mit den Kunstharzen PF/RF und PUR (2) waren bei beiden Lagerungsfolgen der Delaminierungsprüfung (22 h bei 65°C = Typ 1 und 91,5 h bei 28°C = Typ 2 nach DIN EN 302, Teil 2) die Ergebnisse für die Verleimungen mit Kiefernholz eindeutig niedriger ausgefallen als bei den Verleimungen mit Fichtenholz. Besonders die PUR-Verleimungen der Kiefer waren wesentlich negativer ausgefallen, vgl. Tab. 10 und 12 sowie Abb. 12 und 13. Dieses Ergebnis deckt sich mit Untersuchungen der BFH (1995). Dort wurde festgestellt, daß die Dichte des Holzes einen dominanten Einfluß auf die Delamination des Holzes hat. So wiesen Hölzer mit hoher Rohdichte stärkere Delaminationen der Leimfugen auf. Deshalb sind bei der Kiefer im Vergleich zur Fichte tendenziell stärkere Delaminationen zu erwarten.

Tabelle 10: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 1, Holzart: **Kiefer**

Delaminierungs-Proben Typ 1 22 h bei 65 °C)					Holzart: Kiefer				
Aufgegangene Leimfugen, Leimbrüche									
Proben-Typ und Fugendicke:	Proben-Länge (10 Fugen)		Länge aller Fugen auf den Hirnholzflächen		Leimbrüche auf den Hirnholzflächen				
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	66,5	mm	4,4	%	x-quer
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	113,0	mm	7,5	%	
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	191,5	mm	12,8	%	8,2 %
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	921,0	mm	61,4	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	981,5	mm	65,4	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	931,0	mm	62,1	%	63,0 %
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1062,0	mm	70,8	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1045,0	mm	69,6	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1062,0	mm	70,8	%	70,4 %
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1021,0	mm	68,1	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1175,0	mm	78,3	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1097,0	mm	73,1	%	73,2 %
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %

Tabelle 11: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 1, Holzart: **Fichte**

Delaminierungs-Proben Typ 1 (22 h bei 65 °C)					Holzart: Fichte				
Aufgegangene Leimfugen, Leimbrüche									
Proben-Typ und Fugendicke:	Proben-Länge (10 Fugen)		Länge alle Fugen auf den Hirnholzflächen		Leimbrüche auf den Hirnholzflächen				
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	195,0	mm	13,0	%	x-quer
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	139,5	mm	9,3	%	
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	268,5	mm	17,9	%	13,4 %
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	255,0	mm	17,0	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	249,5	mm	16,6	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	151,5	mm	10,1	%	14,6 %
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	730,0	mm	48,7	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	687,5	mm	45,8	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	450,5	mm	30,0	%	41,5 %
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	830,5	mm	55,4	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	703,5	mm	46,9	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	803,5	mm	53,6	%	51,9 %
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %

Tabelle 12: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 2, Holzart: **Kiefer**

Delaminierungs-Proben Typ 2 (91,5 h bei 28 °C)					Holzart: Kiefer				
Aufgegangene Leimfugen, Leimbrüche									
Proben-Typ und Fugendicke:	Proben-Länge (10 Fugen)		Länge alle Fugen auf den Hirnholzflächen		Leimbrüche auf den Hirnholzflächen				
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	130,0	mm	8,7	%	x-quer
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	169,0	mm	11,3	%	
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	109,0	mm	7,3	%	9,1 %
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	758,0	mm	50,5		
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	995,5	mm	66,4	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	881,5	mm	58,8	%	58,6 %
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1004,0	mm	66,9	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	863,5	mm	57,6	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	801,0	mm	53,4	%	59,3 %
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	690,5	mm	46,0	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	455,5	mm	30,4	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	258,0	mm	17,2	%	31,2 %
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %

Tabelle 13: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 2, Holzart: **Fichte**

Delaminierungs-Proben Typ 2 (91,5 h bei 28 °C)					Holzart: Fichte				
Aufgegangene Leimfugen, Leimbrüche									
Proben-Typ und Fugendicke:	Proben-Länge (10 Fugen)		Länge alle Fugen auf den Hirnholzflächen		Leimbrüche auf den Hirnholzflächen				
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	104,0	mm	6,9	%	x-quer
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	118,5	mm	7,9	%	
PF/RF, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	52,0	mm	3,5	%	6,1 %
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	182,5	mm	12,2	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	129,0	mm	8,6	%	
PUR (2), 0,1 mm	150	mm	1500	mm	143,5	mm	9,6	%	10,1 %
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	735,5	mm	49,0	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	426,5	mm	28,4	%	
Kasein, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	706,0	mm	47,1	%	41,5 %
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	173,5	mm	11,6	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	268,5	mm	17,9	%	
Kasein mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	174,0	mm	11,6	%	13,7 %
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	
Perleim mit HSM, 0,1 mm	150	mm	1500	mm	1500,0	mm	100,0	%	100,0 %

Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei der Delaminierungsprüfung war im Vergleich zu den Ergebnissen der Trocken-Zugscherprüfungen erkennbar, daß in der Tendenz bei der Kiefer höhere Zugscherfestigkeitswerte vorhanden waren. Dies läßt sich auf die höhere Dichte des Kiefernholzes zurückführen. Bei der Delaminierung hingegen führt diese Eigenschaft zu schlechteren Werten. Bei der Kiefer führt eine höhere Dichte demzufolge nur zu einer Verbesserung der Leimfugenfestigkeit.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse aus Kurztestverfahren waren auch bei den Naturharz-Verleimungen bei der Kiefer bessere Zugscherfestigkeitswerte als bei der Fichte zu erreichen. Bei den Kunstharzen PF/RF und PUR (2) waren zwischen den Werten bei Kiefern- und Fichtenholz keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zugscherfestigkeitswerten erkennbar. Fichtenbrettschichtholz mit PF/RF-Verleimungen ergab generell bessere Werte als die gleichen Verleimungen mit Kiefernholz. Dies Bild ändert sich auch innerhalb der Leimfugendicken (0,1 und 0,5 mm) nicht. Der PUR (2)-Klebstoff ergab bei Verleimungen von Kiefernholz die besseren Zugscherfestigkeitswerte. Daraus ist abzuleiten, daß das Vorkommen von Holzinhaltstoffen (Harzen) in der Kiefer sich kaum nachteilig bei Verleimungen mit PUR (2)-Klebstoffen auswirken dürfte.

Hingegen waren bei der Fugenempfindlichkeit mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Leimfuge, insbesondere beim Perleim, Schwächen zu erkennen. Bei der dicken Leimfuge war ein höherer Anteil an reinen Leimbrüchen feststellbar. Besonders bei der Verklebung mit dem PUR (2)-Leim war dieser Anteil im Vergleich zur PF/RF-Verleimung hoch, vgl. nachfolgende Abbildung 14 (typische Bruchbilder) sowie Tabellen 3 bis 9 (Spalte L = prozentualer Leimbruchanteil) auf den Seiten 29 und 31 bis 33.

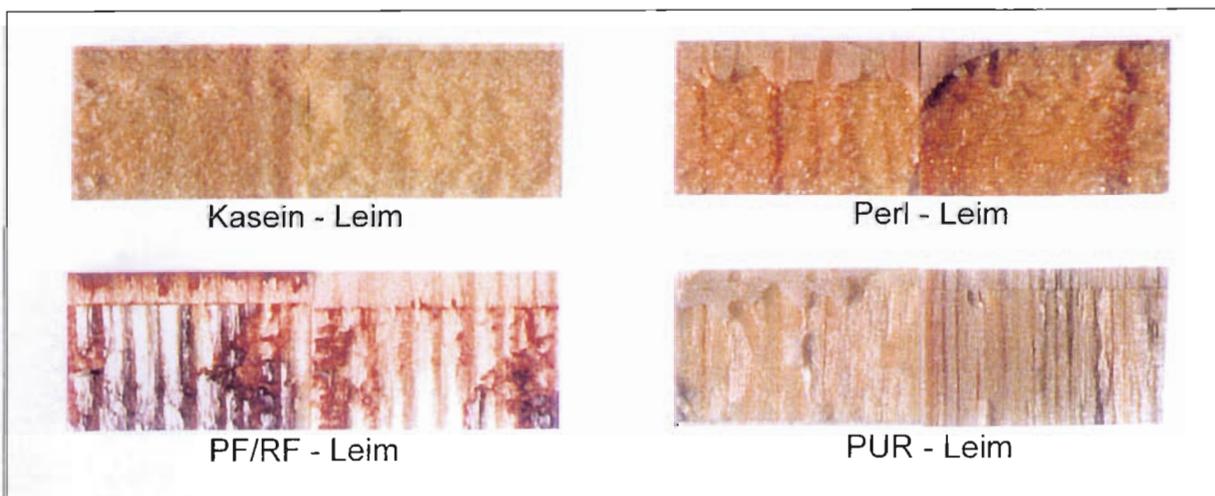


Abb.14: Typische Holz- und Leimbrüche bzw. Leimbrüche mit Holzfaserverlag nach den Zugscherfestigkeitsprüfungen

Die Untersuchungen zur Zugscherfestigkeit ergaben im einzelnen folgende Resultate:

Lagerungsfolge A5

Bei diesem Versuch gemäß DIN EN 302-1, Teil 1 wurde deutlich, daß die Naturharz-Verleimungen erwartungsgemäß Schwächen aufwiesen, insbesondere der Perleim.

Bei der dünnen Leimfuge wurden die Perleimproben vollständig zerstört. Die Kasein-Naturharzproben erreichten trotz Zugabe von 3% MDI nur sehr geringe Zugscherfestigkeitswerte.

Bei den PF/RF- und PUR (2)-Verleimungen waren Festigkeitswerte bei der Fichte tendenziell höher als bei der Kiefer (vgl. Abb. 15 und 16).

Bei Betrachtung der prozentualen Leimbruchanteile zwischen den beiden Holzarten, wurden gewisse Nachteile der Kiefer deutlich. Der Holzbruchanteil liegt bei beiden Verleimungen (PF/RF, PUR (2)) höher als bei der Fichte. Bei den Kasein-Verleimungen ist bei beiden Holzarten ein Leimbruchanteil von 100 % festgestellt worden. Wie bereits beim Delaminierungsversuch deutlich geworden ist, besitzen die Naturharzverleimungen strukturell bedingte Schwächen. Eine Anwendung im Außenbereich ist deshalb für die Naturharze in ihrer gegenwärtigen Beschaffenheit nicht empfehlenswert.

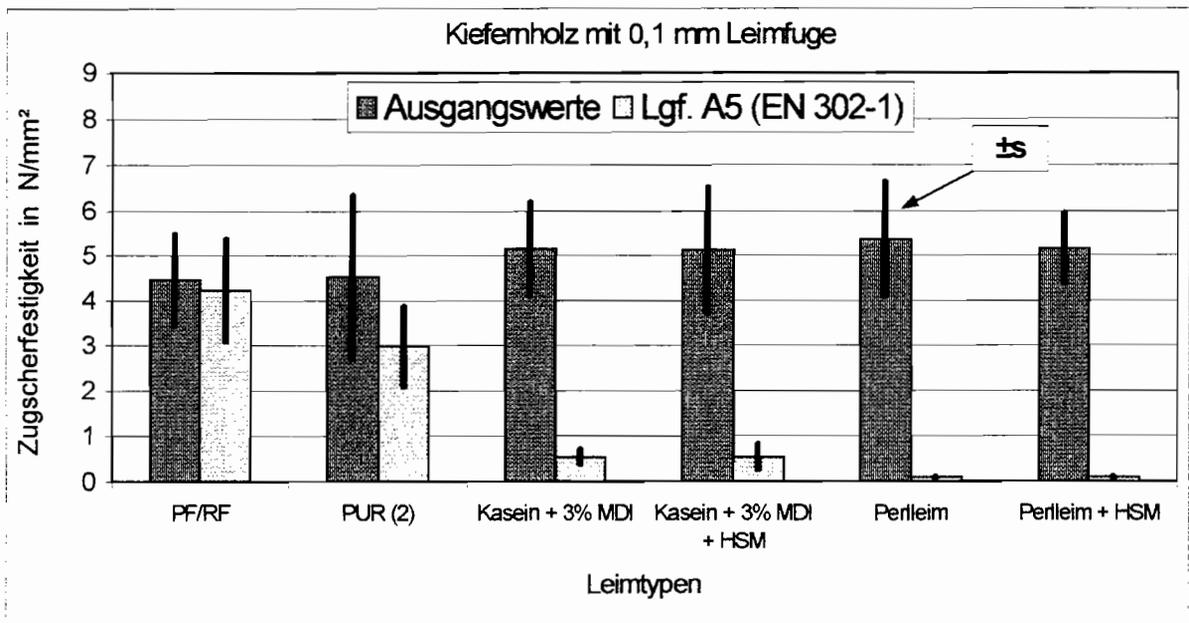


Abb. 15: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

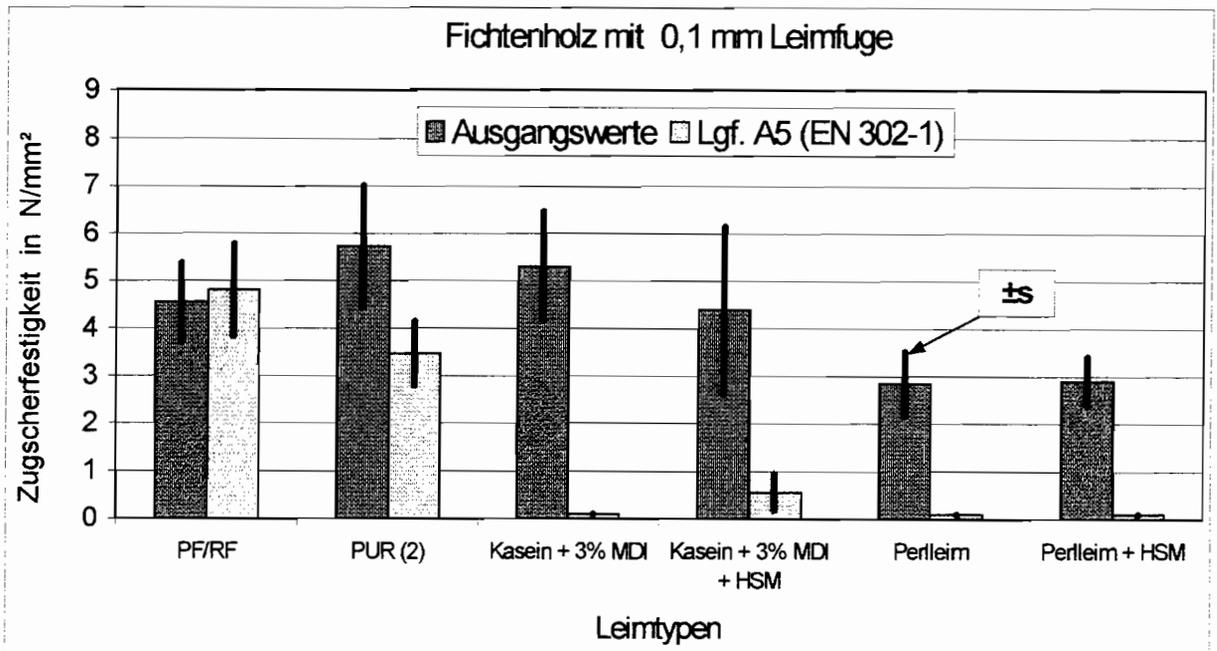


Abb. 16: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Bei den Verleimungen mit 0,5 mm dicker Fuge waren bei der Fichte nur bei der PF/RF-Verleimung die Zugscherfestigkeitswerte besser als bei der Kiefer. Dagegen war bei der Verklebung mit PUR (2) ein Festigkeitsabfall zu verzeichnen. Dies spiegelt sich auch im höheren Leimbruchanteil bei den Fichtenholzverleimungen wieder. Die Abb. 17 und 18 vermitteln einen diesbezüglichen Überblick. Wie bei der dünnen Leimfuge war auch bei der PUR (2)-Verleimung der Leimbruchanteil mit dicker Leimfuge wesentlich höher als bei den PF/RF-Verleimungen. Er bewegte sich zwischen 90 und 100%.

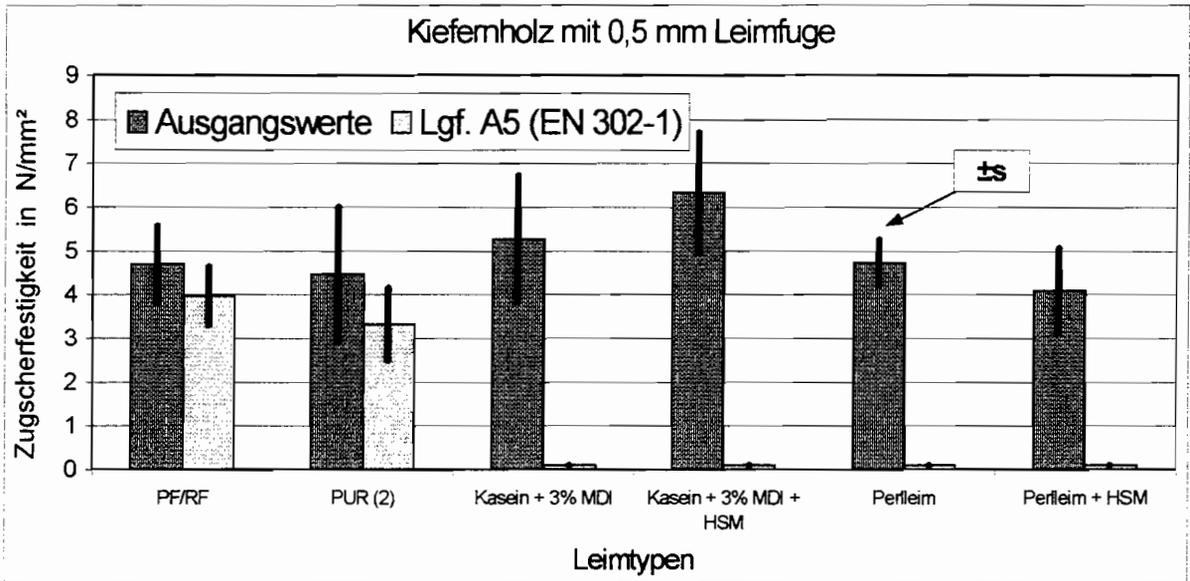


Abb. 17: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Alle Kasein- und Perleimproben mit dicker Leimfuge haben den Befeuchtungs-/Trocknungszyklus der Lagerungsfolge A5 nicht überstanden.

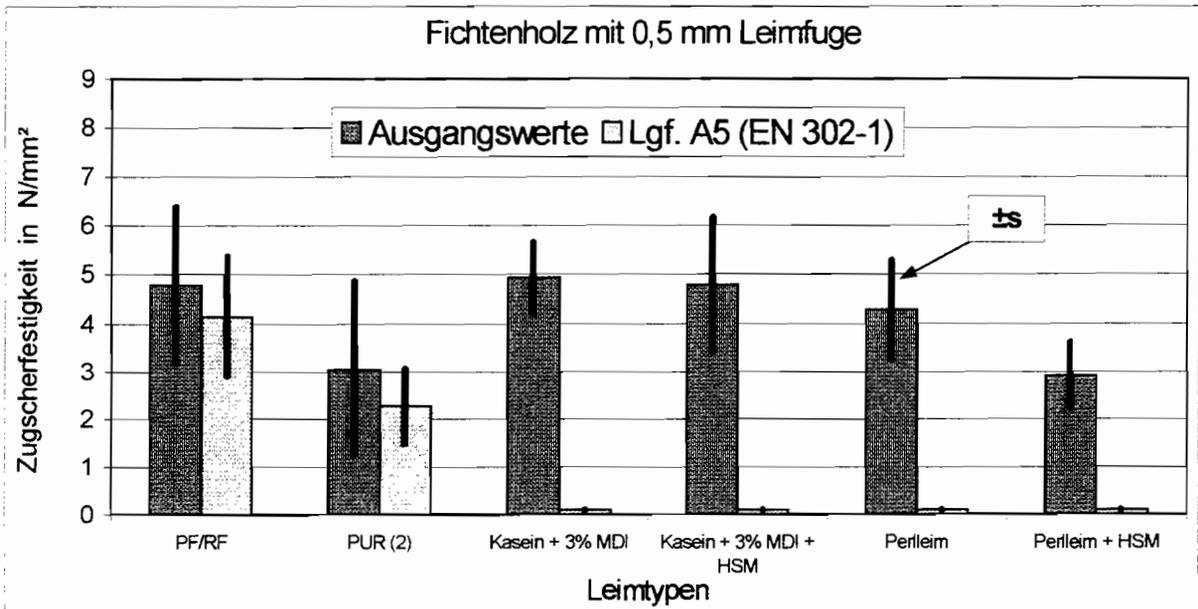


Abb. 18: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

CTB - Test

Gemäß Prüfbestimmung ist der CTB-Test 2 mal bzw. 3 mal zu wiederholen. Der Perleim versagte völlig. Bei den Proben, die nach zweimaligem Wiederholen des Zyklusses geprüft wurden, gab es zwischen der Kiefer und Fichte einige Unterschiede hinsichtlich der Leimfugenfestigkeit. Wie aus Abb. 18 und 19 ersichtlich, haben bei dünner Fuge alle Verleimungen von Fichtenholz mit den Kasein- und Perleimen den Zyklus nicht überstanden. Bei der Kiefer dagegen erreichten die Kaseinverleimungen sogar fast den am Anfang bestimmten Ausgangswert. Die Perleimproben überstanden auch hier die Zyklusfolge nicht. Bei den Kunstharzverleimungen schwanken die Zugscherfestigkeitswerte zwischen Kiefer und Fichte wieder. Die mit PF/RF-Harz verleimte Proben der Fichte wiesen eine höhere Leimfugenfestigkeit auf. Es war bei der Fichte eine Festigkeitssteigerung zu beobachten im Bezug zum Ausgangszugscherfestigkeitswert. Dahingegen ist die PUR (2)-Verleimung bei der Kiefer beständiger als bei der Fichte. Es kam auch zu einer geringfügigen Festigkeitserhöhung.

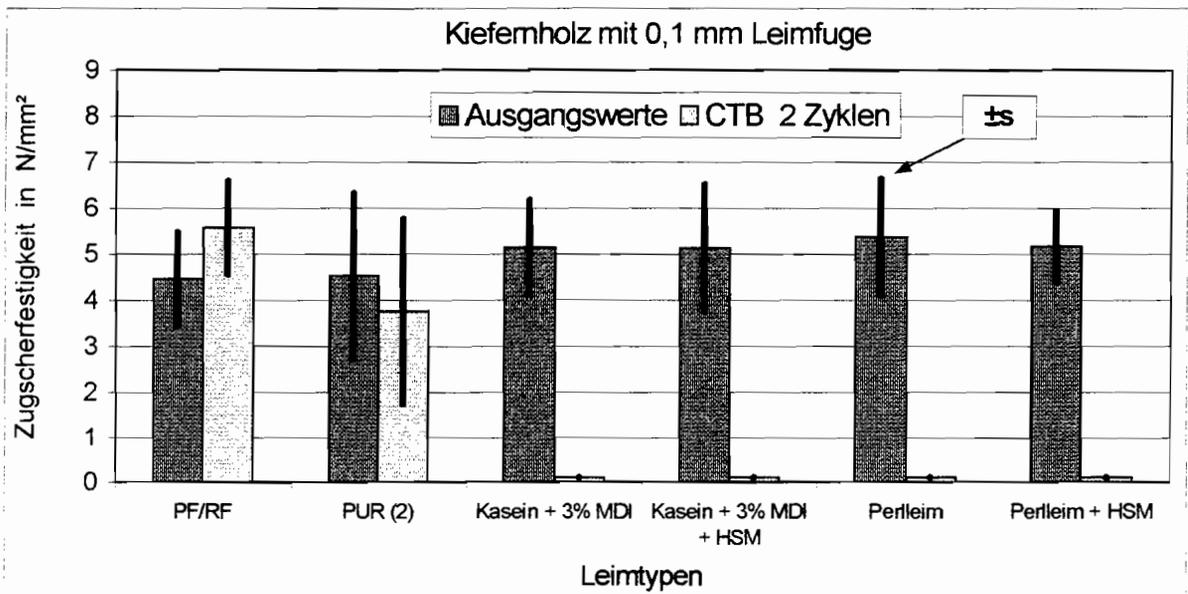


Abb. 19: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (2 Zyklen) mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

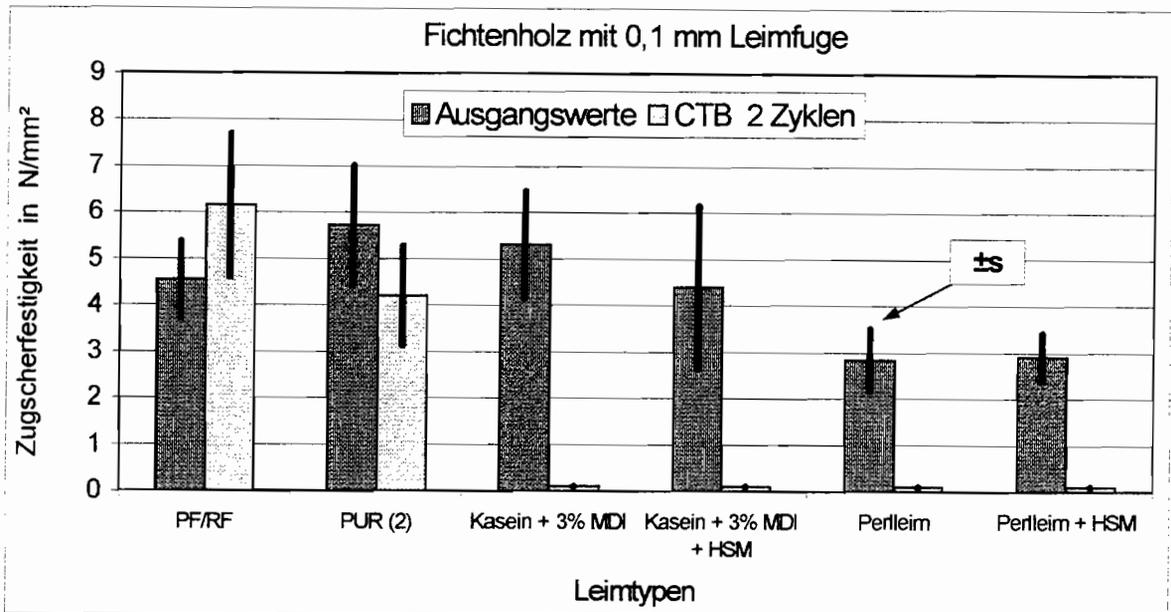


Abb. 20: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (2 Zyklen) mit 0,1mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Bei den 0,5 mm dicken Leimfugen war ein ähnliches Bild zu beobachten wie bei den anderen Testverfahren. Die Naturharzverleimungen wurden fast völlig zerstört. Lediglich bei der Kiefer wurden bei den mit 3% MDI modifizierten Kaseinproben ohne Schutzmittel etwa höhere Zugscherfestigkeitswerte ermittelt.

Beim PF/RF-Harz sind bei der Fichte höhere Zugscherfestigkeitswerte ermittelt worden, als bei der Kiefer. Die Zugscherfestigkeitswerte bei der PUR (2)-Verklebung mit der 0,5 mm Leimfuge wies wie bei der dünnen Leimfuge beim Kiefernholz höhere Festigkeitsniveau auf. Wie aus den Abb. 20 und 21 ersichtlich ist, ist bei beiden Holzarten eine Erhöhung der Leimfugenfestigkeit zu erkennen. Der Leimbruchanteil war bei der PUR (2)-Verleimung höher einzustufen als beim PF/RF-Harz.

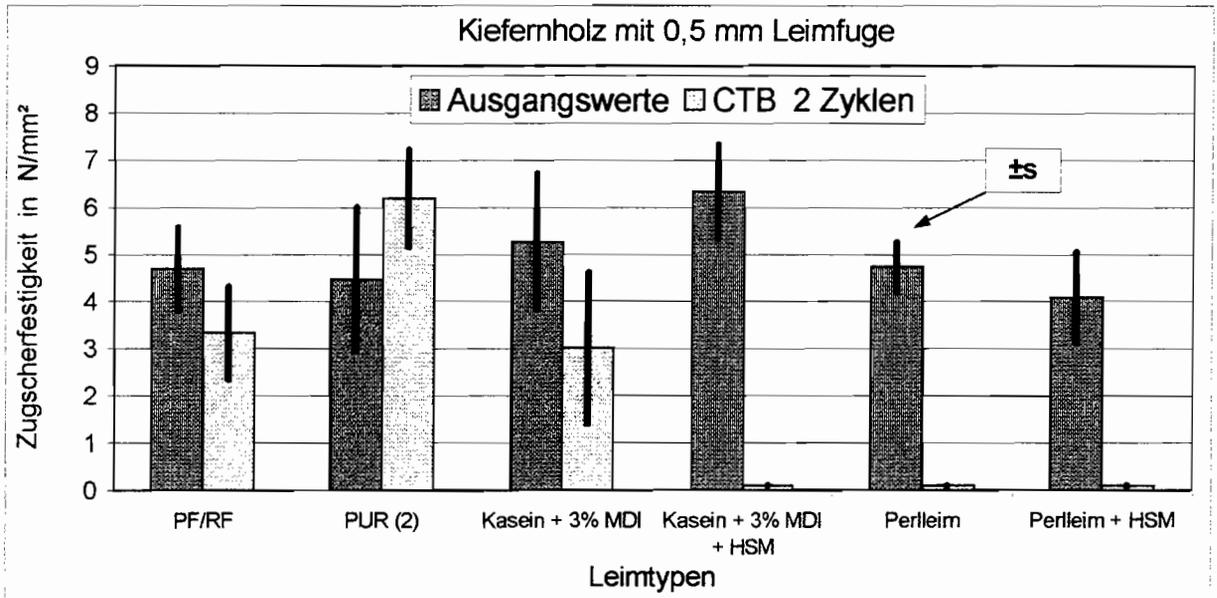


Abb. 21: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (2 Zyklen) mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

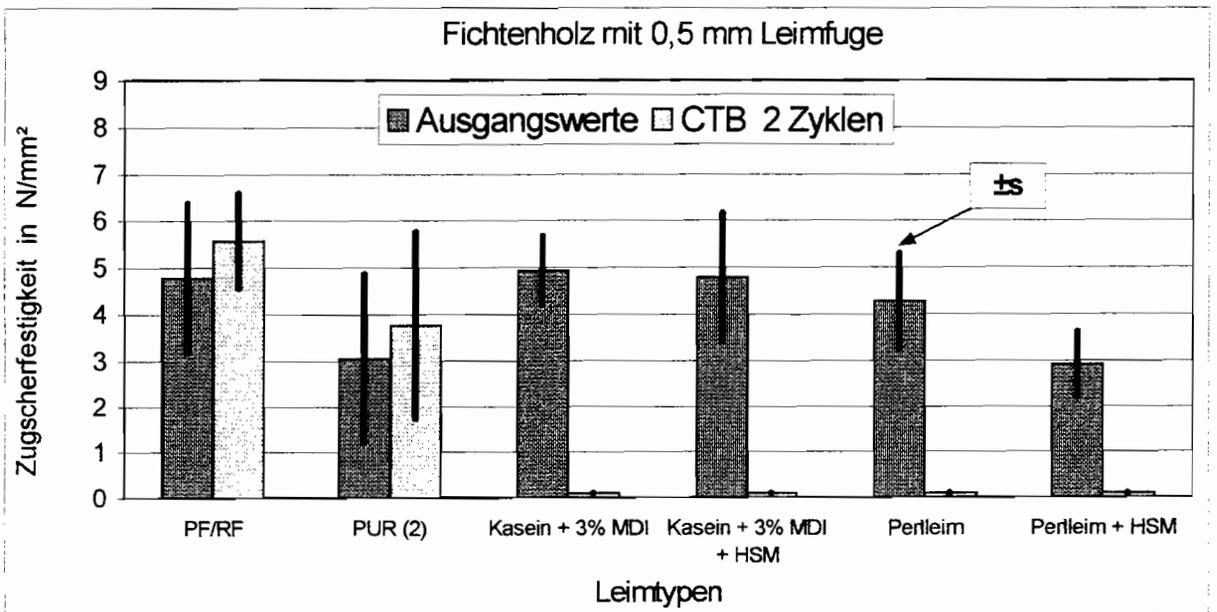


Abb. 22: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (2 Zyklen) mit 0,5mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Nach dreimaliger Wiederholung der CTB-Test-Zyklen versagte der Perleim auch bei Anwendung dieses Prüfverfahrens. Als einzige Naturharzverleimung überstand die modifizierte Kaseinprobe ohne Schutzmittel diesen Test bei der dünnen Leimfuge. Wie den Abb. 23 und 24 zu entnehmen ist, hat das Kiefernholz einen höheren durchschnittlichen Zugscherfestigkeitswert aufzuweisen. Bei der Fichte war eine sehr große Streuung der Werte zu beobachten.

Bei den Verklebungen mit PF/RF ergab sich das gleiche Bild wie bei zweimaliger Anwendung des CTB-Tests. Die Fichtenholzverleimung erreichte höhere Werte als die Kiefernholzverleimung. Bei der PUR (2)-Verleimung ist dahingegen die Kiefer wiederum besser einzuordnen. Auch hier kam es zu einer Festigkeitserhöhung bei der Verleimung.

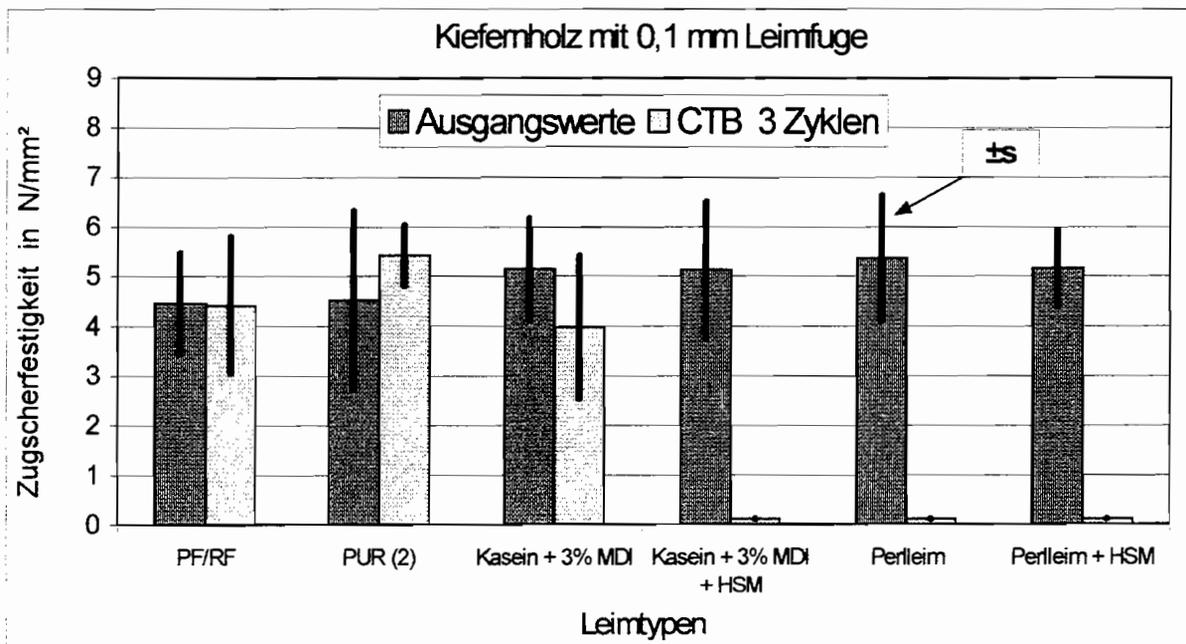


Abb. 23: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (3 Zyklen) mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

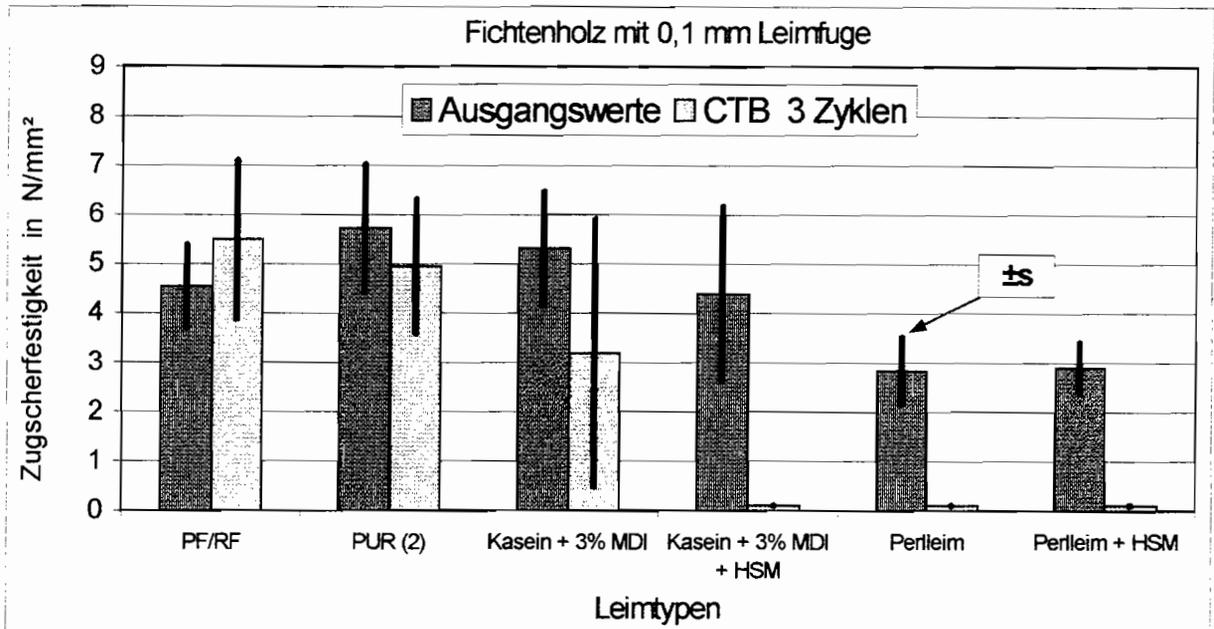


Abb. 24: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (3 Zyklen) mit 0,1mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Bei der dicken Leimfuge war bei den Verleimungen mit dem modifizierten Kaseinleim und dem Perleim keine Zugscherfestigkeitswertermittlung mehr möglich, da die Verleimungen alle versagten.

Aus den Abb. 25 und 26 ist zu entnehmen, daß bei der Fichte bei den Verleimungen mit PF/RF ein höherer Festigkeitswert ermittelt wurde. Bei der PUR-Verklebung ist wieder ein deutlicher Unterschied zwischen dem Kiefern- und Fichtenholz zugunsten der Kiefer ersichtlich. Die PUR (2)-Verleimungen zeigten einen sehr hohen prozentualen Anteil an Leimbrüchen.

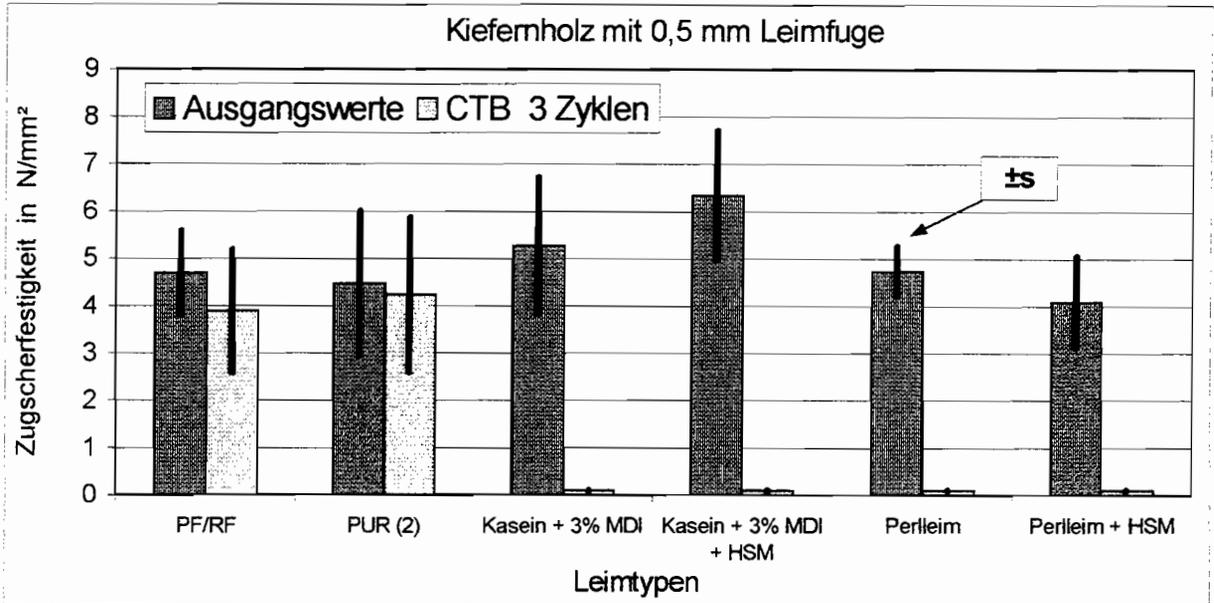


Abb. 25: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (3 Zyklen) mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

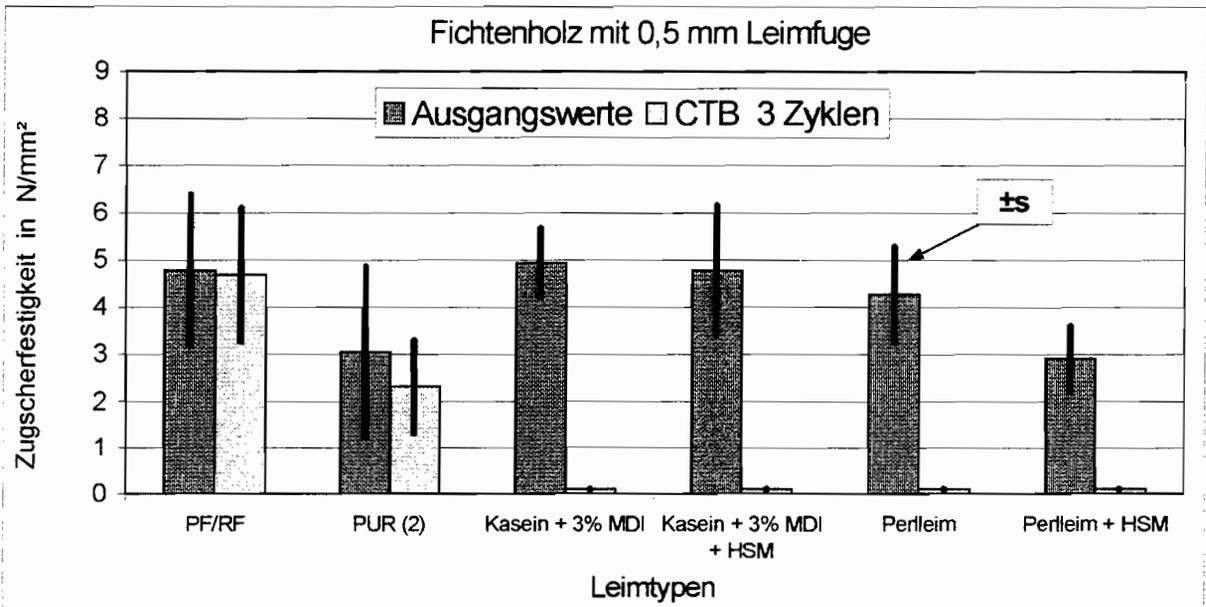


Abb. 26: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test (3 Zyklen) mit 0,5mm Leimfuge, Holzart: Fichte

ASTM - Test

Erwartungsgemäß versagte auch bei dieser Beanspruchung der Perleim völlig. Die modifizierten Kaseinproben überstanden zwar den 2 Zyklen ASTM-Test, wiesen aber, wie aus den Abb. 27 und 28 ersichtlich, sehr geringe Festigkeiten im Bezug zum Ausgangswert auf. Tendenziell waren die PF/RF-Verleimungen mit Fichtenholz besser, als die mit Kiefernholz. Bei beiden Holzarten war aber ein Festigkeitsanstieg gegenüber dem Ausgangswert festzustellen, der möglicherweise durch Nachhärtungen hervorgerufen worden ist. Bei den PUR (2)-Verleimungen wiesen die Kiefernholzproben bessere Werte auf. Bei der Kiefer war ebenfalls eine Steigerung der Leimfugenfestigkeit zu verzeichnen.

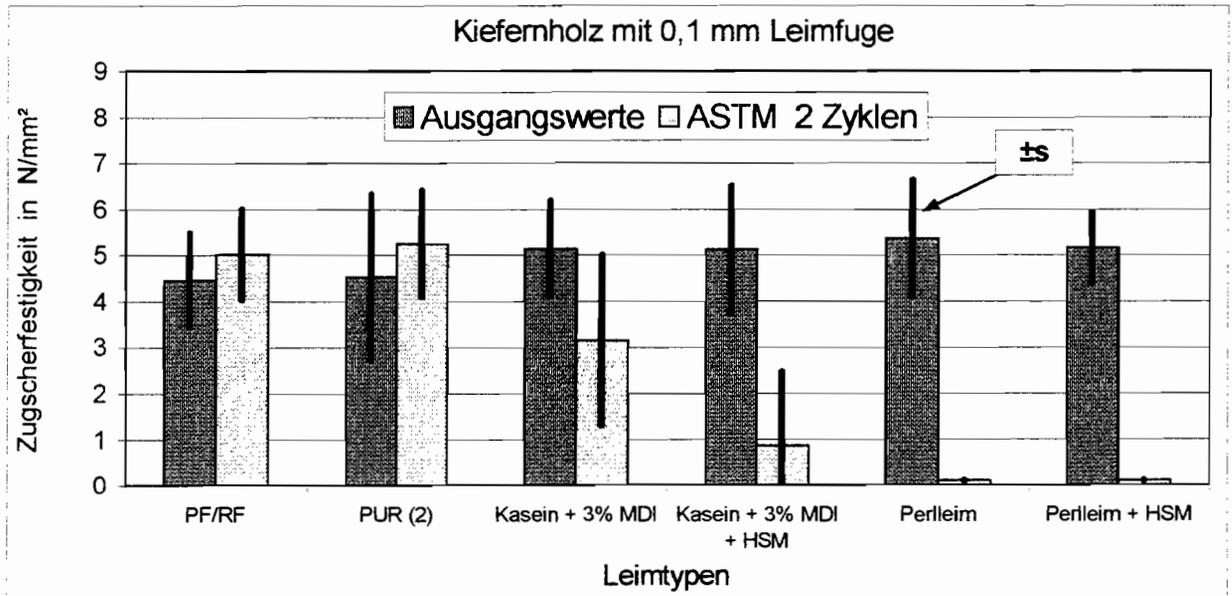


Abb. 27: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (2 Zyklen) mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

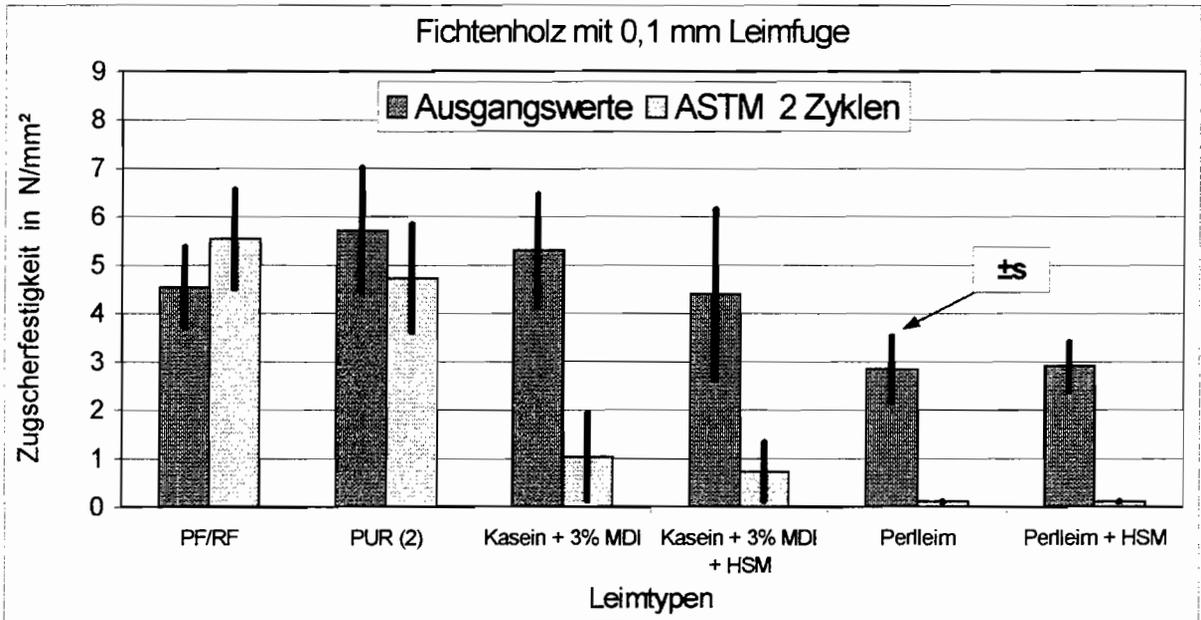


Abb. 28: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (2 Zyklen) mit 0,1mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Die Verleimungen mit 0,5 mm dicken Fugen lieferten beim 2 Zyklen ASTM-Test das bekannte Bild. Die Proben mit den Naturharzen Kasein und Perleim konnten nicht mehr zur Prüfung verwendet werden, weil während der Befeuchtungsphasen sich die Leimfugen aufgetrennt hatten. Bei den PF/RF-Proben überwiegen die Fichtenholzproben hinsichtlich höherer Festigkeit. Es ist indessen nur ein geringer Anstieg der Festigkeit festzustellen. Beim PUR (2)-Leim waren bei den Fichtenholzverleimungen wieder geringere Zugscherfestigkeitswerte im Vergleich zu den Kiefernholzverleimungen feststellbar. Die Kiefernholzproben erreichten ungefähr den Ausgangswert, welcher im trockenen, unbehandeltem Zustand ermittelt wurde. Bei der Fichte war beim PUR (2)-Leim ein Festigkeitsabfall feststellbar (vgl. Abb. 29 und 30). Trotz guter Zugscherfestigkeitswerte war der direkte Leimbruchanteil bei den PUR (2)-Verleimungen als relativ hoch einzustufen.

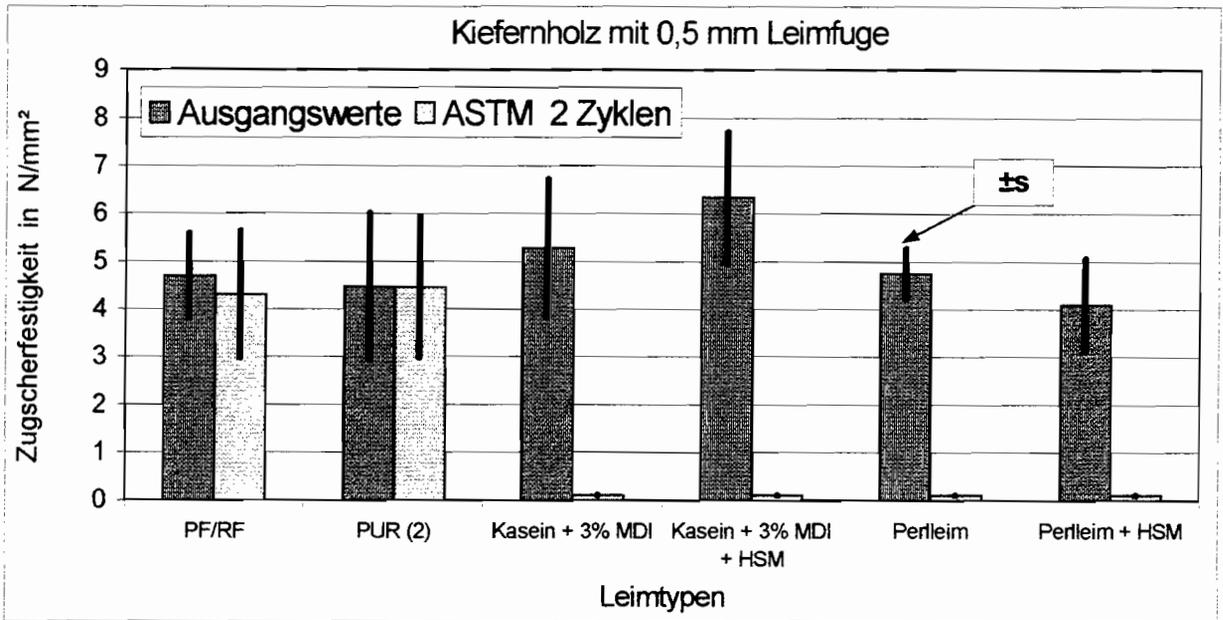


Abb. 29: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (2 Zyklen) mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

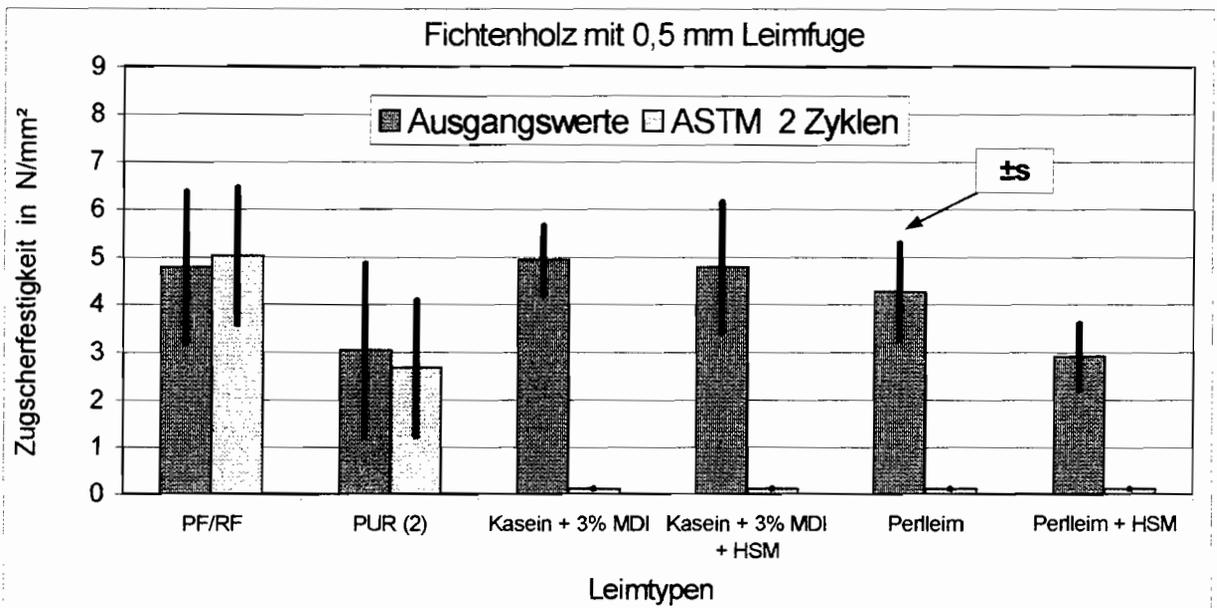


Abb. 30: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (2 Zyklen) mit 0,5mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Beim 3 Zyklus-ASTM-Test ergab sich ein ähnliches Bild wie beim 2 Zyklus-Test. Die Perleimproben überstanden die Feucht-Wechsel Vorbehandlung nicht. Bei den modifizierten Kaseinproben konnten nur geringe Zugscherfestigkeitswerte ermittelt werden, trotz der schon geringen Fugenfestigkeit. Der Leimbruchanteil war bei beiden Naturharzen demzufolge sehr hoch. Er schwankte zwischen 90 und 100%. Bei der dünnen Leimfuge erreichte die Kiefer, im Gegensatz zu den bisherigen Testverfahren, bei der PF/RF-Verleimung einen besseren Festigkeitswert als die Fichte. Wie den Abb. 31 und 32 zu entnehmen ist, ergab sich bei der Kiefer, als auch bei der Fichte, eine Erhöhung der Leimfugenfestigkeit nach dem ASTM-Test-Zyklus, was auf Nachhärtungen beruhen könnte. Die PUR (2)-Verklebung brachte bei der Fichte die besseren Werte. Der Ausgangswert konnte aber bei beiden Holzarten nicht ganz erreicht werden.

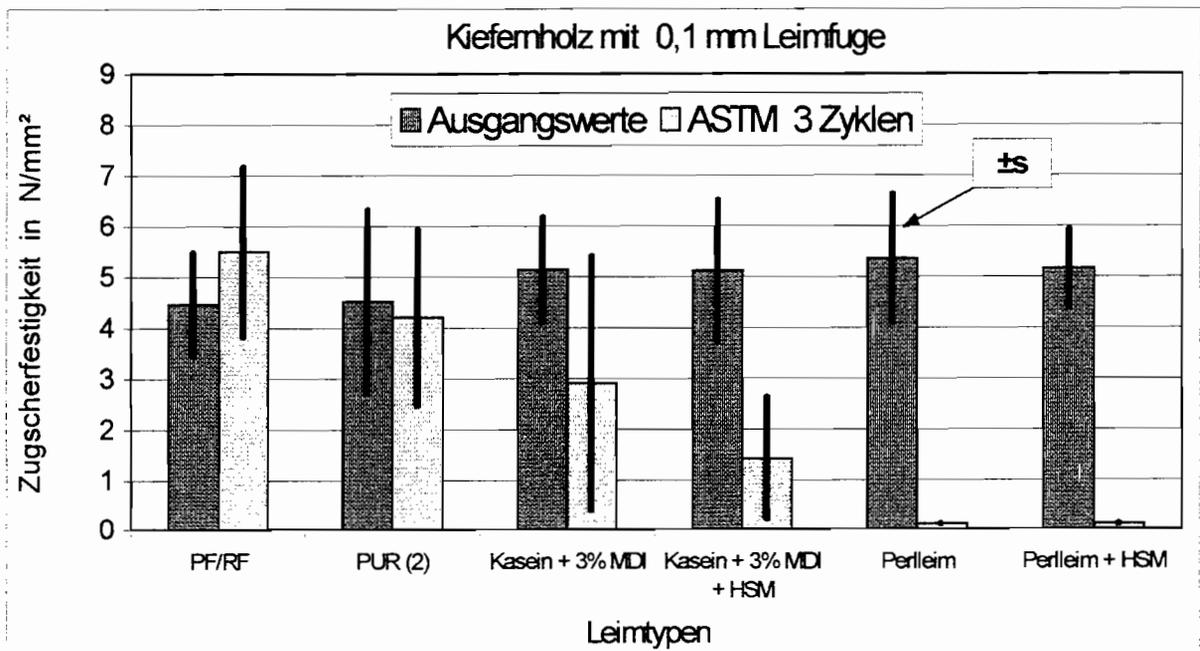


Abb. 31: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (3 Zyklen) mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

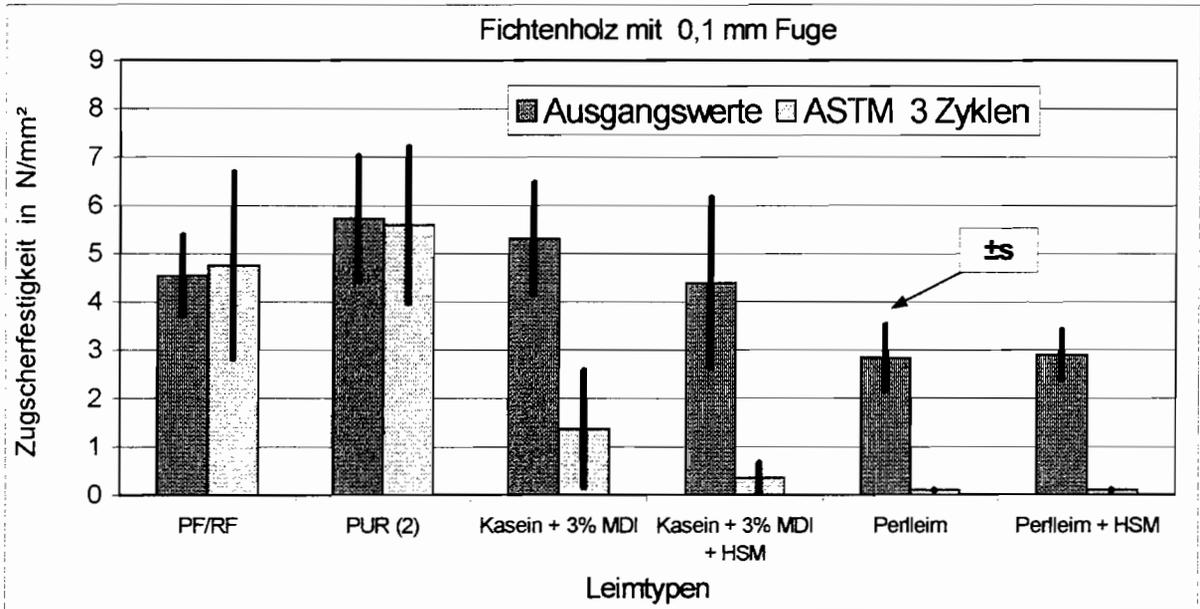


Abb. 32: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (3 Zyklen) mit 0,1mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Infolge der Vorbehandlung verloren die beiden Naturharzverleimungen bei der 0,5 mm dicken Leimfuge ihre Festigkeit. Eine Ermittlung von Zugscherfestigkeitswerten war nicht mehr möglich. Lediglich die beiden Kunstharze hielten der extremen Vorbeanspruchung stand. Die Fichte ergab bei der PF/RF-Verleimung die höchsten Zugscherfestigkeitswerte. Bei der PUR-(2)-Verleimung ergaben sich bei der Fichte geringere Werte als bei der Kiefer (vgl. Abb. 33 und 34).

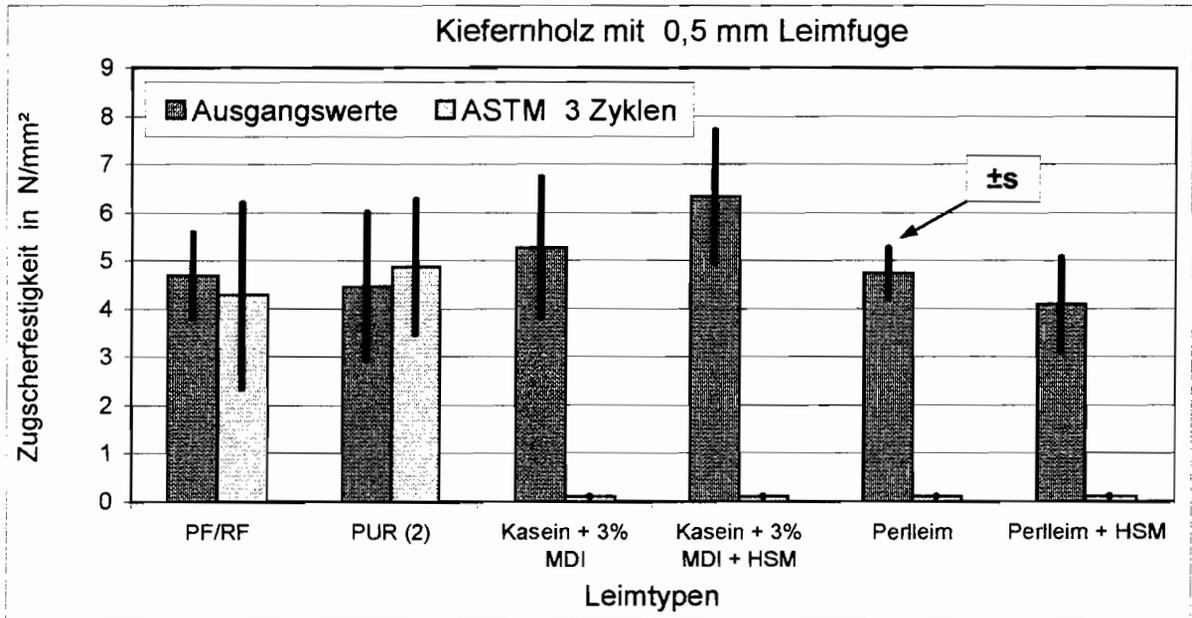


Abb. 33: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (3 Zyklen) mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

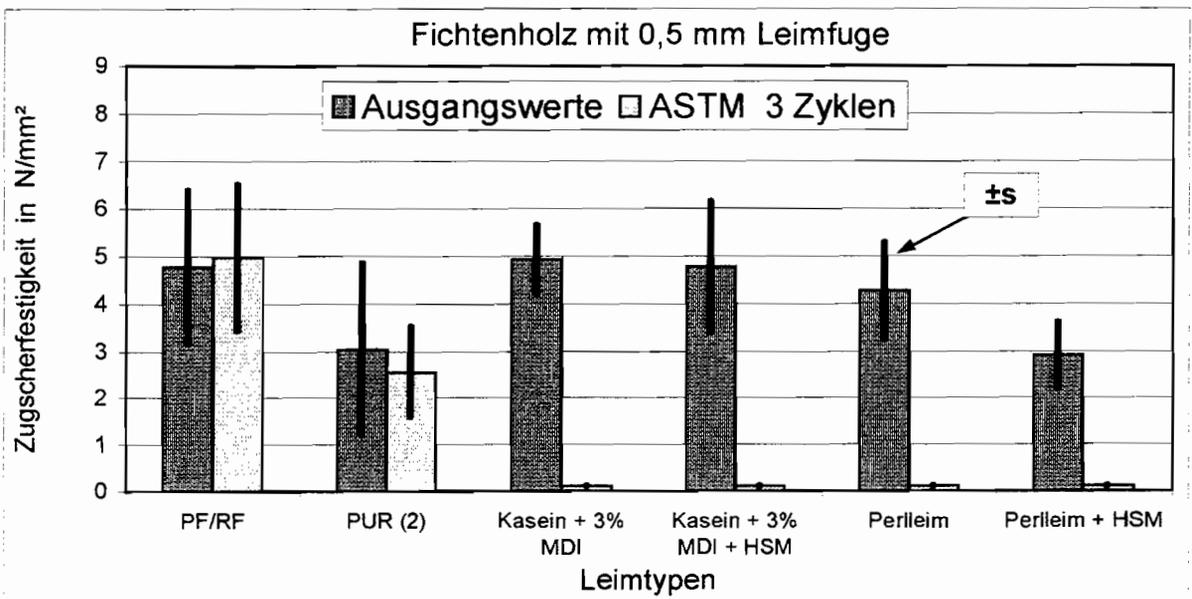


Abb. 34: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (3 Zyklen) mit 0,5mm Leimfuge, Holzart: Fichte

WCAMA-Test

Wie bei den anderen Prüfverfahren, wurden bei der Perleimverleimung beim WCAMA-Test ein gänzlicher Festigkeitsabfall festgestellt. Die mit MDI modifizierten Kaseinproben überstanden den WCAMA-Zyklus, wiesen aber einen hohen Zugscherfestigkeitsabfall auf.

Bei den Kunstharzen wiesen die Fichtenholzproben mit PF/RF-Harz ein höheres Festigkeitsniveau auf als bei der Kiefern. Bei den Verleimungen mit Fichtenholz lag die Zugscherfestigkeit im Vergleich zum Ausgangswert praktisch auf gleicher Höhe. Bei den PUR (2)-Verleimungen lag ein ähnliches Resultat vor, (vgl. Abb. 35 und 36).

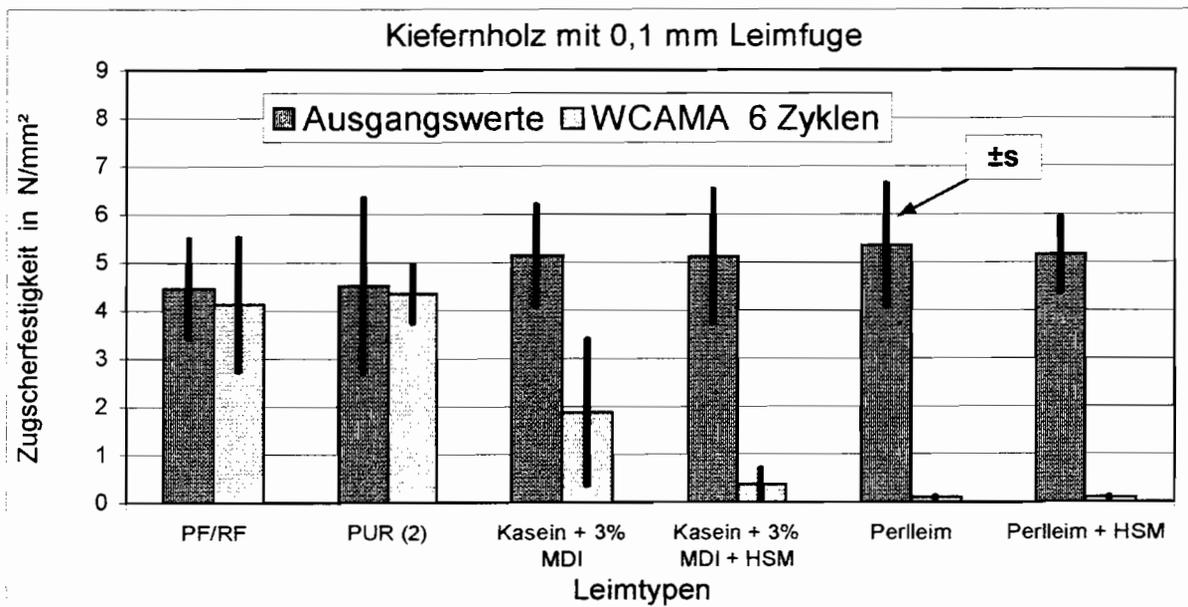


Abb. 35: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test (6 Zyklen) mit 0,1mm Leimfuge,
Holzart: Kiefer

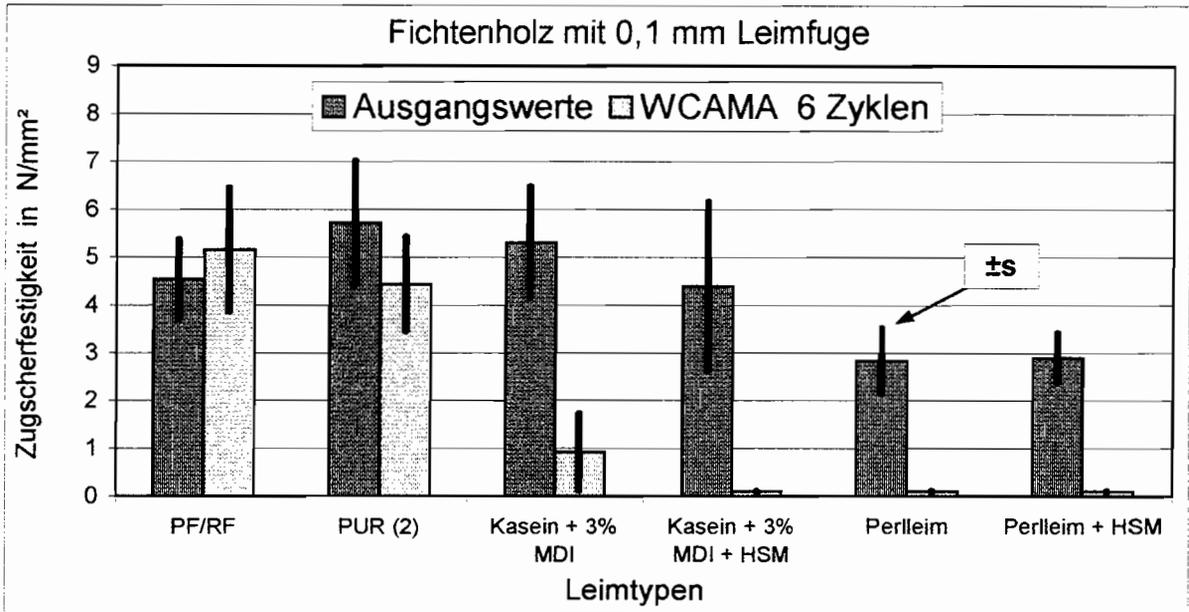


Abb. 36: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test (6 Zyklen) mit 0,1mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Bei der Zugscherfestigkeitsprüfung der Proben mit 0,5 mm dicken Leimfugen waren auch gleiche Schlußfolgerungen abzuleiten, wie sie schon bei den anderen Testverfahren festgestellt wurden.

Die mit Naturharz verleimten Proben ließen nach Ablauf der Testbeanspruchung keine Prüfung der Scherfestigkeit mehr zu. Beim PF/RF-Harz wiesen beide Holzarten fast die gleichen Zugscherfestigkeitswerte auf. Die Werte mit Fichtenholz waren nur geringfügig besser (vgl. Abb. 37 und 38). Beim PUR (2)-Leim wiesen die Kiefernholzproben wiederum höhere Werte auf als die Fichtenholzproben. Innerhalb der Fugendicken ergaben sich beim direkten Leimbruchanteil gleichfalls Differenzen. Die dicken Fugen ließen einen wesentlich höheren Leimbruchanteil erkennen.

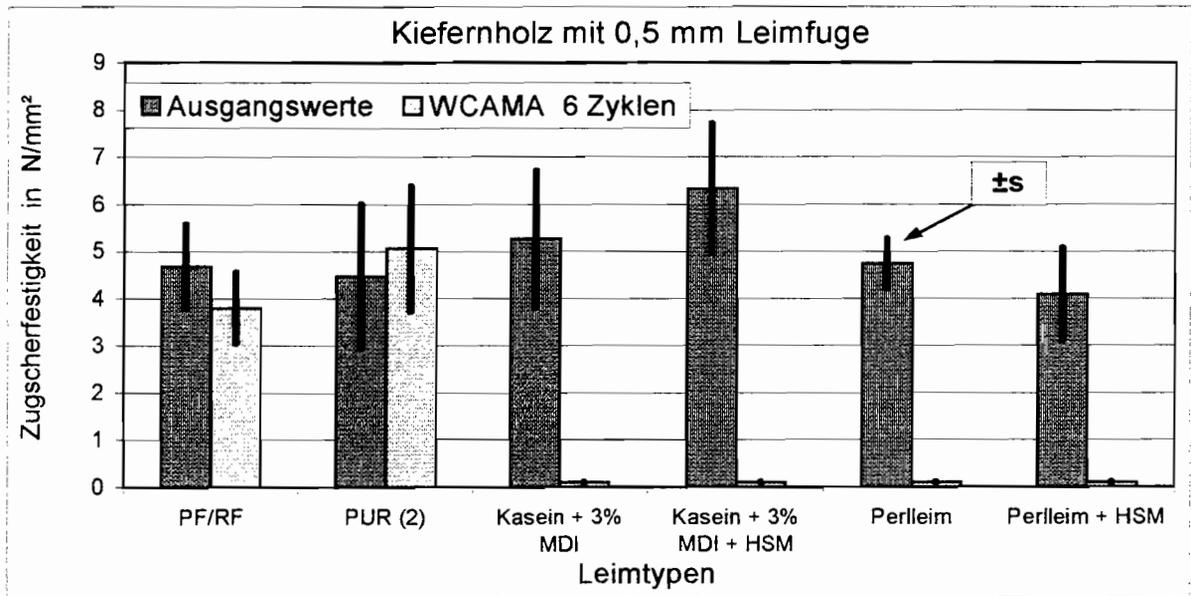


Abb. 37: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test (6 Zyklen) mit 0,5mm Leimfuge,
Holzart: Kiefer

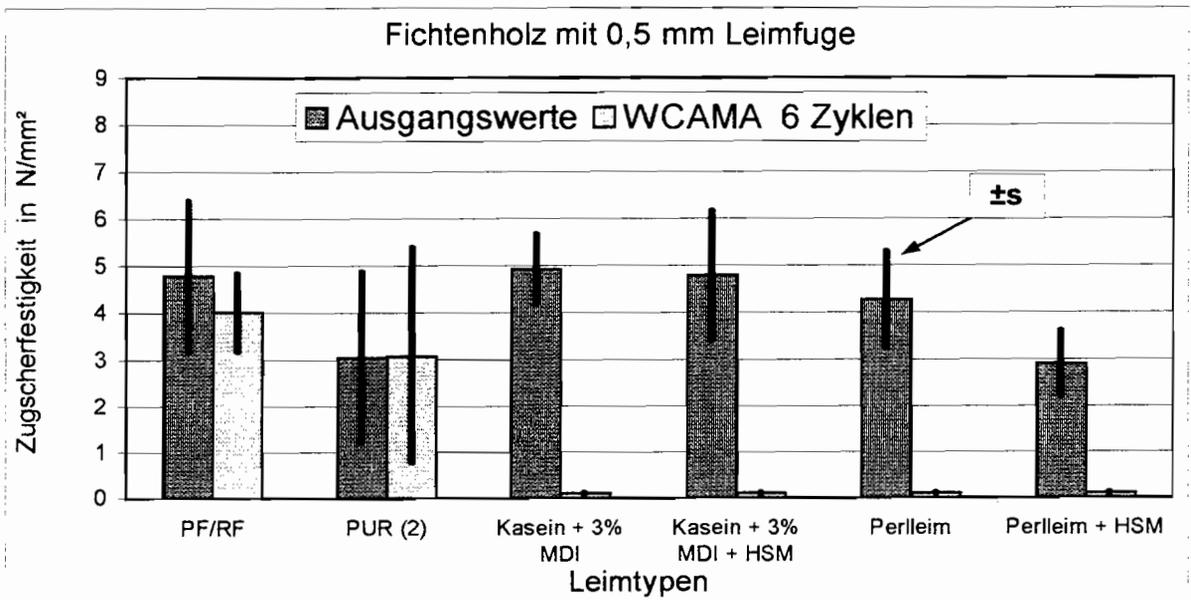


Abb. 38: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test (6 Zyklen) mit 0,5mm Leimfuge,
Holzart: Fichte

Teilprojekt 2

**„Vergleichende Untersuchungen
an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen
mit Natur- und Kunstharzen
zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit“**

Untersuchungsergebnisse zum Teil 2 des Vorhabens:

Ziel der Untersuchung zum Teilprojekt

"Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit"

war die Frage, ob Kunstharze und natürliche Leime in einigen Bereichen des Holzleimbaus langfristig gleichrangig einsetzbar sind.

Die vorstehend durchgeführten Untersuchungen nach Kurzprüfverfahren ergaben, daß bei Verleimungen mit Kunstharzen ein hohes Maß an Sicherheit vorhanden ist. Dies ist auch im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit zu unterstellen, soweit Kurzzeitalterungsverfahren hierüber Auskunft geben können. Auf der Basis von Alterungsverfahren, die Langzeitbelastungen einschließen (XENOTEST-Verfahren) soll diese These im 2. Teil des Forschungsvorhabens überprüft werden.

Die Naturharze, insbesondere Verleimungen auf Knocheneiweiß- oder Blutalbuminbasis wiesen, wie die Untersuchungen zum Teilprojekt 1 aufgezeigt haben, bei kurzzeitigen Einwirkungen von Feuchte, Wärme und Kälte deutliche Schwächen auf. Dabei war zu vermuten, daß Knocheneiweiß- und Blutalbuminleime auch die längerfristigen Belastungen, wie sie bei Kurzzeitbewitterungsverfahren (XENOTEST-Alterungsverfahren) Anwendung finden, nicht beständig sein würden.

Ergänzend wurden Ergebnisse aus einer anderen Versuchsreihe mit den Leimtypen PUR-Harz (Typ 1), PUR-Harz (Typ 1) gestreckt mit 5 % Kokosnußschalenmehl, MUF-Harz und ein PVAc-Leim (B4-Leim) mit in das Vorhaben aufgenommen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Untersuchungen mit verschiedenen längerfristigen Belastungen beschrieben:

- **Kurzzeitalterungen im Xenotest-Gerät vom Typ 1200,
Belastungsdauer: 12, 24, 36 und 48 Wochen.**

Verleimungen mit Naturharzen

Alle Perleim-Verklebungen waren nach einer Woche Kurzzeitalterung vollständig entleimt. Etwas länger hielten die mit 3% MDI modifizierten Kasein-Verleimungen den Belastungen stand. Hier traten die Entleimungen zwischen der 2. und 4. Woche auf. Es waren ausschließlich Leimbrüche vorhanden. Bei beiden Leimsystemen konnten demzufolge keine Zugscherfestigkeitswerte ermittelt werden.

Die Zugscherfestigkeits-Ausgangswerte bei den mit MDI modifizierten Kasein-Verklebungen (0,1 mm „dünne“ und 0,5 mm „dicke“ Leimfugen, Kiefern- und Fichtenholz) lagen bei 4,3 bis 6,3 N/mm². Unterschiede bei den ungeschützten und holzschutzgeschützten Proben waren im Festigkeitsniveau nicht signifikant erkennbar.

Der Ausgangswert bei der Zugscherfestigkeitsprüfung der mit Perleim verleimten Kiefernholzproben (0,1 mm dünne Leimfuge) lag mit annäherungsweise 5,1 N/mm² im Bereich der Ausgangswerte der Kasein-Verleimung. Die Ausgangswerte der Perleim-Kiefernholzproben mit 0,5 mm dicker Leimfuge und die Perleim-Fichtenholzproben (0,1 mm dünne und 0,5 mm dicke Leimfugen) wiesen dagegen etwas niedrigere Werte auf, sie lagen größenordnungsmäßig im Bereich zwischen 3,0 bis 5,0 N/mm² (vgl. Abb. 39 und 40 sowie Tab. 14).

Verleimungen mit Kiefernholz

Bei den Ergebnissen mit Kiefernholz (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) wiesen die Kunstharzverleimungen PUR (1), PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl, MUF und PVAc-B4-Leim) bei den Ausgangswerten die höchsten Zugscherfestigkeitswerte mit 6,1 N/mm² bis 7,9 N/mm² auf, vgl. Abb. 39 und 40 sowie Tab. 14.

Die Referenzverleimung PF/RF und der PUR-Typ 2 (Kiefernholz, 0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) erreichten Ausgangs-Zugscherfestigkeits-Werte von etwa 4,5 N/mm². Im Verlauf der 48 Wochen Kurzzeitalterung fielen die ermittelten Zugscherfestigkeits-Werte aller Kunstharzverleimungen aus Kiefernholz kontinuierlich ab, wobei die Referenzverleimung PF/RF und der PUR-Typ 2 die geringsten Festigkeitsminderungen (ungefähr um 40 %) zu verzeichnen hatten. Bei beiden Verleimungen (PF/RF, PUR-Typ 2, 0,1 mm und 0,5 mm) kam es in den letzten 24 Wochen der Kurzzeitbewitterung zu keinen weiteren Festigkeitsabnahmen, es trat eine Stabilisierung ein.

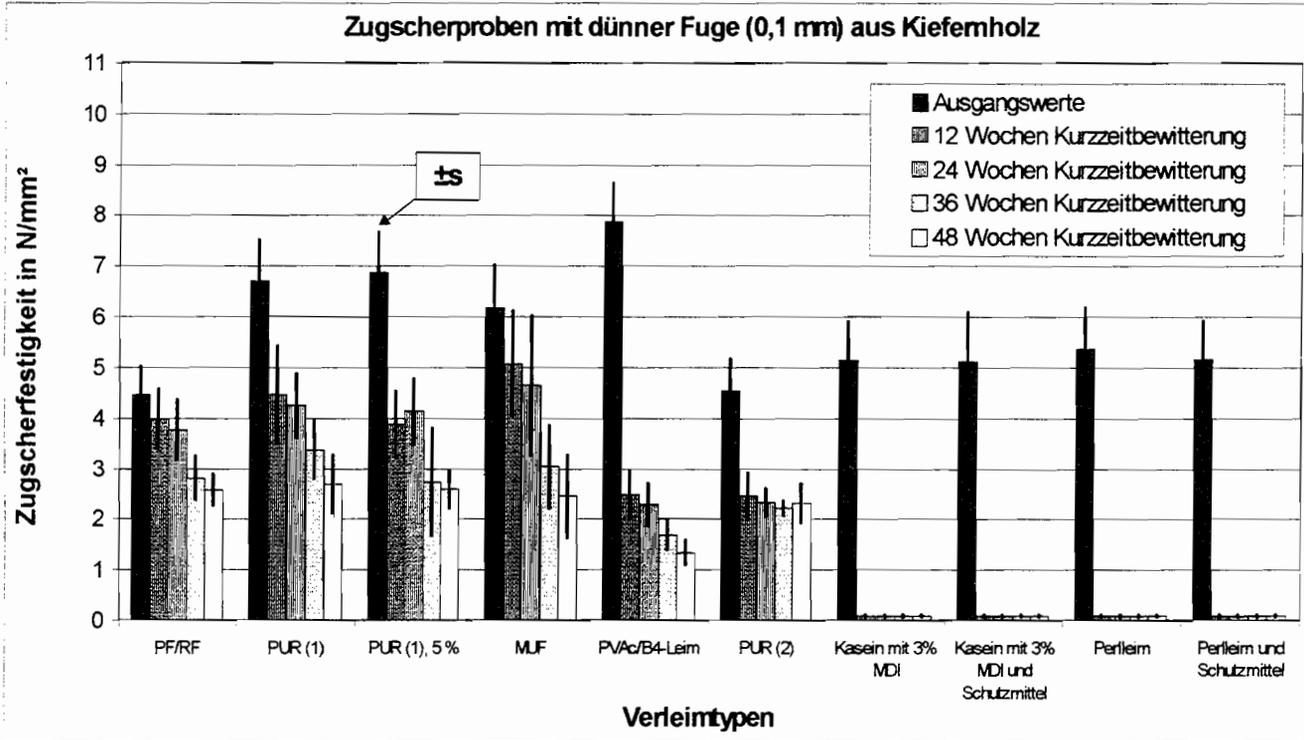


Abb. 39: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dünner (0,1 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitbewitterungs-Zeiträumen

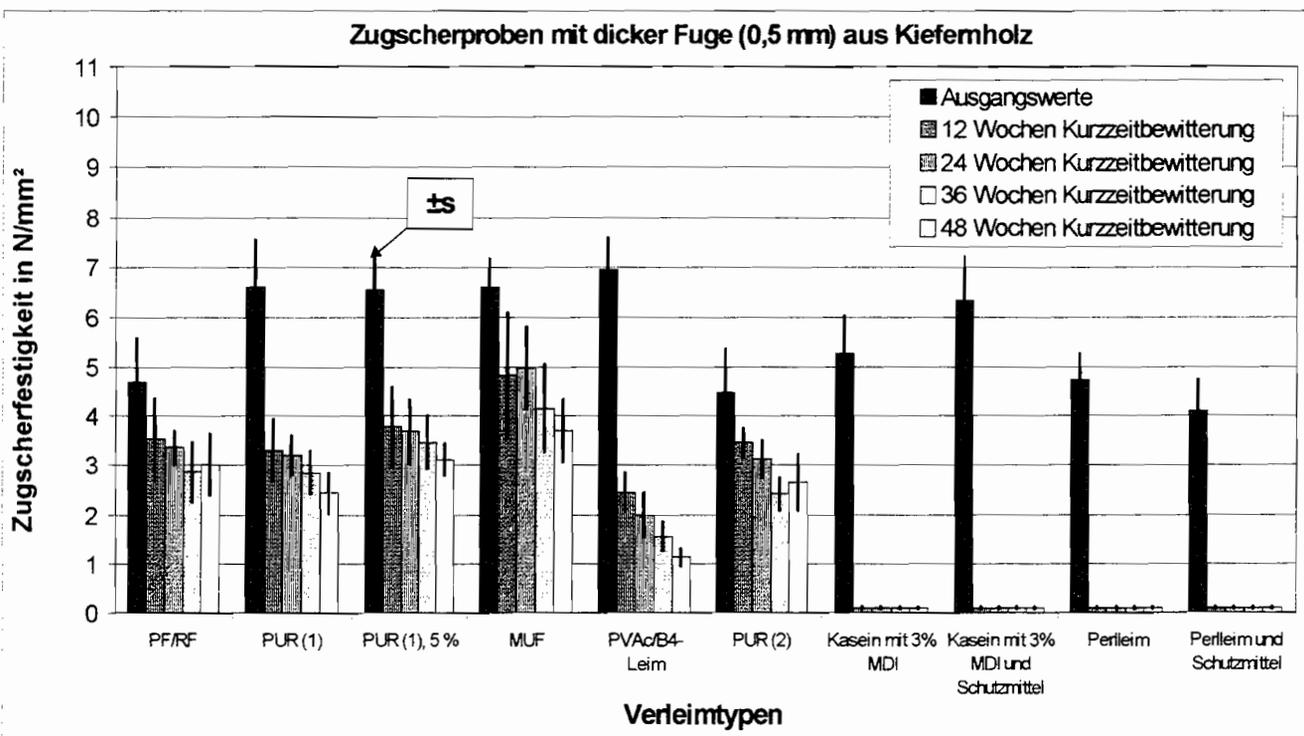


Abb. 40: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dicker (0,5 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitbewitterungs-Zeiträumen

V 100- bzw. Naß - Zugscherfestigkeitswerte in N/mm²										
Kiefer, 0,1 mm dünne Fuge	V 100 Ausgangswerte		12 Wochen Kurzzeitbewitterung		24 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung	
	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s
PF/RF	4,46	0,56	3,98	0,60	3,77	0,59	2,81	0,43	2,58	0,32
PUR (1)	6,70	0,82	4,46	0,96	4,25	0,64	3,37	0,57	2,69	0,57
PUR (1), 5 % Koko	6,87	0,79	3,88	0,66	4,13	0,66	2,74	1,06	2,59	0,38
MUF	6,17	0,85	5,07	1,04	4,64	1,38	3,04	0,81	2,46	0,82
PVAc / B4-Leim	7,87	0,77	2,48	0,47	2,29	0,43	1,69	0,29	1,34	0,24
PUR (2)	4,52	0,67	2,46	0,47	2,33	0,28	2,22	0,15	2,32	0,39
Kasein mit 3% MDI	5,14	0,78	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Kasein mit 3% MDI und HSM	5,12	0,97	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim	5,36	0,84	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim und HSM	5,16	0,77	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Kiefer, 0,5 mm dicke Fuge	V 100 Ausgangswerte		12 Wochen Kurzzeitbewitterung		24 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung	
	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s
PF/RF	4,69	0,88	3,53	0,84	3,36	0,34	2,86	0,61	3,01	0,61
PUR (1)	6,60	0,93	3,30	0,63	3,20	0,41	2,85	0,44	2,43	0,42
PUR (1), 5 % Koko	6,55	0,77	3,79	0,82	3,69	0,66	3,47	0,53	3,11	0,32
MUF	6,58	0,57	4,84	1,25	4,99	0,83	4,16	0,90	3,71	0,64
PVAc / B4-Leim	6,95	0,64	2,45	0,39	1,99	0,45	1,55	0,30	1,13	0,18
PUR (2)	4,47	0,89	3,45	0,29	3,12	0,38	2,42	0,34	2,65	0,57
Kasein mit 3% MDI	5,27	0,74	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Kasein mit 3% MDI und HSM	6,33	0,88	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim	4,74	0,52	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim und HSM	4,09	0,65	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02

Tabelle 14: V 100- bzw. Naß-Zugscherfestigkeitswerte von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen nach unterschiedlich langen Kurzzeitbewitterungs-Zeiträumen

Bei den 3 Verleimungen mit PUR (1), PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl und MUF aus Kiefernholz (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) zeigten sich zum Teil Zugscherfestigkeitsabnahmen nach 48 Wochen Kurzzeitalterung von über 60 %, wobei in der Tendenz eine Stabilisierung bei der Verleimung PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl (0,1 mm und 0,5 mm) in den letzten 24 Wochen der Kurzzeitbewitterung eintrat.

Die PVAc-B4-Verleimung (Kiefernholz, 0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) ließ nach 48 Wochen Kurzzeitalterung keine ausreichende Langzeitbeständigkeit erkennen. Die Zugscherfestigkeitsabnahmen betragen schon nach den ersten 12 Wochen 60 bis 70 % und fielen dann bis zur 48. Woche der Beanspruchung kontinuierlich auf ungefähr 20 % der Ausgangswerte ab.

Verleimungen mit Fichtenholz

Vergleichbare Ergebnisse waren bei den Kunstharzverleimungen mit Fichtenholz zu verzeichnen (vgl. Abb. 41 und 42 sowie Tab. 15).

Auch beim Fichtenholz erzielte die PF/RF-Referenzverleimung (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) im Verlauf der 48wöchigen Kurzzeitalterung die besten und beständigsten Zugscherfestigkeits-Werte. Nach 48 Wochen Beanspruchung war ein Festigkeitsabfall bei beiden Leimfugendicken von rund 30 % aufgetreten.

Ein annähernd gleiches Festigkeitsverhalten war, wie bei der PR/RF-Verklebung, beim MUF-Verleimungstyp mit der 0,5 mm dicken Leimfuge festzustellen.

Ungefähr 50 bis 60 % Festigkeitsminderung wiesen die anderen Kunstharzverleimungen PUR (1), PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen), PUR (2) und MUF (0,1 mm dicke Leimfugen) nach 48 Wochen Kurzzeitalterung auf.

Wie bei den Kiefernholzproben ließen auch die Fichtenholzverleimungen mit PVAc (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) nach 48 Wochen Kurzzeitalterung keine ausreichende Langzeitbeständigkeit erkennen. Die Zugscherfestigkeitswerte nach 48 Wochen Beanspruchung nahmen auch hier um etwa 83 % gegenüber den Ausgangswerten ab.

Bei allen Kunstharzverleimungen mit Fichtenholz – mit Ausnahme der PVAc-Verklebung - waren in den letzten 24 Wochen der Kurzzeitbewitterung in der Tendenz Stabilisierungen der Zugscherfestigkeiten zu erkennen.

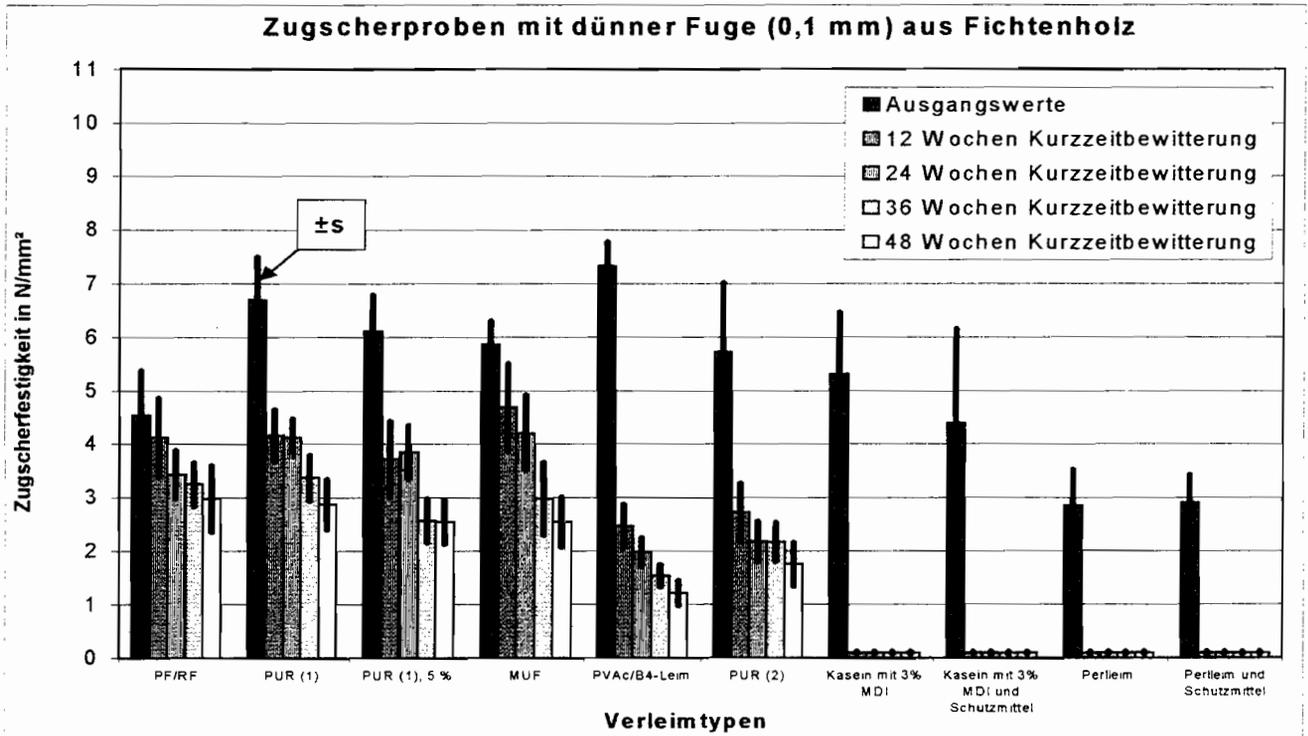


Abb. 41: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dünner (0,1 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitbewitterungs-Zeiträumen

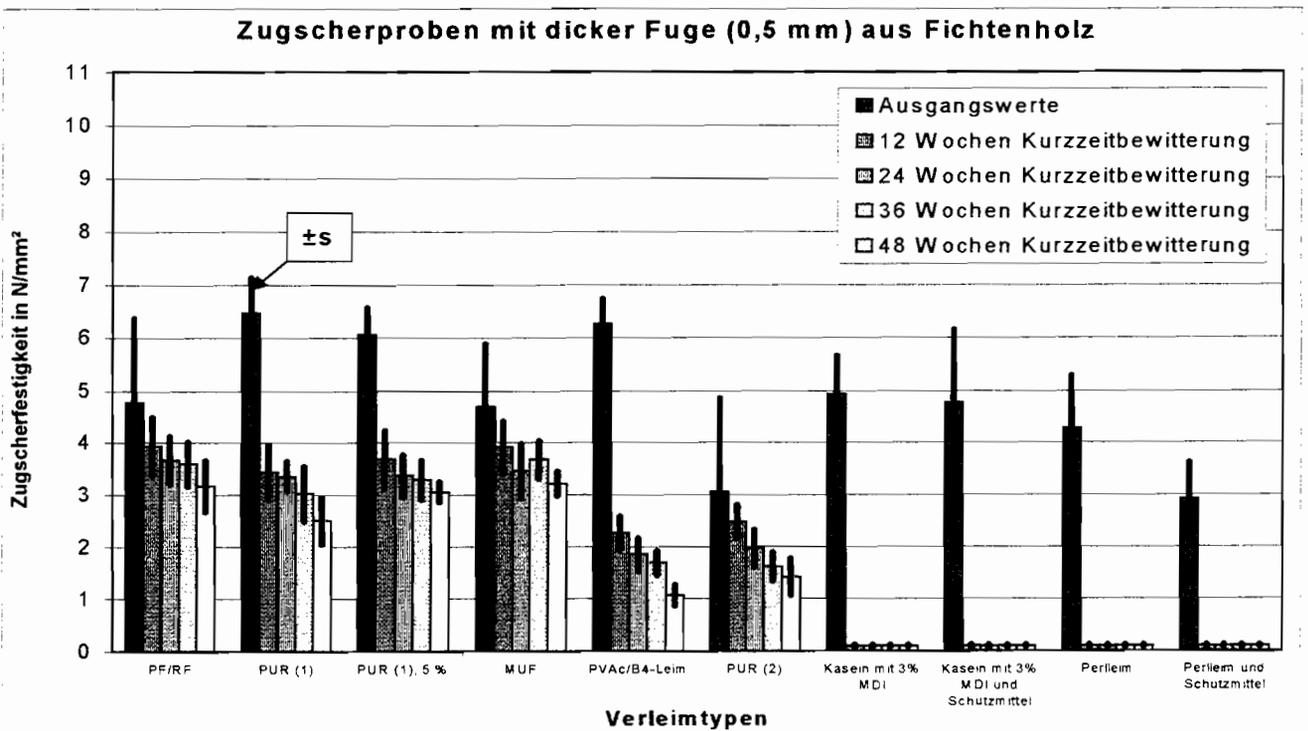


Abb. 42: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dicker (0,5 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitbewitterungs-Zeiträumen

V 100- bzw. Naß - Zugscherfestigkeitswerte in N/mm²										
Fichte, 0,1 mm dünne Fuge	V 100 Ausgangswerte		12 Wochen Kurzzeitbewitterung		24 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung	
	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s
PF/RF	4,54	0,83	4,12	0,73	3,44	0,44	3,25	0,40	2,98	0,61
PUR (1)	6,70	0,79	4,16	0,48	4,13	0,34	3,37	0,42	2,87	0,46
PUR (1), 5 % Koko	6,11	0,67	3,72	0,70	3,85	0,49	2,57	0,40	2,54	0,40
MUF	5,86	0,44	4,69	0,81	4,21	0,70	2,98	0,67	2,54	0,46
PVAc / B4-Leim	7,32	0,45	2,46	0,40	1,98	0,26	1,54	0,19	1,21	0,23
PUR (2)	5,72	1,29	2,72	0,54	2,18	0,37	2,17	0,36	1,75	0,40
Kasein mit 3% MDI	5,31	1,15	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Kasein mit 3% MDI und HSM	4,39	1,76	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim	2,84	0,67	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim und HSM	2,90	0,51	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Fichte, 0,5 mm dicke Fuge	V 100 Ausgangswerte		12 Wochen Kurzzeitbewitterung		24 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung		36 Wochen Kurzzeitbewitterung	
	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s	x-quer	± s
PF/RF	4,78	1,59	3,93	0,56	3,66	0,46	3,59	0,42	3,16	0,49
PUR (1)	6,47	0,67	3,43	0,52	3,35	0,29	3,02	0,52	2,50	0,45
PUR (1), 5 % Koko	6,06	0,51	3,68	0,55	3,36	0,40	3,28	0,37	3,05	0,19
MUF	4,70	1,18	3,91	0,50	3,45	0,52	3,67	0,36	3,21	0,23
PVAc / B4-Leim	6,26	0,46	2,26	0,32	1,85	0,31	1,69	0,23	1,07	0,20
PUR (2)	3,04	1,81	2,48	0,32	1,97	0,35	1,62	0,27	1,42	0,35
Kasein mit 3% MDI	4,93	0,72	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Kasein mit 3% MDI und HSM	4,78	1,37	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim	4,27	1,01	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
Perlleim und HSM	2,91	0,69	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02

Tabelle 15: V 100- bzw. Naß-Zugscherfestigkeitswerte von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen nach unterschiedlich langen Kurzzeitbewitterungs-Zeiträumen

- **Beurteilungen der Leimbrüche**

Bei Auswertung der Bruchbilder nach den Zugscherversuchen, ist bei den „reinen“ Leimbrüchen festzustellen, daß die Referenzverleimung PF/RF, die Verklebung mit den geringsten Leimbrüchen über den gesamten Zeitraum der 48 Wochen Kurzzeitalterung ist. Im Durchschnitt waren bei den PF/RF-Verleimungen mit Kiefern- und Fichtenholz (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) ungefähr 30 % Leimbrüche bei den Zugscherversuchen zu verzeichnen.

Ähnlich niedrige Leimbruchanteile (um 30 %) nach den Zugscherversuchen hatte die MUF-Verleimung mit Kiefernholz (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) im Verlauf der Kurzzeitalterung zu verzeichnen. Die MUF-Verleimung mit Fichtenholz wies dagegen zwischen 35 bis 68 % Leimbrüche bei den Zugscherversuchen auf.

Die 3 Verleimungen mit PUR (1), PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl und PUR (2) aus Kiefern- und Fichtenholz (0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) hatten annähernd gleich hohe Leimbruchanteile (40 bis 80 %) wie die MUF-Verleimung mit Fichtenholz zu verzeichnen.

Bei der PVAc-B4-Verleimung (Kiefern- und Fichtenholz, 0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) wurden im Verlauf der 48 Wochen Beanspruchung nach den jeweiligen Zugscherversuchen Leimbruchanteile von 75 bis 95 % festgestellt.

Die Leimbruchanteile nach den Zugscherversuchen der nicht gealterten Proben lagen bei allen Naturharz-Verklebungen (Kaseinleim, Perleim, 0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen, Kiefern- und Fichtenholz) bei etwa 50 %. Alle gealterten Proben, die nach 1 bis 2 Wochen der Kurzzeitalterung entleimt waren, wiesen demzufolge 100 % Leimbruch auf (vgl. Abb. 43, Beispiele typischer Leimbrüche).

Anzumerken ist, daß die Leimbruchanteile im Verlauf der 48wöchigen Beanspruchung im Trend – mit einigen Ausnahmen – ständig zunahmen (vgl. Abb. 44 und 45 sowie Tab. 16).

Das unterschiedliche Ausmaß der Leimbruchanteile bei den einzelnen Verleimungen im Verlauf der Alterungsbeanspruchung dürfte als charakteristisch für die Langzeitbeständigkeit der Verleimungen anzusprechen sein. Nach dem Anteil der Leimbrüche ergab sich eine Reihung in Abhängigkeit vom Ausmaß in folgender Form: PF/RF – MUF – PUR - PVAc – Kasein / Perleim.



Abb. 43: Typische Leimbrüche von Zugscher-Proben nach 48 Wochen Kurzzeitbewitterung
 Verleimung: PUR-, PF/RF-Harz, Kaseinleim mit 3% MDI und Perleim.
 Holzart: Fichte

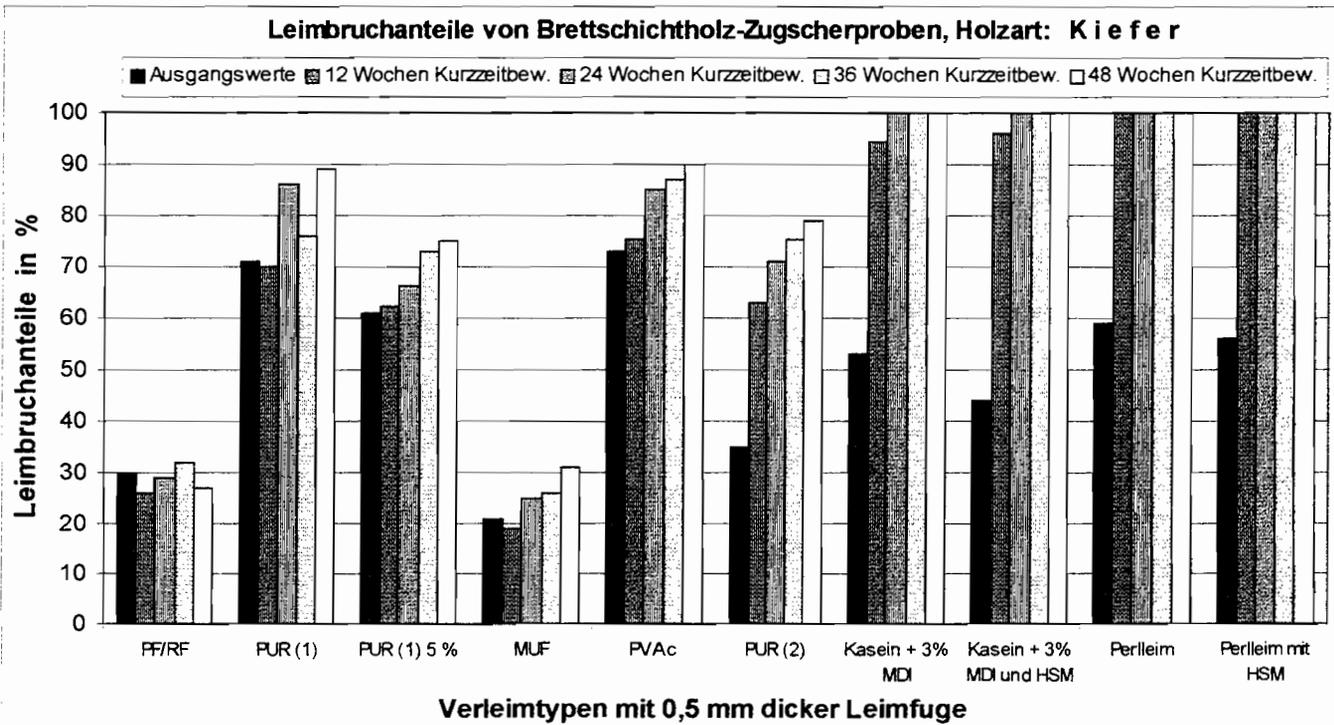
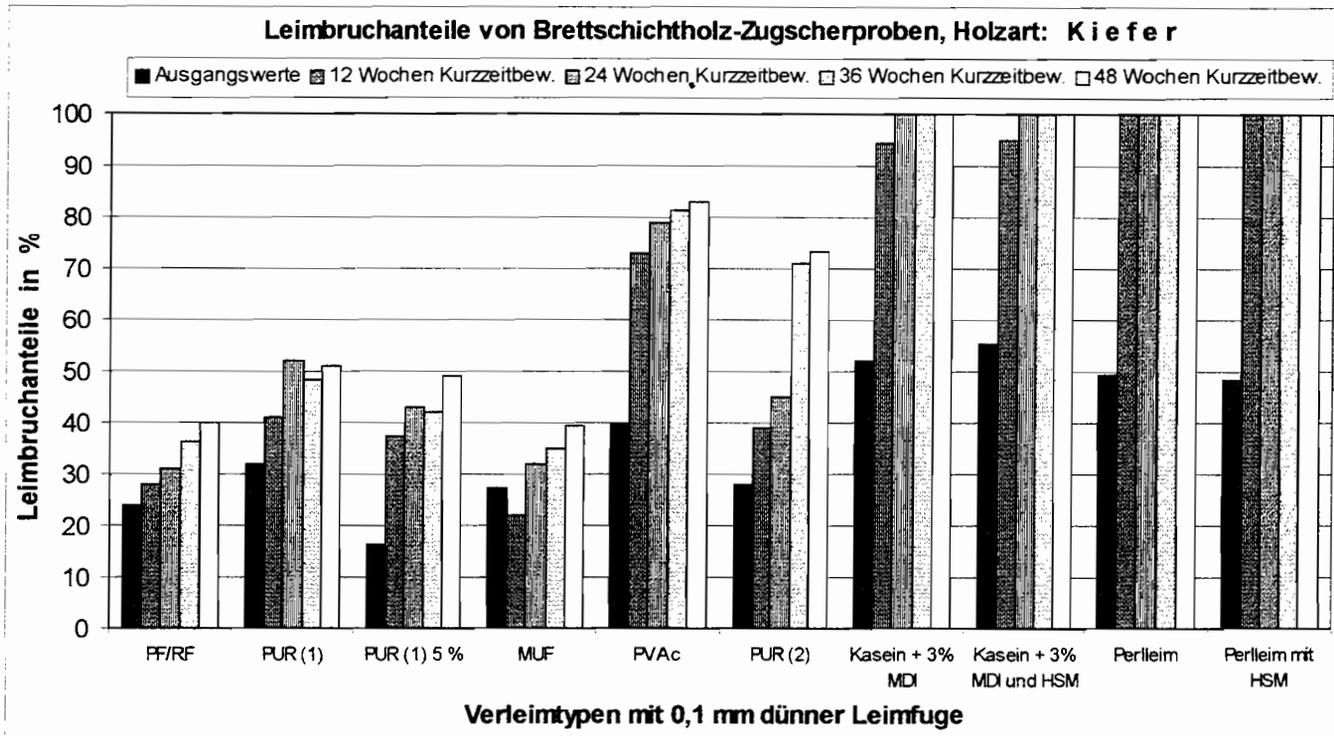


Abb. 44: Leimbruchanteile an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brett-schichtholzverklebungen, Holzart: **Kiefer**, 0,1 mm dünne und 0,5 mm dicke Leimfuge

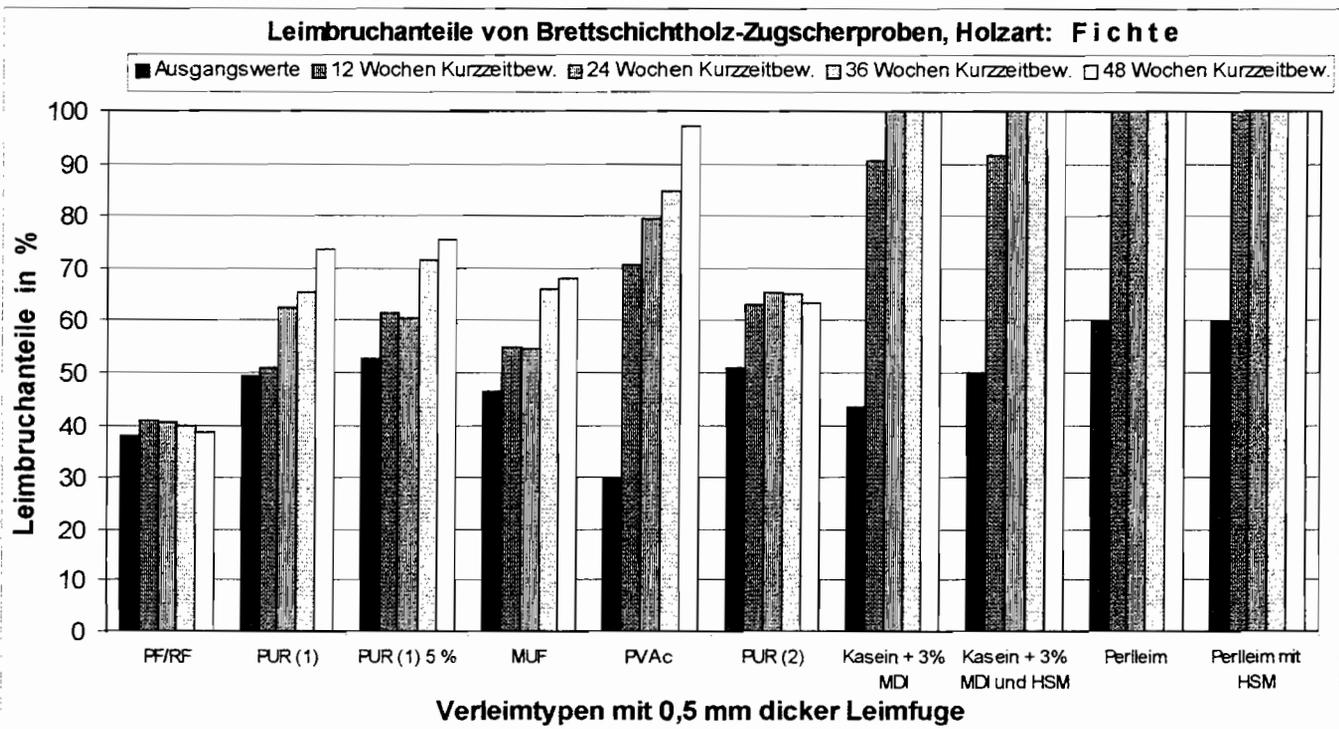
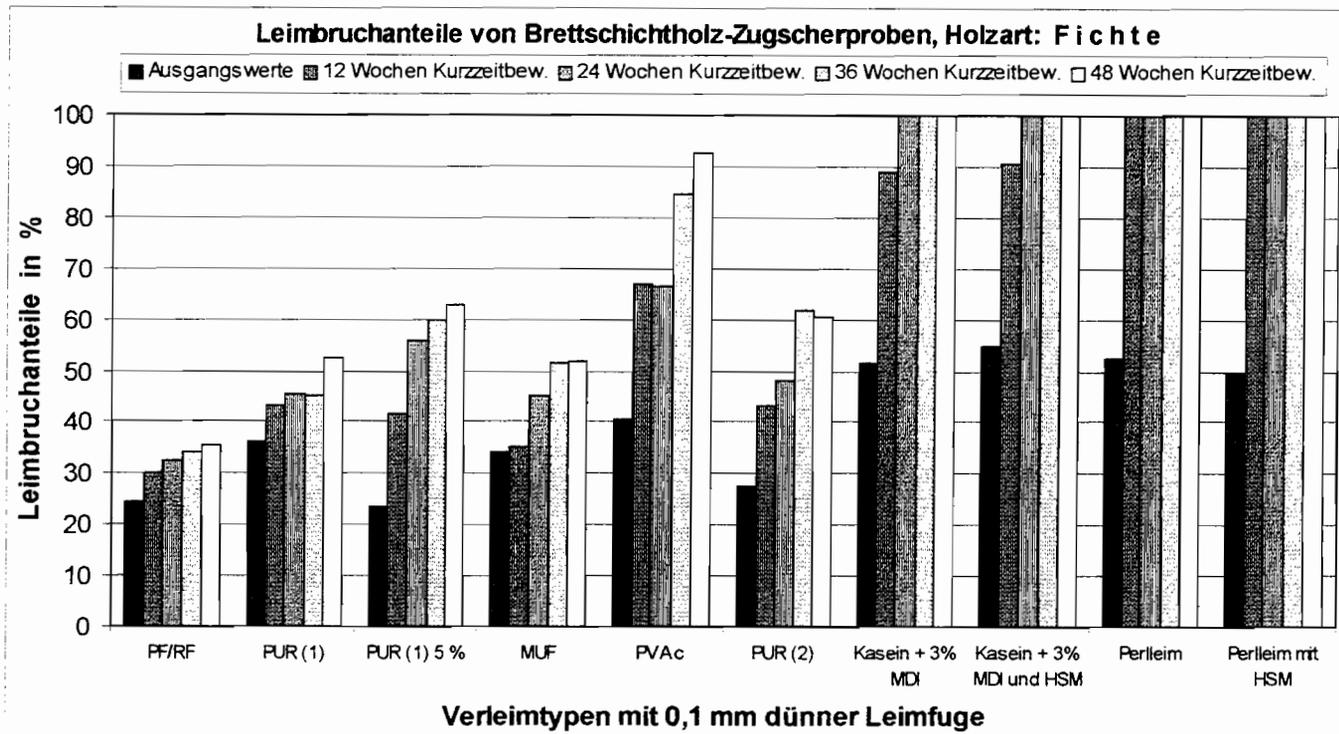


Abb. 45: Leimbruchanteile an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschichtholzverklebungen, Holzart: **Fichte**, 0,1 mm dünne und 0,5 mm dicke Leimfuge

Leimbrüche in %										
Kiefernholz mit 0,1 mm Fuge	PF/RF	PUR (1)	PUR (1) + 5 % Kokosn.	MUF	PVAc	PUR (2)	Kasein + 3% MDI	Kasein + 3% MDI + HSM	Perleim	Perleim + HSM
Ausgangswerte	24	32	17	28	40	28	52	55	50	49
12 Wochen Kurzzeitbew.	28	41	38	22	73	39	95	95	100	100
24 Wochen Kurzzeitbew.	31	52	43	32	79	45	100	100	100	100
36 Wochen Kurzzeitbew.	37	49	42	35	82	71	100	100	100	100
48 Wochen Kurzzeitbew.	40	51	49	40	83	74	100	100	100	100
AW 100-Test	33	67	60	44	91	75	100	100	100	100
Kiefernholz mit 0,5 mm Fuge										
Ausgangswerte	30	71	61	21	73	35	53	44	59	56
12 Wochen Kurzzeitbew.	26	70	63	19	76	63	95	96	100	100
24 Wochen Kurzzeitbew.	29	86	67	25	85	71	100	100	100	100
36 Wochen Kurzzeitbew.	32	76	73	26	87	76	100	100	100	100
48 Wochen Kurzzeitbew.	27	89	75	31	90	79	100	100	100	100
AW 100-Test	43	81	84	47	100	80	100	100	100	100
Fichtenholz mit 0,1 mm Fuge										
Ausgangswerte	25	36	24	34	41	28	52	55	53	50
12 Wochen Kurzzeitbew.	30	43	42	35	67	43	89	91	100	25
24 Wochen Kurzzeitbew.	33	46	56	45	67	48	100	100	100	0
36 Wochen Kurzzeitbew.	34	45	60	52	85	62	100	100	100	10
48 Wochen Kurzzeitbew.	36	53	63	52	93	61	100	100	100	0
AW 100-Test	44	75	79	78	97	65	100	100	100	0
Fichtenholz mit 0,5 mm Fuge										
Ausgangswerte	38	50	53	47	30	51	44	50	60	50
12 Wochen Kurzzeitbew.	41	51	62	55	71	63	91	92	100	0
24 Wochen Kurzzeitbew.	41	63	61	55	80	66	100	100	100	0
36 Wochen Kurzzeitbew.	40	66	72	66	85	65	100	100	100	0
48 Wochen Kurzzeitbew.	39	74	76	68	97	64	100	100	100	0
AW 100-Test	60	79	82	80	100	82	100	100	100	0

Tab. 16: Zusammenstellung der %tuen Leimbrüche von unterschiedlich beanspruchten Zugscherproben aus Kiefern- und Fichtenholz

- **Beurteilungen der Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag**

Aus den Resultaten der Bruchbilder „Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag“ nach den Zugscherfestigkeitsprüfungen und jeweiligen Kurzzeitalterungszyklen können keine eindeutigen Schlüsse gezogen werden. Mittelt man die Ergebnisse aller Kunstharz-Verklebungen (Verleimtypen und Beanspruchungszeiträume), liegen die Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag etwa bei 25 bis 30 %. Nur bei der PVAc-B4-Verleimung ist im Trend eine Abnahme der Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag im Verlauf der 48wöchigen Beanspruchung festzustellen. Beim PVAc-Leim wurden auch weniger Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag festgestellt als bei den anderen Kunstharzverklebungen (vgl. Abb. 45 und 46 sowie Tab. 17).

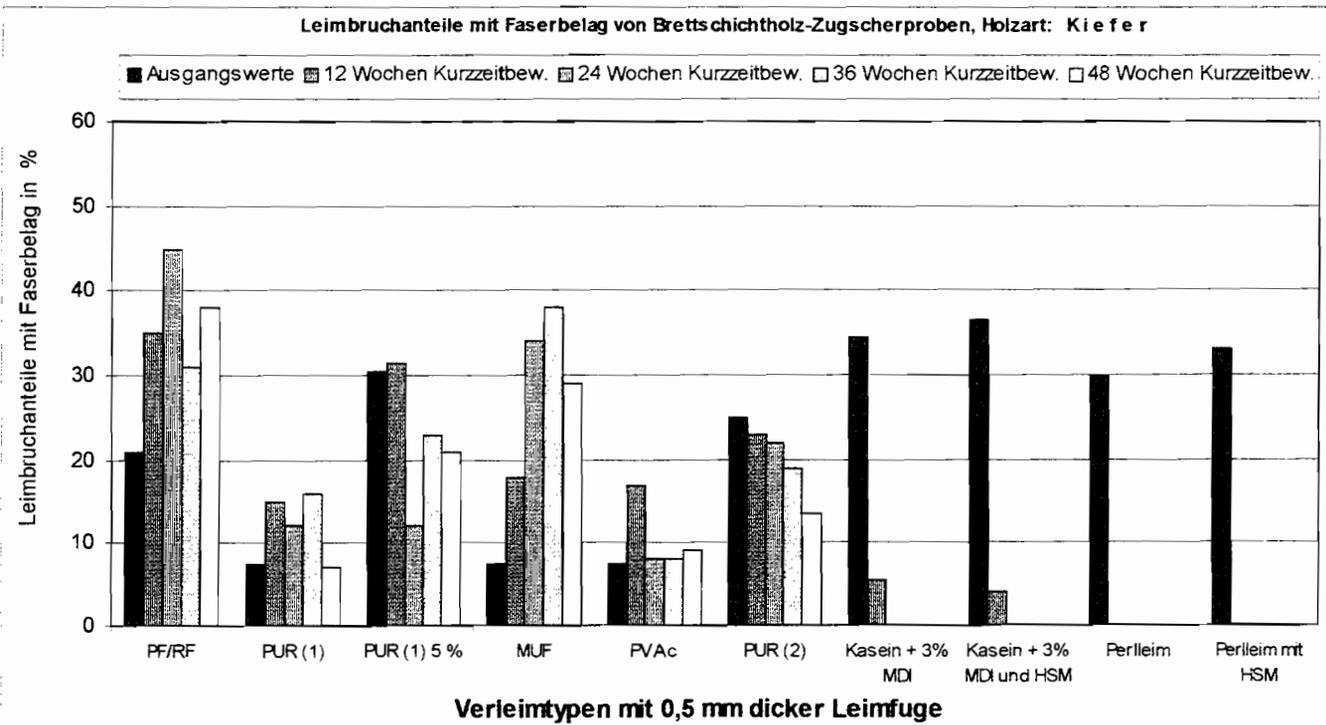
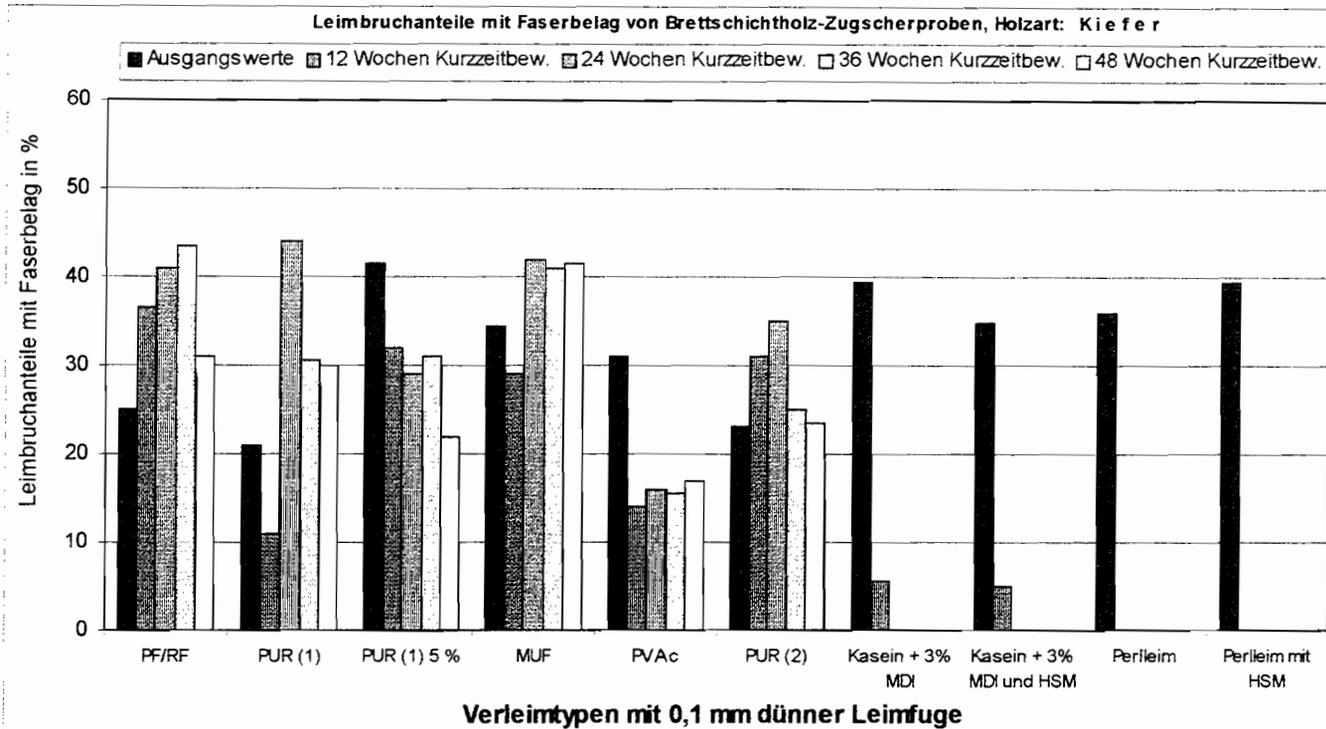


Abb. 46: Leimbruchanteile mit Holzfaserverbelag an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschicht-holzverklebungen, Holzart: **Kiefer**, 0,1 mm dünne und 0,5 mm dicke Leimfuge

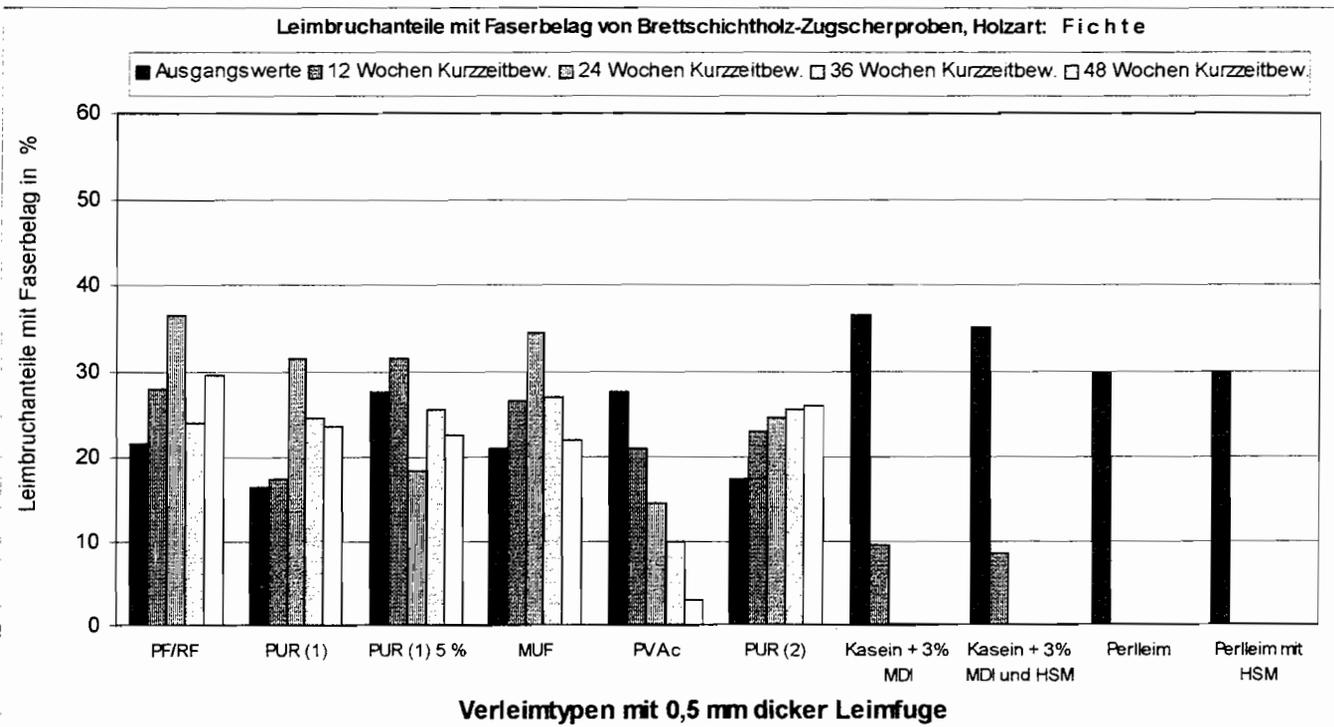
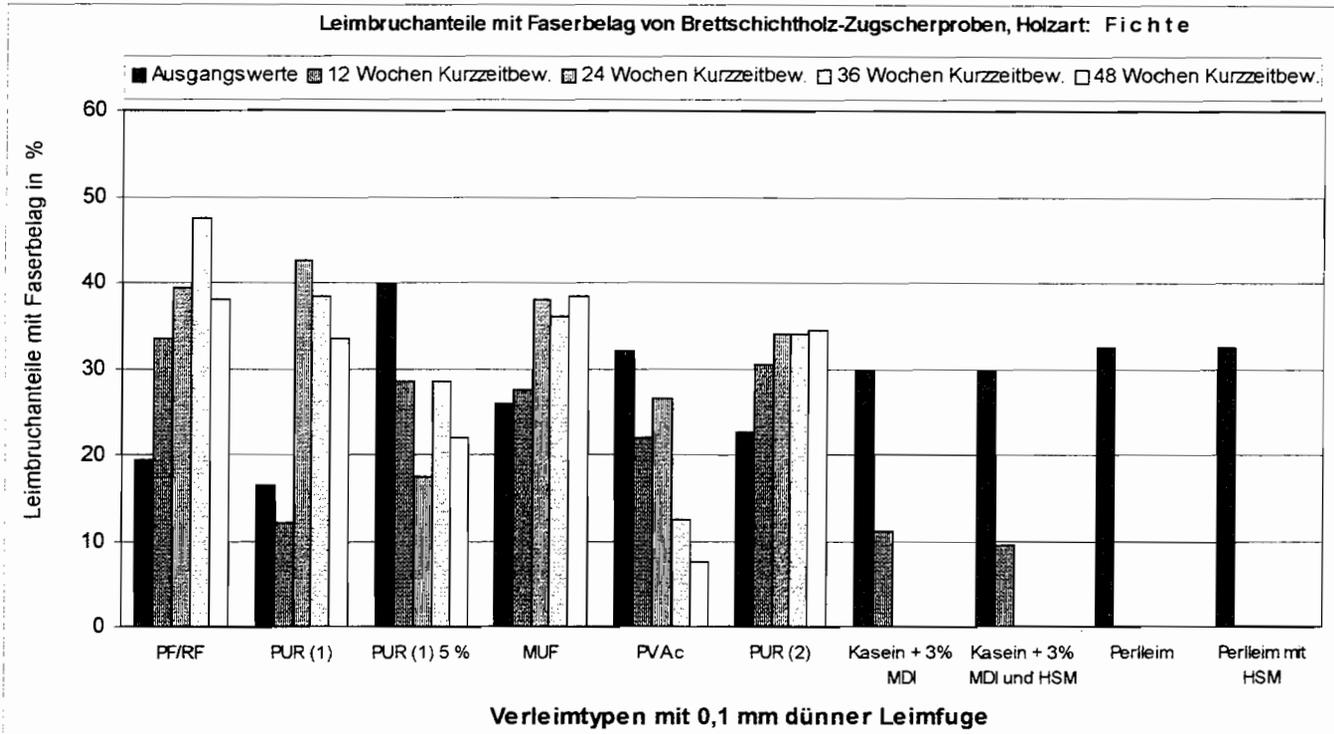


Abb. 47: Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschichtholzverklebungen, Holzart: **Fichte**, 0,1 mm dünne und 0,5 mm dicke Leimfuge

Leimbrüche mit Holzfaserbelag in %										
Kiefernholz mit 0,1 mm Fuge	PF/RF	PUR (1)	PUR (1) + 5 % Kokosn.	MUF	PVAc	PUR (2)	Kasein + 3% MDI	Kasein + 3% MDI + HSM	Perleim	Perleim + HSM
Ausgangswerte	25	21	42	35	31	23	40	35	36	40
12 Wochen Kurzzeitbew.	37	11	32	29	14	31	6	5	0	0
24 Wochen Kurzzeitbew.	41	44	29	42	16	35	0	0	0	0
36 Wochen Kurzzeitbew.	44	31	31	41	16	25	0	0	0	0
48 Wochen Kurzzeitbew.	31	30	22	42	17	24	0	0	0	0
AW 100-Test	27	17	31	23	9	19	0	0	0	0
Kiefernholz mit 0,5 mm Fuge										
Ausgangswerte	21	8	31	8	8	25	35	37	30	33
12 Wochen Kurzzeitbew.	35	15	32	18	17	23	6	4	0	0
24 Wochen Kurzzeitbew.	45	12	12	34	8	22	0	0	0	0
36 Wochen Kurzzeitbew.	31	16	23	38	8	19	0	0	0	0
48 Wochen Kurzzeitbew.	38	7	21	29	9	14	0	0	0	0
AW 100-Test	37	19	16	21	0	13	0	0	0	0
Fichtenholz mit 0,1 mm Fuge										
Ausgangswerte	20	17	40	26	32	23	30	30	33	25
12 Wochen Kurzzeitbew.	34	12	29	28	22	31	11	10	0	0
24 Wochen Kurzzeitbew.	40	43	18	38	27	34	0	0	0	40
36 Wochen Kurzzeitbew.	48	39	29	36	13	34	0	0	0	25
48 Wochen Kurzzeitbew.	38	34	22	39	8	35	0	0	0	0
AW 100-Test	23	19	14	20	3	28	0	0	0	15
Fichtenholz mit 0,5 mm Fuge										
Ausgangswerte	22	17	28	21	28	18	37	35	30	50
12 Wochen Kurzzeitbew.	28	18	32	27	21	23	10	9	0	0
24 Wochen Kurzzeitbew.	37	32	19	35	15	25	0	0	0	0
36 Wochen Kurzzeitbew.	24	25	26	27	10	26	0	0	0	0
48 Wochen Kurzzeitbew.	30	24	23	22	3	26	0	0	0	0
AW 100-Test	32	18	18	16	0	14	0	0	0	0

Tab. 17: Zusammenstellung der %tuen Leimbrüche mit Holzfaserbelag von unterschiedlich beanspruchten Zugscherproben aus Kiefern- und Fichtenholz

- **10 Wochen Wechselklimalagerung (4 d 20°C/90 % rel. Feuchte und 3 d 40°C/50 % rel. Feuchte) unter Last (15 kg).**

Erwartungsgemäß haben die Verleimungen mit den Naturleimen diesen Test nicht bestanden. Alle Naturleim-Verklebungs-Typen - mit Ausnahme des Kaseinleimes mit 3 % MDI (Kiefern- und Fichtenholz sowie 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen) - waren schon in der 1. bis 2. Woche der Beanspruchung zu 90 % entleimt

Ein ähnliches Verhalten wie beim Kaseinleim mit 3 % MDI war auch bei den PVAc-B4-Verleimtypen (Kiefern- und Fichtenholz, 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen) festgestellt worden. Fast alle Entleimungen (98 bis 100 %) traten zuletzt nach 4 Wochen der Wechsel-Klima/Last-Beanspruchung ein. Bekanntlich ist der PVAc-B4-Leim gegen eine Wärmebelastung von 40°C nicht dauerhaft beständig.

Die anderen 4 Kunstharz-Verleimtypen (PF/RF, PUR (1), PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl und PUR (2), Kiefern- und Fichtenholz, 0,1 mm und 0,5 mm dicke Leimfugen) waren gegen die Wechsel-Klima/Last-Beanspruchung weitaus beständiger. Die Verleimungen mit Kiefernholz erwiesen sich gegenüber den Fichtenholz-Verleimungen als etwas beständiger. Bei den Kiefernholz-Proben waren Leimbruchanteile von etwa 10 bis 50 % , und bei den Fichtenholz-Proben Leimbrüche von zirka 20 bis 65 % festzustellen. Die Kiefernholzproben mit PF/RF- und PUR (1)-Verleimung schnitten am besten ab (PF/RF um 10%, PUR(1) um 20% Leimbrüche), vgl. Abb. 48 bis 51 und Tabellen 18 und 19 sowie Abb. 52 bis 54, Beispiele typischer Leimbrüche bei Kreuzscherproben.

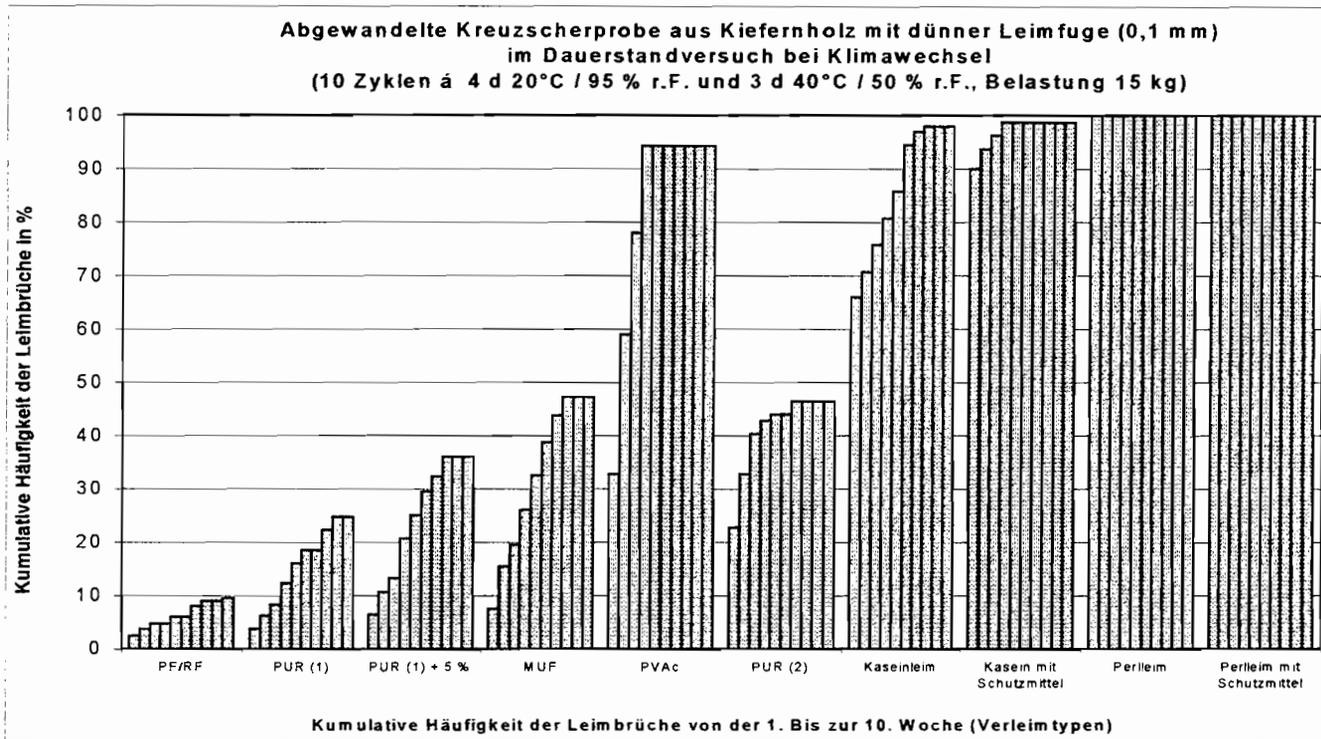


Abb. 48: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20°C / 95 % r.F. und 3 d 40°C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dünner Leimfuge (0,1 mm), Holzart: Kiefer

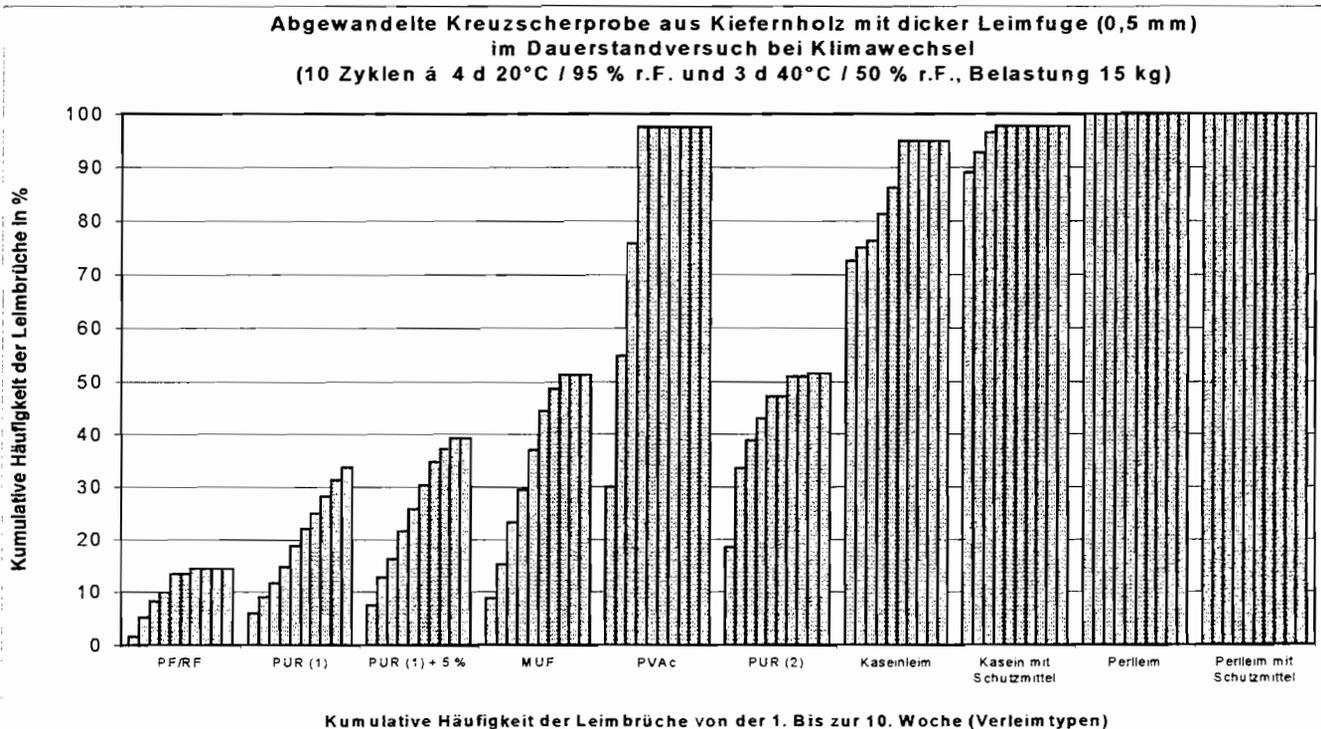


Abb. 49: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20°C / 95 % r.F. und 3 d 40°C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dünner Leimfuge (0,5 mm), Holzart: Kiefer

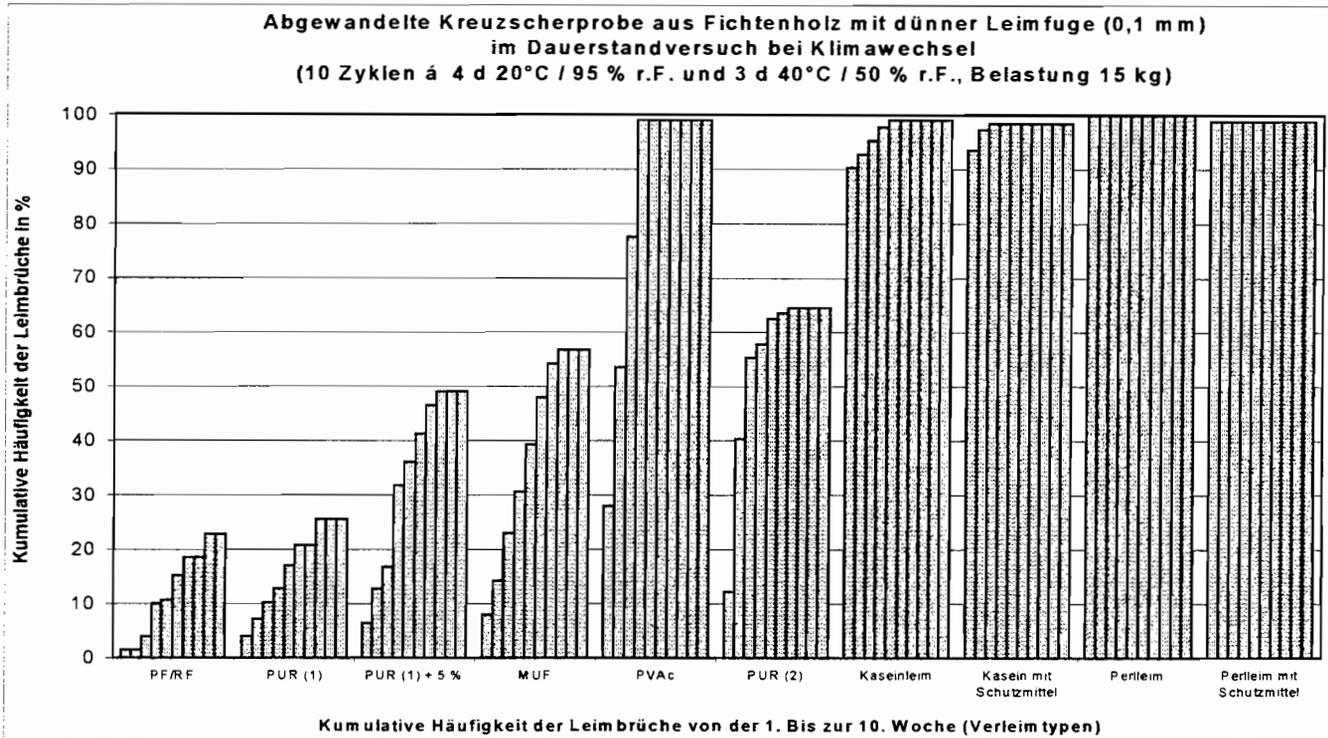


Abb. 50: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20°C / 95 % r.F. und 3 d 40°C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dünner Leimfuge (0,1 mm), Holzart: **Fichte**

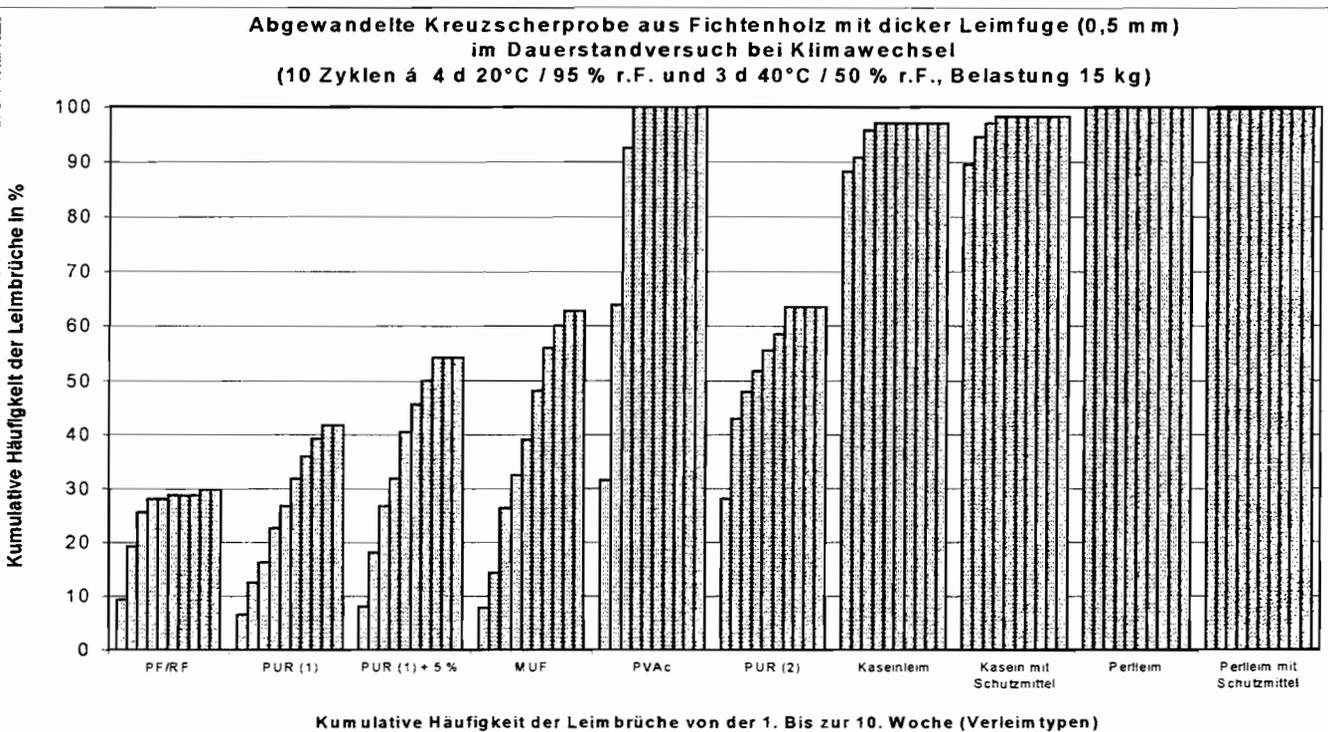


Abb. 51: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20°C / 95 % r.F. und 3 d 40°C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dünner Leimfuge (0,5 mm), Holzart: **Fichte**



Abb. 52: Typische Leimbrüche von Kreuzscher-Proben nach Klimawechsel/Last-Beanspruchung PUR – bzw. PF/RF – Harz, Holzarten: Kiefer und Fichte



Abb. 53: Typische Leimbrüche von Kreuzscher-Proben nach Klimawechsel/Last-Beanspruchung Kaseinleim + 3% MDI sowie mit und ohne Schutzmittel, Holzarten: Kiefer und Fichte

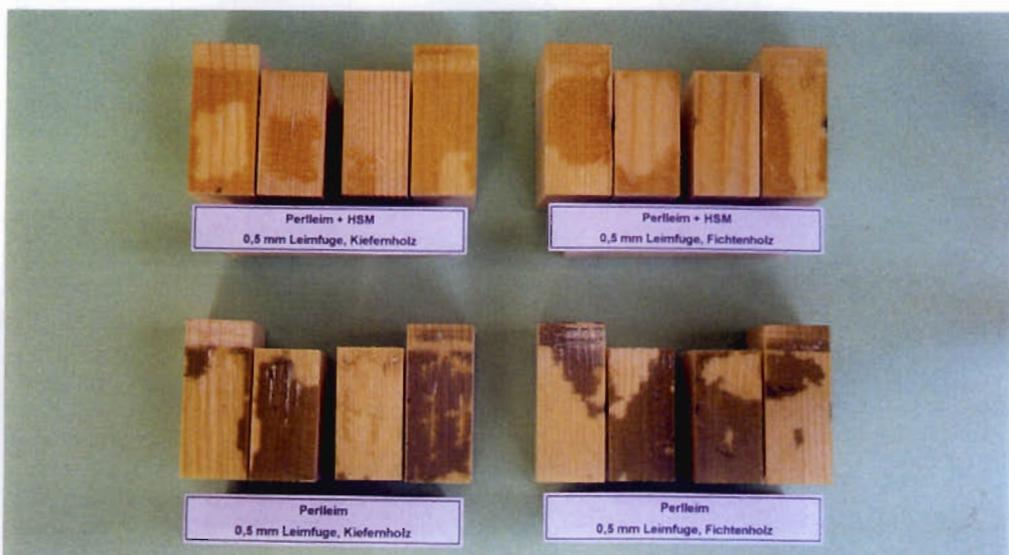


Abb. 54: Typische Leimbrüche von Kreuzscher-Proben nach Klimawechsel/Last-Beanspruchung Perleim mit und ohne Schutzmittel, Holzarten: Kiefer und Fichte

Kumulative Häufigkeit der Leimbrüche															
Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel															
Lfd.-Nr.:	Leimtyp:	Holzart:	Leimfugendicke:	Leimbruchanteile bezogen auf alle eingebauten Proben (alle Leimfugenflächen = 2000 %) Woche										eingebaute Probenanzahl:	Leimbrüche insgesamt in %
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1a	PF/RF	Kiefer	0,1	50	25	20	0	25	0	40	20	0	10	20	9,5 *)
1b	PF/RF	Kiefer	0,5	30	75	60	35	70	0	20		0		20	14,5
2a	PF/RF	Fichte	0,1	30	0	50	120	15	90	65		85		20	22,8
2b	PF/RF	Fichte	0,5	185	200	125	50	0	15			20		20	29,8
3a	PUR (2)	Kiefer	0,1	455	200	150	50	25		50		0		20	46,5
3b	PUR (2)	Kiefer	0,5	370	300	105	85	85		75		10		20	51,5
4a	PUR (2)	Fichte	0,1	245	560	300	50	95	20	20				20	64,5
4b	PUR (2)	Fichte	0,5	560	300	100	75	75	60	100				20	63,5
5a	Kasein	Kiefer	0,1	1320	95	100	100	100	175	50	20			20	98,0
5b	Kasein	Kiefer	0,5	1450	50	25	100	100	175					20	95,0
6a	Kasein	Fichte	0,1	1805	50	50	50	25						20	99,0
6b	Kasein	Fichte	0,5	1765	50	100	25							20	97,0
7a	Kasein mit HSM	Kiefer	0,1	1800	75	50	50							20	98,8
7b	Kasein mit HSM	Kiefer	0,5	1780	75	75	25							20	97,8
8a	Kasein mit HSM	Fichte	0,1	1870	75	25								20	98,5
8b	Kasein mit HSM	Fichte	0,5	1790	100	50	25							20	98,3
9a	Perleim	Kiefer	0,1	2000										20	100,0
9b	Perleim	Kiefer	0,5	2000										20	100,0
10a	Perleim	Fichte	0,1	2000										20	100,0
10b	Perleim	Fichte	0,5	2000										20	100,0
11a	Perleim mit HSM	Kiefer	0,1	2000										20	100,0
11b	Perleim mit HSM	Kiefer	0,5	2000										20	100,0
12a	Perleim mit HSM	Fichte	0,1	2075										21	98,8
12b	Perleim mit HSM	Fichte	0,5	1895										19	99,7

*) Rechenbeispiel Kollektiv 1a = Σ der Leimbrüche 1. bis 10. Woche = 190 % : 20 Proben = 9,5 %

Tab. 18: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20°C / 95 % r.F. und 3 d 40°C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen (PF/RF, PUR 2, Kasein- und Perleim) sowie mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Leimfuge

Kumulative Häufigkeit der Leimbrüche															
Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel															
Lfd.-Nr.:	Leimtyp:	Holzart:	Leimfugendicke:	Leimbruchanteile bezogen auf alle eingebauten Proben (alle Leimfugenflächen = 2000 %) Woche										eingebaute Probenanzahl:	Leimbrüche insgesamt in %
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	PUR (1)	Kiefer	0,1	75	50	40	80	75	50		75	50		20	24,8 *)
2	PUR (1)	Kiefer	0,5	120	60	55	60	80	65	60	65	60	50	20	33,8
3	PUR (1)	Fichte	0,1	80	65	60	50	85	75		95			20	25,5
4	PUR (1)	Fichte	0,5	130	120	75	125	85	100	85	65	50		20	41,8
5	PUR (1) + 5 %	Kiefer	0,1	130	85	50	150	85	90	55	75			20	36,0
6	PUR (1) + 5 %	Kiefer	0,5	150	105	70	105	85	90	90	50	40		20	39,3
7	PUR (1) + 5 %	Fichte	0,1	130	125	80	300	85	105	105	50			20	49,0
8	PUR (1) + 5 %	Fichte	0,5	160	200	175	100	175	105	85	85			20	54,3
9	MUF	Kiefer	0,1	150	160	80	130	130	125	100	70			20	47,3
10	MUF	Kiefer	0,5	175	130	160	125	150	150	85	50			20	51,3
11	MUF	Fichte	0,1	160	125	175	150	175	175	125	50			20	56,8
12	MUF	Fichte	0,5	155	130	240	125	130	185	155	80	55		20	62,8
13	PVAc	Kiefer	0,1	655	525	380	325							20	94,3
14	PVAc	Kiefer	0,5	600	495	420	435							20	97,5
15	PVAc	Fichte	0,1	560	510	480	430							20	99,0
16	PVAc	Fichte	0,5	630	645	575	150							20	100,0

*) Rechenbeispiel Kollektiv 1 = Σ der Leimbrüche 1. bis 10. Woche = 495 % : 20 Proben = 24,8 %

Tab. 19: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20°C / 95 % r.F. und 3 d 40°C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen (PUR 1, PUR 1+ Kokosnußschalenmehl, MUF und PVAc) sowie mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Leimfuge

- **Delaminierungsprüfungen mittels Kurzzeit-Alterungen im Xenotest-Gerät, Typ 1200, Auswertung nach DIN EN 302, Teil 2 (bzw. ASTM 1101-59) nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeit-Alterung.**

Für diese Delaminierungsprüfung wurde eine Kurzzeitalterungsprobe (Xenotest-Probe 195 mm x 125 mm x 20 mm Dicke, verleimt aus 5 Lamellen von 25 mm Breite) entwickelt, die in Anlehnung an DIN EN 302, Teil 2 und ASTM 1101-59 über das Delaminierungsverhalten verschiedener Verleimungen differenzierte Aussagen machen sollte. Vergleichende Abbildungen der Delaminierungsproben vor und nach Kurzzeitbewitterung (Abb. 55 und 56).

Analog zu den Resultaten aus Teil 1 des Vorhabens (Delaminierungsprüfung nach DIN EN 302, Teil 2 und ASTM 1101-59) waren alle Leimfugen der Perleim-Verklebungen ohne und mit Schutzmittel aus Kiefern- und Fichtenholz bei dieser Delaminierungsprüfung nach zum Teil weniger als 12 Wochen Kurzzeitalterung entleimt.

Die Kasein/3%MDI-Proben ohne und mit Schutzmittel waren nach 12 Wochen Beanspruchung zu 60 % (Kiefer) und zu 90 % (Fichte) entleimt bzw. wiesen eindeutige Leimbrüche auf. Dieses Ergebnis steht in einem gewissen Widerspruch zu den Ergebnissen der DIN EN 302-Prüfungen, als bei diesen Prüfungen die Fichtenholzproben in der Tendenz weniger entleimt waren als die Proben aus Kiefernholz.

Auch bei den Kunstharz-Verleimungen waren bei den Kiefernholzproben weniger prozentuale Delaminierungen (vgl. Abb. 57, Beispiel typischer Leimbruch) als bei den Fichtenholzproben ausgemessen bzw. festgestellt wurden. Das Ergebnis der PUR (2)-Verleimung mit Kiefernholz (30%) lag etwas niedriger, aber das Resultat der PUR (2)-Verleimung mit Fichtenholz (40%) lag dagegen deutlich höher als bei den DIN EN 302-Prüfungen. Die Kiefernholzproben mit der PF/RF-Referenzverleimung erbrachten in etwa gleich große Delaminierungen (um 17%) wie bei der DIN EN 302-Prüfung (10%). 32% Delaminierungen nach 36 Wochen Kurzzeitalterung waren bei den Fichtenholzproben festgestellt worden, 7% bzw. 13% bei den DIN EN 302-Prüfungen.

Die drei anderen Kunstharzleime (PUR (1), PUR (1) mit 5 % Kokosnußschalenmehl und MUF) wiesen Delaminierungen von 38% bis 52% (Kiefernholz) und etwa um 45% bei den Fichtenholzproben nach 36 Wochen Kurzzeitalterung auf.



Abb. 55: Xenotest-Delaminierungs-Proben mit entleimten Fugen, unbewittert sowie nach 1, 3 bzw. 36 Wochen Kurzzeitbewitterung, Verleimung: PF/RF, Kasein- und Perleim, Holzart: **Kiefer**



Abb. 56: Xenotest-Delaminierungs-Proben mit entleimten Fugen, unbewittert sowie nach 1, 3 bzw. 36 Wochen Kurzzeitbewitterung, Verleimung: PF/RF, Kasein- und Perleim, Holzart: **Fichte**

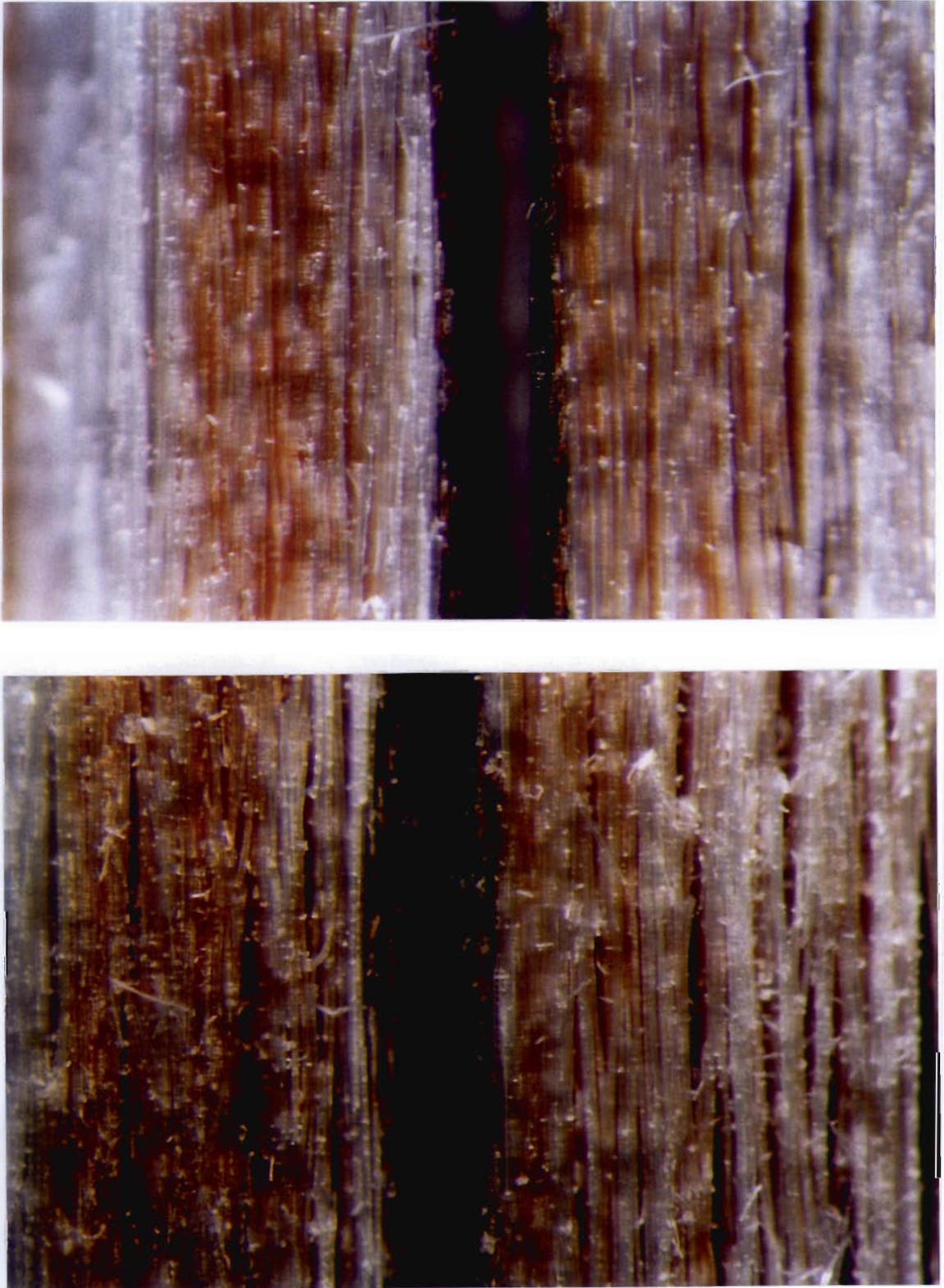


Abb. 57: Typische Leimbrüche einer Xenotest-Delaminierungs-Probe (32 fache Vergrößerung) nach 36 Wochen Kurzzeitbewitterung, Verleimung: PF/RF

Die Proben mit der PVAC-B4-Verklebung ergaben nach 36 Wochen Beanspruchung Delaminierungen von 69% (Kiefer) und 62% (Fichte).

Bei allen Verleimungs-Typen nahmen die Entleimungen im Verlauf der Kurzzeitalterung kontinuierlich zu (vgl. Abb. 58 und 59 sowie Tab. 20).

Festzustellen bleibt, daß die PF/RF-Referenzverleimung am Ende der Alterungsbeanspruchung das geringste Ausmaß an Delaminierungen aufwies, das auch nicht von der PUR-Verleimung erreicht worden ist. Alle anderen Verleimungen ließen ein sehr starkes Anwachsen des Delaminierungsgrades erkennen (vgl. Abb. 59).

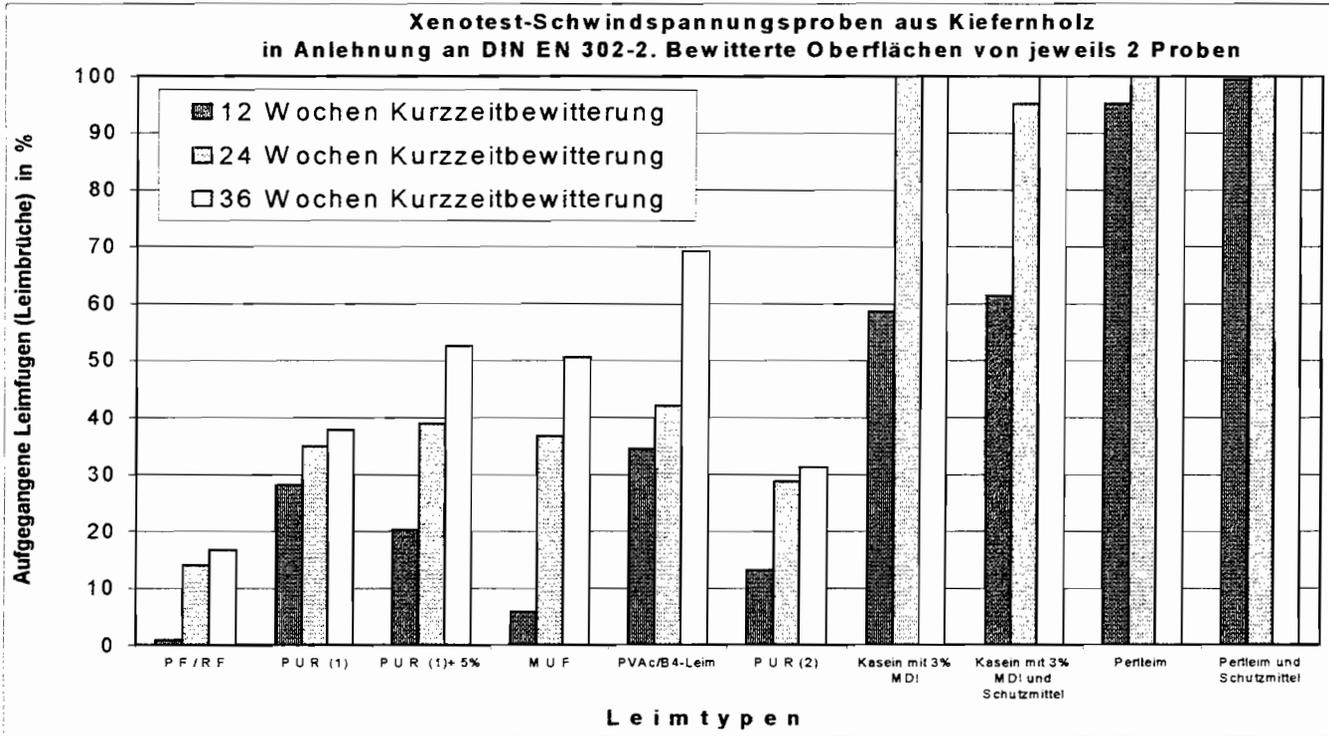


Abb. 58: Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben aus **Kiefernholz** nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeitbewitterung. Messbereich: Alle Fugen der bewitterten Oberflächen (2 Proben x 8 Fugen = 8 x 195 mm = 1560 mm)

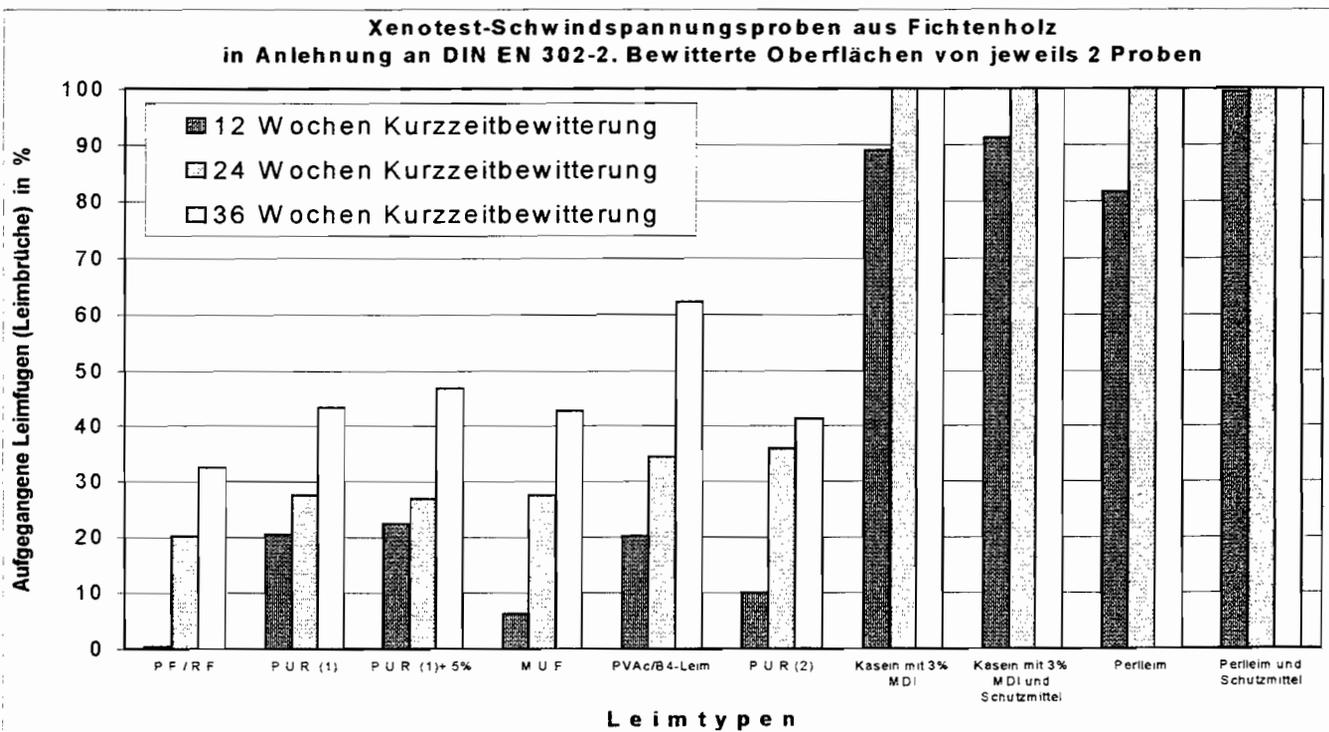


Abb. 59: Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben aus **Fichtenholz** nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeitbewitterung. Messbereich: Alle Fugen der bewitterten Oberflächen (2 Proben x 8 Fugen = 8 x 195 mm = 1560 mm = 100 %)

Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben			
Kiefernholz	12 Wochen Kurzzeitbewitterung	24 Wochen Kurzzeitbewitterung	36 Wochen Kurzzeitbewitterung
P F / R F	0,9	14,0	16,7
P U R (1)	28,1	34,9	37,8
P U R (1)+ 5%	20,3	38,9	52,6
M U F	5,8	36,8	50,6
P V A c / B 4-Leim	34,5	42,1	69,3
P U R (2)	13,1	28,8	31,2
Kasein mit 3% MDI	58,6	100,0	100,0
Kasein mit 3% MDI und Schutzmittel	61,4	95,1	100,0
Perleim	95,1	100,0	100,0
Perleim und Schutzmittel	99,4	100,0	100,0

Fichtenholz	12 Wochen Kurzzeitbewitterung	24 Wochen Kurzzeitbewitterung	36 Wochen Kurzzeitbewitterung
P F / R F	0,4	20,1	32,6
P U R (1)	20,4	27,6	43,3
P U R (1)+ 5%	22,4	26,9	46,9
M U F	6,1	27,5	42,8
P V A c / B 4-Leim	20,1	34,4	62,2
P U R (2)	9,9	35,9	41,3
Kasein mit 3% MDI	89,1	100,0	100,0
Kasein mit 3% MDI und Schutzmittel	91,3	100,0	100,0
Perleim	81,7	100,0	100,0
Perleim und Schutzmittel	99,4	100,0	100,0

Tab. 20: Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben aus **Kiefern- und Fichtenholz** nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeitbewitterung. Messbereich: Alle Fugen der bewitterten Oberflächen (2 Proben x 8 Fugen = 8 x 195 mm = 1560 mm = 100 %)

- **Bestimmung der Beständigkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten nach 12 Wochen Versuchsdauer (Prüfpilze: *Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum*).**

Der Untersuchung gegen holzerstörende Basidiomyceten mit den Prüfpilzen ***Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum*** wurden nur Proben der Verklebungen mit Kasein- und Perleim **mit** und **ohne** Holzschutzmittel (Preventol CMK) ausgesetzt.

Sowohl bei den geschützten Kasein-Proben mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen als auch bei den geschützten Perleim-Proben (0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen) war ein zum Teil deutlicher Schutzeffekt nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten festzustellen (vgl. Abb. 60 und 61, Tab. 21 sowie Abb. 62 bis 65, typisches Aussehen der Proben nach 12 wöchiger Pilz-Beanspruchung).

Die Masseverluste bei Beanspruchung mit beiden Prüfpilzen bewegten sich bei den ungeschützten Fichtenholz-Proben mit Kasein-Verleimung größenordnungsmäßig zwischen 23 bis 44 % und bei den Perleim-Proben aus Fichtenholz etwa zwischen 31 bis 49 % (0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen).

Bei den geschützten Kasein- und Perleim-Proben aus Fichtenholz wiesen 3 Verleimtypen (Kasein mit 0,1 mm bzw. 0,5 mm Leimfuge und Perleim mit 0,1 mm Leimfuge) bei der Beanspruchung mit dem Prüfpilz *Coniophora puteana* und 1 Verleimtyp (Kasein mit 0,5 mm Leimfuge) mit dem Prüfpilz *Gloeophyllum trabeum* keine signifikante Schutzwirkung auf.

Die anderen 3 Fichtenholz-Verleimtypen (Kasein mit 0,1 mm Leimfuge und Perleim mit 0,1 mm bzw. 0,5 mm Leimfuge, Prüfpilz *Gloeophyllum trabeum*) sowie der Verleimtyp Perleim mit 0,5 mm Leimfuge und dem Prüfpilz *Coniophora puteana* ließen deutliche Schutzwirkungen (etwa um die Hälfte weniger Masseverluste) gegenüber den ungeschützten Proben erkennen.

Bei den ungeschützten Kiefernholz-Proben aller Verleimtypen lagen die Masseverluste (zwischen 7 und 30 %, beide Prüfpilze) deutlich niedriger als bei den ungeschützten Fichtenholz-Proben.

Die geschützten Kasein- und Perleim-Proben aller Verleimtypen aus Kiefernholz ließen gegenüber den ungeschützten Kiefernholz-Proben zum Teil sogar sehr deutliche Schutzeffekte erkennen.

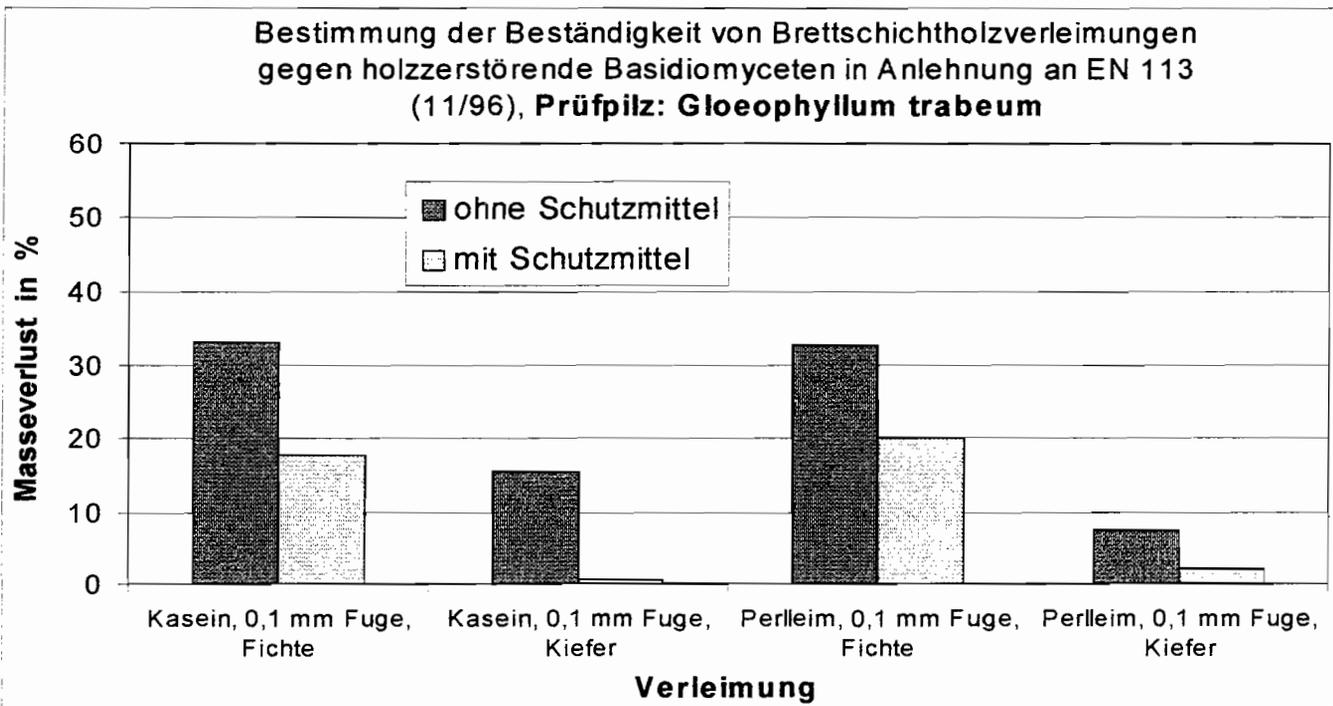
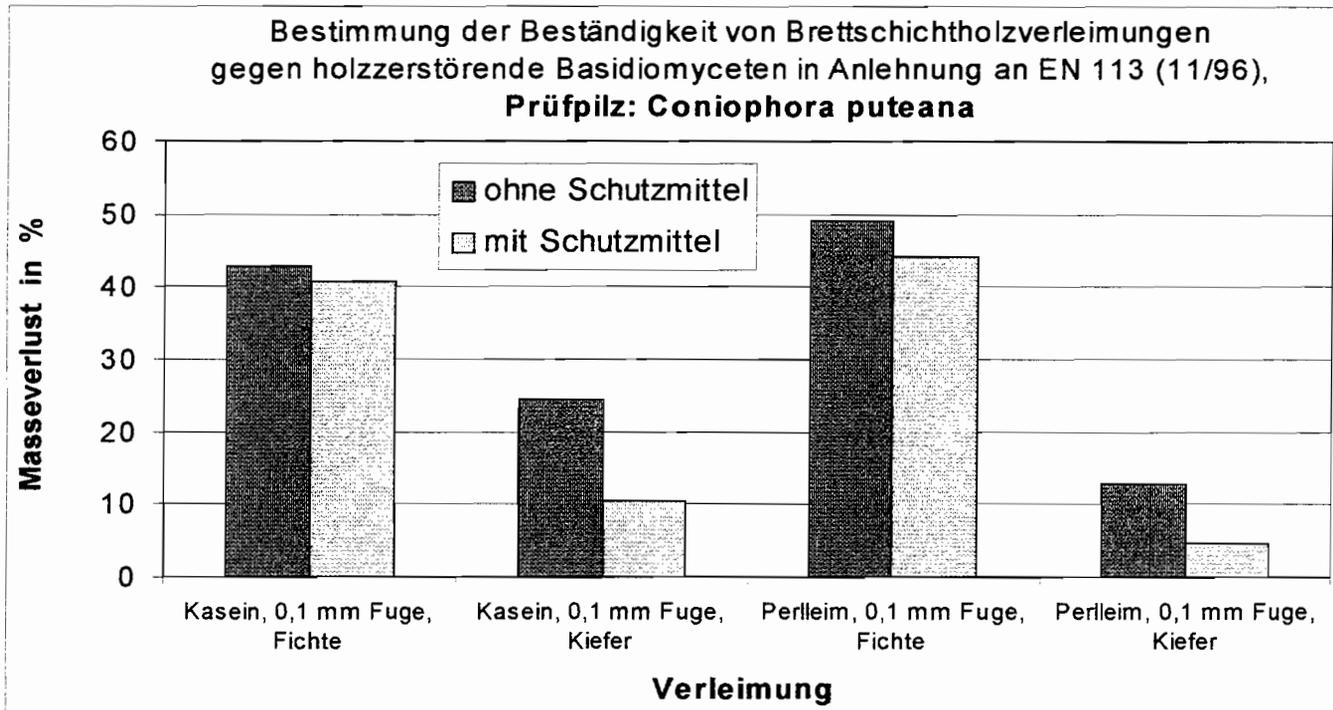


Abb. 60: Bestimmung der Beständigkeit von Brettschichtholzverleimungen gegen holzerstörende Basidiomyceten in Anlehnung an EN 113 (11/96), 0,1 mm dünne Leimfuge, Masseverlust in %, Abbau der Holzmasse.

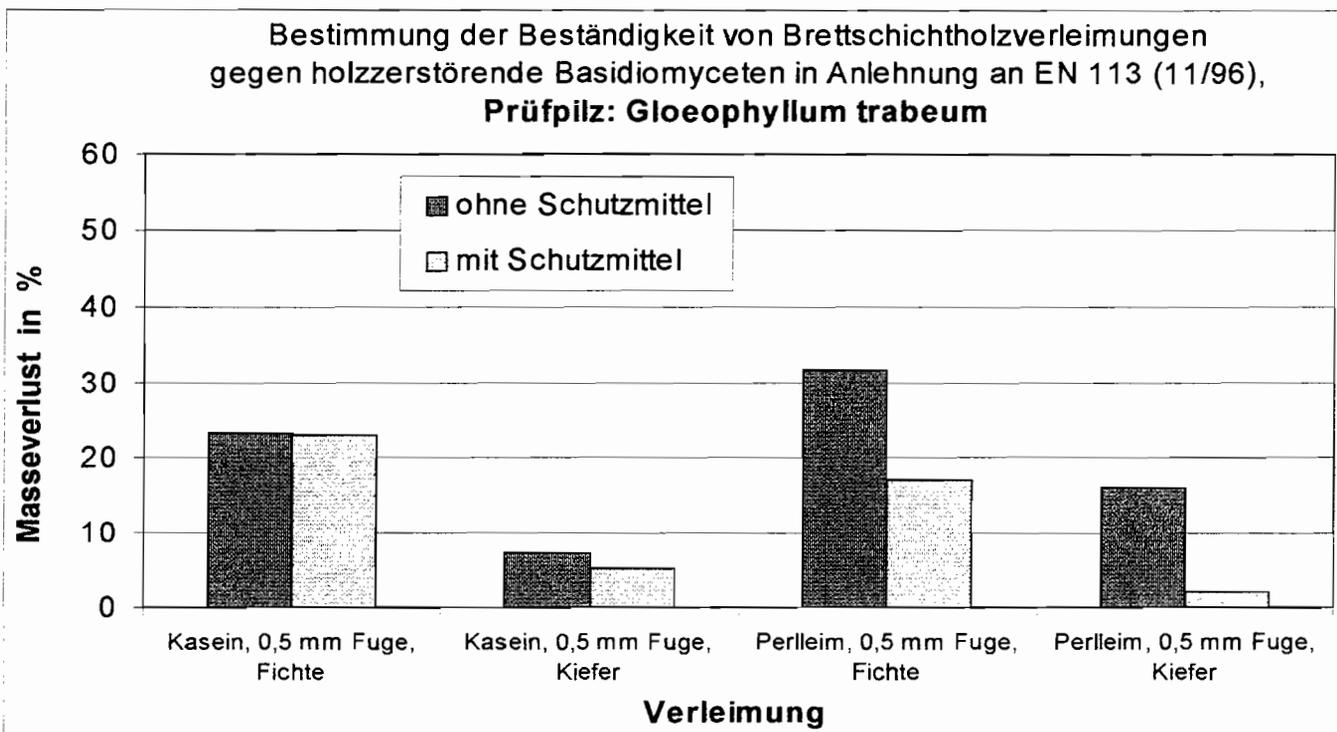
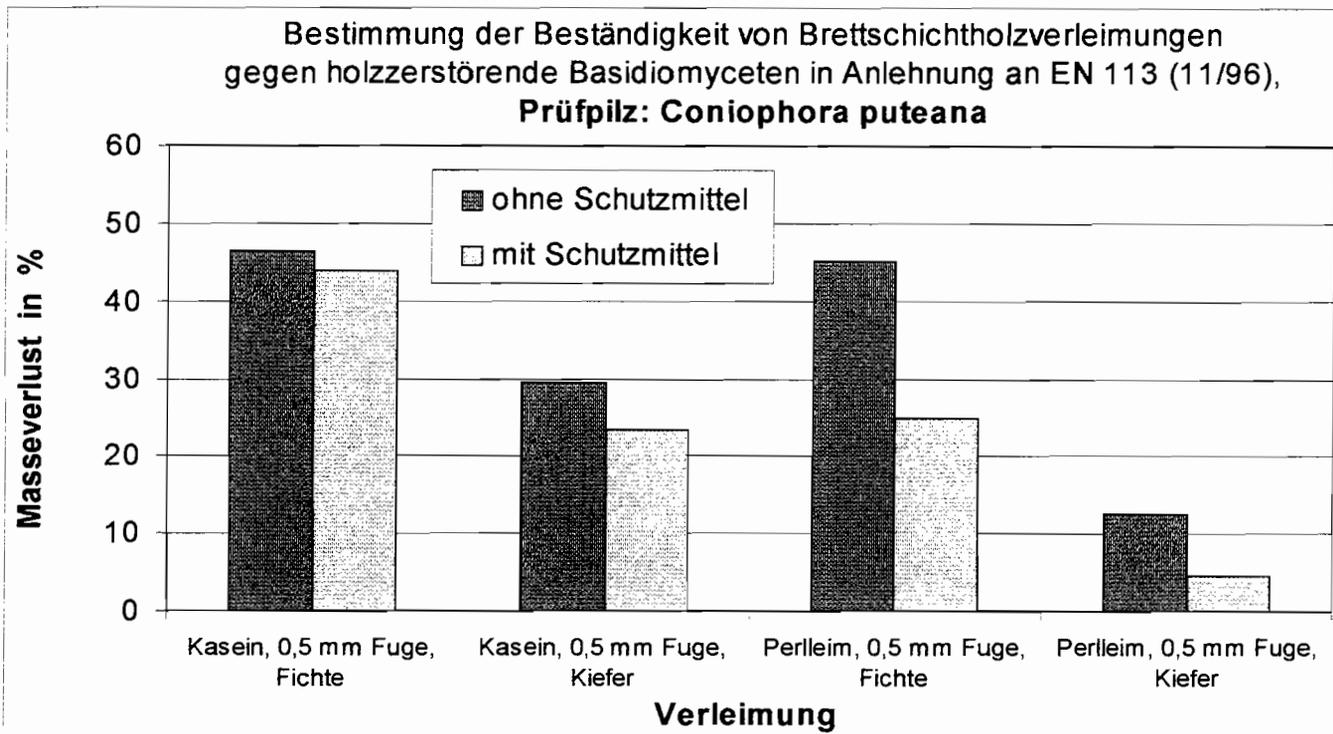


Abb. 61: Bestimmung der Beständigkeit von Brettschichtholzverleimungen gegen holzerstörende Basidiomyceten in Anlehnung an EN 113 (11/96), 0,5 mm dicke Leimfuge, Masseverlust in %, Abbau der Holzmasse.

Masseverlust in %, Abbau der Holzmasse		
	Prüfpilz: Coniophora puteana	Prüfpilz: Gloeophyllum trabeum
Kasein mit Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Fichte	40,81	17,78
Kasein ohne Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Fichte	42,85	33,02
Kasein mit Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Fichte	43,81	22,96
Kasein ohne Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Fichte	46,40	23,18
Kasein mit Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Kiefer	10,59	0,58
Kasein ohne Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Kiefer	24,35	15,50
Kasein mit Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Kiefer	23,42	5,24
Kasein ohne Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Kiefer	29,53	7,34
Perleim mit Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Fichte	44,07	20,08
Perleim ohne Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Fichte	49,07	32,77
Perleim mit Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Fichte	24,79	17,10
Perleim ohne Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Fichte	45,08	31,48
Perleim mit Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Kiefer	3,61	1,94
Perleim ohne Schutzmittel, 0,1 mm Fuge, Kiefer	12,94	7,42
Perleim mit Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Kiefer	4,63	2,17
Perleim ohne Schutzmittel, 0,5 mm Fuge, Kiefer	12,55	16,12

Tab. 21: Bestimmung der Beständigkeit von Brettschichtholzverleimungen nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten in Anlehnung an EN 113 (11/96), Masseverlust in %, Abbau der Holzmasse



Abb. 62: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Kaseinleim mit 3% MDI sowie ohne und mit Schutzmittel, Prüfpilz: *Coniophora puteana*



Abb. 63: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Kaseinleim mit 3% MDI sowie ohne und mit Schutzmittel, Prüfpilz: *Gloeophyllum trabeum*



Abb. 64: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Perleim ohne und mit Schutzmittel, Prüfpilz: *Coniophora puteana*



Abb. 65: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Perleim ohne und mit Schutzmittel, Prüfpilz: *Gloeophyllum trabeum*

Ausgehend von der Annahme, daß die Schutzwirkung in unmittelbarer Nähe der Leimfuge am besten ist (das Holzschutzmittel wurde der Leimflotte beigemischt), wurde besonders der Abbau beziehungsweise die befallene Breite an der Leimfuge nach der 12-wöchigen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten festgestellt.

Die Breitenabnahme im unmittelbaren Bereich der Leimfugen ist bei den geschützten Kasein- und Perleim-Proben gegenüber den ungeschützten Proben eindeutig geringer (vgl. Abb. 66 und Tab. 22).

Der Angriff der Basidiomyceten nach 12 Wochen ist bei der Breitenabnahme im unmittelbaren Bereich der Leimfugen – wo die Schutzwirkung am stärksten ist - geringer als es beim gesamten Masseabbau der Proben festgestellt wurde.

Die Unterschiede der Breitenabnahme zwischen den ungeschützten und geschützten Proben – bis auf die Perleim-Proben, die mit dem Prüfpilz *Gloeophyllum trabeum* beansprucht wurden – sind statistisch gesichert.

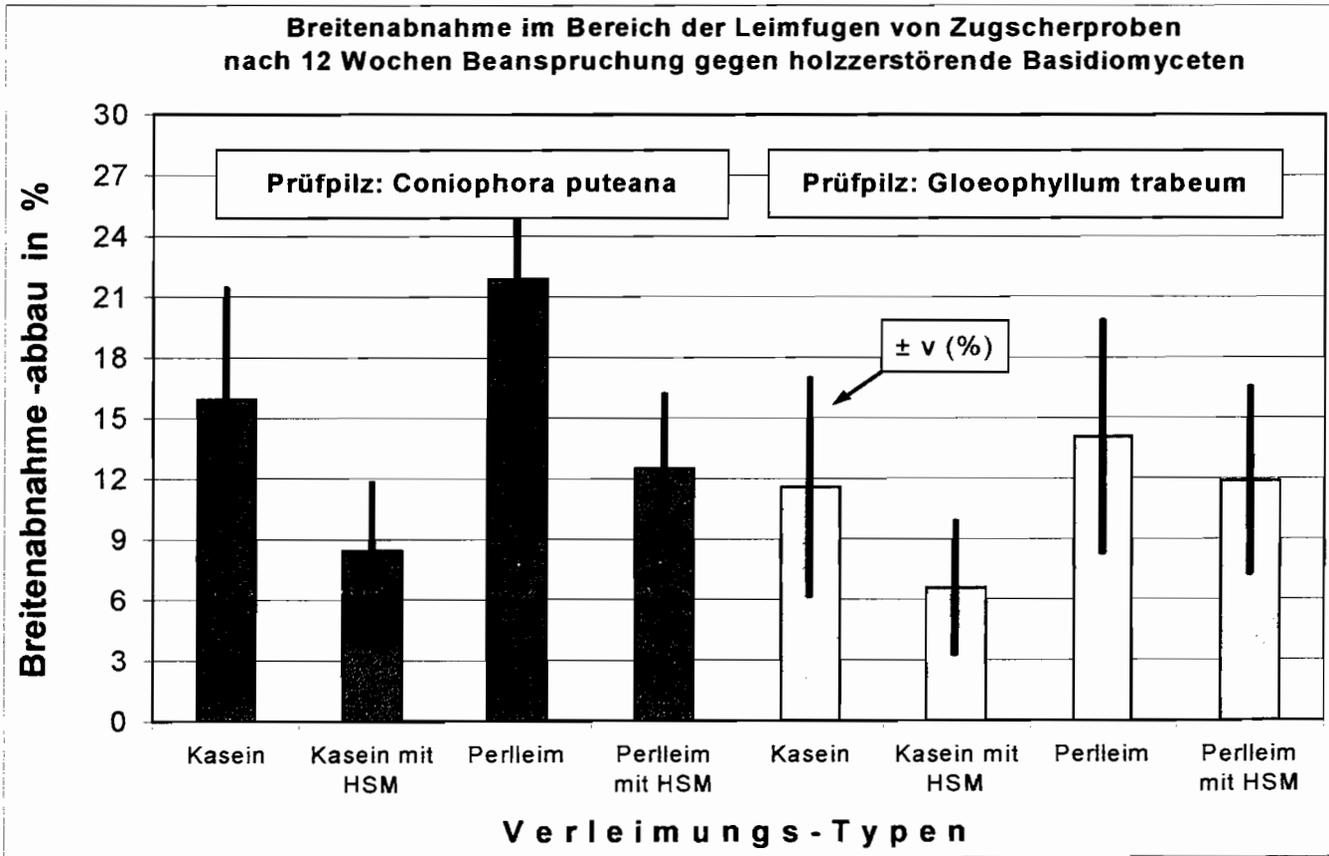


Abb. 66: Breitenabnahme im Bereich der Leimfugen von Zugscherproben nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten

Kiefern- und Fichtenholz verklebt mit: Kasein + 3 % MDI, Kasein + 3 % MDI + HSM, Perlleim, Perlleim + HSM Bestimmung der Beständigkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten nach 12 Wochen Versuchsdauer (Prüfpilze: Coniophora puteana und Gloeophyllum trabeum).								
Probenbreiten-Messung im Bereich der Leimfuge in mm								
Meßpunkt	Prüfpilze: Coniophora puteana				Prüfpilze: Gloeophyllum trabeum			
	Kasein	Kasein mit HSM	Perlleim	Perlleim mit HSM	Kasein	Kasein mit HSM	Perlleim	Perlleim mit HSM
1	17,0	19,0	16,0	17,0	19,0	19,0	18,0	19,0
2	15,0	18,0	15,0	17,0	19,0	19,0	18,0	19,0
3	16,0	18,0	16,0	17,0	19,0	19,0	17,0	18,0
4	17,0	19,0	16,0	19,0	19,0	19,0	16,0	18,0
5	17,0	18,0	16,0	18,0	18,0	19,0	19,0	18,0
6	17,0	18,0	16,0	17,0	17,0	19,0	18,0	18,0
7	18,0	18,0	16,0	18,0	17,0	19,0	18,0	18,0
8	18,0	18,0	16,0	17,0	18,0	19,0	18,0	18,0
9	16,0	19,0	15,0	18,0	18,0	17,0	18,0	17,0
10	16,0	18,0	15,0	18,0	18,0	18,0	17,0	17,0
11	16,0	18,0	16,0	18,0	17,0	19,0	16,0	16,0
12	16,0	17,0	16,0	18,0	16,0	18,0	16,0	18,0
13	17,0	18,0	15,0	17,0	17,0	19,0	17,0	17,0
14	17,0	19,0	16,0	17,0	17,0	19,0	16,0	17,0
15	18,0	19,0	15,0	17,0	17,0	19,0	16,0	17,0
16	18,0	19,0	15,0	17,0	17,0	18,0	17,0	17,0
x-quer	16,8	18,3	15,6	17,5	17,7	18,7	17,2	17,6
± s	0,9	0,6	0,5	0,6	0,9	0,6	1,0	0,8
± v (%)	5,4	3,3	3,2	3,6	5,4	3,2	5,7	4,6
Abbau in mm	3,2	1,7	4,4	2,5	2,3	1,3	2,8	2,4
Abbau in %	15,9	8,4	21,9	12,5	11,6	6,6	14,1	11,9
± v (%)	5,4	3,3	3,2	3,6	5,4	3,2	5,7	4,6

Tab. 22: Breitenabnahme im Bereich der Leimfugen von Zugscherproben nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten

7. Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauproduktennormen mit nationalen Bestimmungen" wurden die Teilprojekte:

1. "Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen im Kurzversuch nach internationalen Standards" und
2. "Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit"

bearbeitet.

Im Rahmen der Teilprojekte waren zwei Fragestellungen für Brettschichtholz zu überprüfen:

- a) Möglichkeiten zur Erweiterung der Leimpalette; und
- b) Welche Möglichkeiten bieten nationale und internationale Standards hinsichtlich einer Beurteilung der erzielten Eigenschaften aus bauaufsichtlicher Sicht.

Im Teilprojekt 1 wurden national und international übliche Kurzprüfverfahren auf ihre Aussagekraft hin näher untersucht. Hier war besonders zu prüfen, welche Resultate bei fehlender oder kurzer Alterung erzielbar sind. Zum Teilprojekt 2 wurden Alterungsverfahren zur Beurteilung verwendet, bei denen aufgrund umfangreicher und langwieriger Untersuchungen davon auszugehen ist, daß sie durch die Anwendung natürlich einwirkender Parameter Aussagen zum zu erwartenden Langzeitverhalten ermöglichen.

Bei Kurzprüfverfahren besteht grundsätzlich das Problem, daß sie infolge einer bestimmten Anordnung der Prüfparameter oftmals auf bestimmte Klebstoffe „zugeschnitten“ worden sind. Dies gilt namentlich bei Koch-Wechselagerungen. Sodann besteht weiterhin die Gefahr, daß aus Gründen der Zeitraffung bestimmte Anforderungen überhöht angewendet werden. Beide Aspekte könnten sich zu Behinderungen des technischen Fortschritts entwickeln. Alterungsverfahren weisen demgegenüber den Vorteil auf, daß die Prüfbedingungen den tatsächlich vorhandenen Einsatzbedingungen angepaßt werden können. Nachteilig ist indessen der mit der Prüfung verbundene Zeitaufwand.

Desweiteren mußten eine Reihe von Prüfparametern auf ihre Wirksamkeit hin untersucht werden. Zu nennen sind im einzelnen:

- Holzarten (Kiefern- und Fichtenholz)
- Prüfkörperformen (Normprüfkörper, Sonderprüfkörper für Zugscherfestigkeits- und Delaminierungsuntersuchungen)
- Leimflottenansätze (Modifizierungen, Mischharze, Streckmittelzugaben, Holzschutzmittelzugaben)
- Leimfugendicken (0,1 mm und 0,5 mm Fugendicken)
- Beleimung (Leimauftrag)
- Preßbedingungen u.a.m.

Entscheidend bei den untersuchten Leimharzen dürfte der Sicherheitsaspekt sein, da Brett-schichtholz häufig für tragende und aussteifende Bauteile eingesetzt wird oder eingesetzt werden soll. Deshalb sollte versucht werden, die zu erwartenden Belastungen bei den Prüfverfahren möglichst realistisch zu simulieren. Erreicht werden sollte durch diese Vorgehensweise:

- Eine Erfassung der durch fortschreitende Kondensation , beispielsweise Versprödung in der Leimfuge entstehende Schrumpfspannungen
und
- Simulierung der durch wechselnde klimatische Bedingungen ständig stattfindenden Verformungen des Holzes infolge von Quell- und Schwindbewegungen.

Beide Prozesse beeinflussen sich wechselseitig. Zusätzlich können Holzinhaltstoffe je nach Holz- und/oder Klebstoffart das Alterungsverhalten beeinflussen.

Für die Untersuchungen wurden insgesamt 6 Leime mit alles in allem 10 Varianten eingesetzt. Es waren dies die Grundharze: Phenoplaste, Polyurethane, Harnstoff-Melamin-Mischharz, Polyvinylacetat und die „Naturharze“ Kaseinleim als pflanzlicher Leim und Knocheneiweißleim als tierischer Leim. Hinsichtlich der erfolgten Modifizierungen wird auf Abschnitt 3.1 verwiesen. Das Ausmaß der Modifizierungen war durch entsprechende Vorversuche zu ermitteln (vgl. Abb. 3 und 4).

Die Untersuchungen zum Teilprojekt 1 basieren auf der Bestimmung der Zugscherfestigkeit und Delaminierungsprüfung bei einer Vorbehandlung durch verschiedene national und international übliche Verfahren. Es waren dies:

- Lagerungsfolge A5 gemäß DIN EN 302, Teil 1
- Der französische CTB-Test
- Der US-amerikanische ASTM-Test
- Der US-amerikanische WCAMA-Test
- Bestimmung der Delaminierung gemäß DIN EN 303, Teil 2 bzw. ASTM 1101-59

Bei den Alterungsverfahren im Teilprojekt 2 handelte es sich um:

- Das Xenotestverfahren (Deppe/Schmidt 1979) mit Bestimmungen der Zugscherfestigkeit nach erfolgter Alterung und der Delaminierung mit einer dafür entwickelten Xenotestprobe in Anlehnung an DIN EN 302, Teil 2 bzw. ASTM 1101-59
- Wechselklimalagerungen unter Last mittels Benutzung einer abgewandelten Kreuzscherprobe.

Im Teilprojekt 2 wurde ferner die Beständigkeit gegen einen Befall durch holzerstörende Basidiomyceten bei Schutzbehandlung untersucht.

Bei den Ausgangswerten zur Ermittlung der Zugscherfestigkeit im trockenen Zustand (vgl. Tab. 3) ist festzustellen, daß bei „dünnere Leimfuge“ (0,1 mm Fugendicke) Brettschichthölzer mit Verleimungen aus Kasein- und Knochenleimen über relativ hohe Festigkeitswerte verfügen, die sogar die Werte für Phenolharzverleimungen übertreffen.

Bei Anwendung von Prüfverfahren mit vorgeschalteten Behandlungen in Form von Koch- oder Feuchtwechsellagerungen beziehungsweise zusätzlich mit Temperaturbelastungen (DIN EN 302-1, CTB, ASTM, WCAMA) versagten alle Naturharzverleimungen (vgl. Tab. 4 bis 9). Allerdings scheinen die Vorbehandlungen bei CTB, ASTM und WCAMA milder zu sein als bei der Lagerungsfolge A5, da die MDI-modifizierte Kasein-Verleimung höhere Restfestigkeitswerte erreichte.

Das Verhalten der PF/RF- und PUR-Verleimungen bedarf einer gesonderten Betrachtung (vgl. Abb. 8 und 9). Bei „dünner Leimfuge“ weisen beide Verleimungen praktisch gleiche Trocken-Zugscherfestigkeitswerte auf. Bei Anwendung der Lagerungsfolge „A5“ (DIN EN 302-1) übersteigt das Festigkeitsniveau der Phenoplast-Verleimung dasjenige der PUR-Verleimung deutlich. Bei den anderen Vorbelastungen (CTB, ASTM, WCAMA) waren die Unterschiede bei Kiefern- und Fichtenholzverleimungen nicht eindeutig. Auffallend ist indessen, daß PUR-Verleimungen im Vergleich zu PF/RF-Verleimungen erhöhte Leimbruchanteile aufwiesen (vgl. Abb. 44). Bei den Delaminierungsprüfungen (DIN EN 303-2) erhärtete sich die dominierende Stellung der PF/RF-Verleimung (vgl. Abb. 12 und 13). Vermutlich bestehen zwischen den einzelnen PUR-Klebstofftypen Unterschiede hinsichtlich der erreichbaren Qualität der Verleimungen, die einer genaueren Untersuchung bedürfen.

Bei Betrachtung der Resultate der Zugscherfestigkeit sind die Ergebnisse bei Leimfugendicken von 0,1 mm (dünne Leimfuge) entscheidend. Bekanntlich sind dünne Leimfugen technisch wesentlich besser beherschar. Hier wird deutlich, daß PUR-Verleimungen gegenüber PF/RF-Verleimungen einen gesicherten Festigkeitsrückgang gegenüber Phenoplastverleimungen bei Vorbehandlung gemäß DIN EN 302-1, Lagerungsfolge A5 aufweisen (Abb. 15 und 16). Überraschenderweise ist dies jedoch auch bei CTB-Vorbehandlung erkennbar (vgl. Abb. 19 und 20). Beim ASTM-Test sind die Ergebnisse im Hinblick auf die Beurteilung der PUR-Verleimung nicht eindeutig (vgl. Abb. 27 und 28). Gleiches gilt für den WCAMA-Test (Abb. 35 und 36). Bei Xenotest-Alterung (Abb. 39 und 41) ist bei der PUR (1)-Type ein kontinuierlicher Festigkeitsabfall auch nach 48 Wochen noch vorhanden, während beim PUR (2)-Typ eine Stabilisierung vorliegt. Daraus könnte man folgern, daß anscheinend die Langzeitstabilität bei PUR-Verleimungen abhängig von der Leimtype ist.

In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß PUR-Verleimungen generell beim Dauerstandverhalten stärkere Verformungen erkennen lassen als PF/RF-Verleimungen. Dies bedarf ebenfalls noch einer genaueren Untersuchung. MUF- und PVAc-Verleimungen wiesen bei Xenotest-Alterung einen kontinuierlich fortschreitenden Festigkeitsabfall auf, der bei der PVAc-Verleimung sehr schnell begann (vgl. Abb. 39 bis 42). Dies korrespondierte auch mit der schnell wachsenden Größenordnung der Leimbruchanteile (vgl. Abb. 44). Überraschend ist das relativ gute Abschneiden der MUF-Verleimung sowohl beim Verlauf der Kurzzeitbewitterungs-Alterung im Hinblick auf den Festigkeitsabfall bei der Zugscherfestigkeit (vgl. Abb. 39 bis 42), als auch bei der Entwicklung des Leimbruchanteiles (vgl. Abb. 43, Foto).

Innerhalb der untersuchten Leimpalette ergab sich eine Reihung hinsichtlich der Größenordnung der festgestellten Leimbruchanteiles ausgehend von gering bis hoch wie folgt: PF/RF – MUF – PUR – PVAc – Kaseinleim – Knochenleim.

Bei Zugrundlegung des Faseranteiles beim Leimbruch fiel auf, daß die PUR (1)- und die PVAc-Verleimung die geringsten Anteile besaßen, d. h., hier erfolgte das Nachlassen überwiegend innerhalb der Leimfugenflächen. Hingegen erreichten die PF/RF-Verleimungen den höchsten Wert an Holzfaserbelag, der im Sinne der Verleimungstechnik als positiv zu bewerten ist (vgl. Abb. 46 und 47). Eine analoge Reihung ergab sich auch bei Dauerstandversuchen unter Last mit Hilfe einer abgewandelten Kreuzscherprobe (vgl. Abb. 48 bis 51). Auch hier war das vorstehend erwähnte Resultat am optischen Erscheinungsbild ablesbar (vgl. Abb. 52 bis 54, Fotos).

Aus den Untersuchungsergebnissen zur Delaminierung mit der Xenotestprobenform (vgl. Abb. 58 und 59) wird erkennbar, daß bei Beurteilungen von Verleimungen mehrere Prüfmethoden anzuwenden sind. Das an sich positive Resultat der MUF-Verleimungen bei Kurzwitterungs-Alterung (vgl. Abb. 39 bis 42) wird relativiert, da beim Delaminierungstest sich die Wertungsreihe hinsichtlich Verleimungsqualität für die einzelnen Klebstoffe ändert, indem sie nunmehr lautet: PF/RF – PUR – MUF – PVAc – Kaseinleim – Knochenleim. Die PF/RF-Referenz-Verleimung ergab mit Abstand das geringste Ausmaß an Delaminierungen (vgl. Abb. 58 und 59 sowie Tab. 20).

Durch die Einarbeitung eines Holzschutzmittels im Untermischverfahren konnte bei Verleimungen mit Naturharzen ein ausreichender Schutz des Brettschichtholzes im Bereich der Leimfugen erreicht werden. Bei Prüfung gemäß DIN EN 113 (11/96) war dies anhand des Masseverlustes überprüfbar (vgl. Abb. 60 und 61), wobei erwartungsgemäß die Verleimungen mit Kiefernholz sich als widerstandsfähiger erwiesen (vgl. Tab. 21). Die Schutzwirkung erstreckte sich naturgemäß vorwiegend auf den Bereich der Leimfugen und ihrer unmittelbaren Umgebung (vgl. Abb. 62 bis 65, Fotos). Dies läßt sich auch aus dem Ausmaß der befallenen Probenbreite ablesen (vgl. Abb. 66 und Tab. 22), wo sich besonders bei den geschützten Kaseinverleimungen eine Reduzierung der befallenen Fläche um annähernd 50 % ergab.

Die Untersuchungen (Wilke 1998) nach Kurzprüfverfahren (Teilprojekt 1) im Rahmen dieses Vorhabens erbrachten zusammenfassend folgende Resultate:

Die Naturharze, namentlich Verleimungen auf Knocheneiweiß- oder Blutalbuminbasis wiesen bei kurzzeitigen Einwirkungen von Feuchte, Wärme und Kälte deutliche Schwächen auf, beziehungsweise versagten völlig.

Hingegen war bei den Untersuchungen der Zugscherfestigkeit im unbehandeltem Zustand (trocken) ersichtlich, daß Naturharze in der Tendenz teilweise deutlich bessere Werte aufwiesen als die Kunstharzverleimungen.

Bezieht man den späteren Verwendungsprozeß in die Überlegungen mit ein, so ist davon auszugehen, daß die Prüfung im trockenen Zustand allein kein ausreichender Maßstab sein kann. Solange Brettschichtholzverleimungen nicht direkter Außenbeanspruchung ausgesetzt sind und in nicht feuchten Innenräumen, z. B. Bäder verwendet werden, kann man davon ausgehen, daß sie über eine ausreichende Dauerfestigkeit verfügen. Indessen ist beim Einsatz im Holzbau, z. B. Dächer damit zu rechnen, daß die Brettschichthölzer unter bestimmten Bedingungen in der Praxis Feucht- und Kälteeinflüssen ausgesetzt sind. Die Knocheneiweißverleimungen (Perleim) sind deshalb problematisch, weil bekanntlich beim Leimflottenansatz die Perlen zuerst in Wasser gelegt werden. Nachdem sie aufgequollen sind, werden die Perlen in einem Wasserbad bei 70-80°C verflüssigt. Daraus ist die Gefahr erkennbar, daß sich die Leimfuge bei Einwirkung von Feuchte und Wärme erneut auflösen muß.

Bei den durchgeführten Kurztestverfahren und Delaminierungsprüfungen waren die Proben mit Perleimverleimung immer einer Feuchtebeanspruchung sowie Temperaturen > 70°C ausgesetzt. Daraus leitet sich ab, daß Perleimverleimungen für den angestrebten Einsatzzweck (Denkmalpflege, Holzleimbau) ein Sicherheitsrisiko darstellen.

Bei dem anderen eingesetzten Naturklebstoff (Kaseinleim) ergaben sich nach den durchgeführten Test-Verfahren ähnliche Schlußfolgerungen. Trotz der Modifizierung des Kaseinleimes mit 3% MDI gelang es nicht, die vorhandenen Sicherheitsrisiken abzubauen. Die Kaseinproben wiesen nur bei der Trockenfestigkeits-Prüfung ohne Vorbehandlung zufriedenstellende Festigkeitswerte auf. Dies kann aber, wie beim Perleim bereits erläutert, keine ausreichende Grundlage für die spätere Anwendung sein, bei der oftmals Feuchte- und Wärmebeanspruchungen auftreten werden.

Bei den Delaminierungsversuchen lagen die Werte für die modifizierten Kaseinproben mit und ohne Schutzmittel in ähnlichen Bereichen, wie bei den Kurztestverfahren. Innerhalb der einzelnen Delaminierungsbeanspruchungen schwankten die Werte erheblich. So waren die Delaminierungen beim Belastungstyp 1, d. h. schnelle Trocknung bei hoher Temperatur, erwartungsgemäß wesentlich größer als beim Typ 2 (langsame Trocknung bei niedriger Temperatur).

Beim Typ 1 wiesen die Kaseinproben mit Schutzmittelzusatz höhere Werte auf als die Kaseinproben ohne Schutzmittel. Dahingegen verschob sich das Verhältnis bei langsamer Trocknung (Typ 2) zugunsten der Proben mit Holzschutzmittelzugabe. Orientierende Untersuchungen zur Beständigkeit gegen Schimmelbefall (MPA-Brandenburg) lassen erkennen, daß die gewählte Dosierung zur Pilzbehandlung ausreichend ist. Die Feuchtebeständigkeit der Kaseinverleimung wurde hierdurch nicht verbessert.

Bei den Verleimungen mit den Kunstharzen PF/RF und PUR waren bei beiden Lagerungsfolgen der Delaminierungsprüfung (22 h bei 65°C = Typ 1 und 91,5 h bei 28°C = Typ 2 nach DIN EN 302, Teil 2) die Ergebnisse für die Verleimungen mit Kiefernholz eindeutig schlechter als bei den Verleimungen mit Fichtenholz. Besonders die PUR-Verleimungen der Kiefer waren wesentlich schlechter. Dieses Ergebnis deckt sich mit Untersuchungen der BFH (1995). Dort wurde festgestellt, daß die Dichte des Holzes einen dominanten Einfluß auf die Delamination des Holzes hat. So wiesen Hölzer mit hoher Rohdichte stärkere Delaminationen der Leimfugen auf. Deshalb sind bei der Kiefer im Vergleich zur Fichte tendenziell schlechtere Resultate zu erwarten.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei der Delaminierungsprüfung war im Vergleich mit den Trocken-Zugscherprüfungen erkennbar, daß in der Tendenz bei der Kiefer höhere Zugscherfestigkeitswerte vorhanden waren. Dies läßt sich auf die höhere Dichte des Kiefernholzes zurückführen. Bei der Delaminierung hingegen führt diese Eigenschaft zu schlechteren Werten. Bei der Kiefer führt eine höhere Dichte demzufolge zu einer Verbesserung der Leimfugenfestigkeit.

Bei einem Vergleich der Kurztestverfahren waren auch bei den Naturharzverleimungen bei der Kiefer bessere Zugscherfestigkeitswerte als bei der Fichte zu erreichen. Bei den Kunstharzen PF/RF und PUR waren zwischen den Werten bei Kiefern- und Fichtenholz keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zugscherfestigkeitswerten erkennbar. Fichtenbrettschichtholz mit PF/RF-Verleimungen ergab generell bessere Werte als die gleichen Verlei-

mungen mit Kiefernholz. Dies Bild ändert sich auch innerhalb der Leimfugendicken (0,1 und 0,5 mm) nicht.

Der PUR-Klebstoff ergab bei Verleimungen von Kiefernholz die besseren Zugscherfestigkeitswerte. Daraus ist abzuleiten, daß das Vorkommen von Holzinhaltsstoffen (Harzen) in der Kiefer sich nicht besonders nachteilig bei Verleimungen mit PUR-Klebstoffen auswirken muß.

Hingegen waren bei der Fugenempfindlichkeit mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Leimfuge - insbesondere beim Perlleim - Schwächen zu erkennen. Bei der dicken Leimfuge war erwartungsgemäß ein höherer Anteil an reinen Leimbrüchen feststellbar. Besonders bei der Verklebung mit dem PUR-Leim war dieser Anteil im Vergleich zur PF/RF-Verleimung hoch.

Die Untersuchungsergebnisse zum Teilprojekt 2 ergänzen die Resultate aus dem Teilprojekt 1. Wichtig war bei der Beurteilung der Kurzzeitwitterungs-Alterung, ob sich im Laufe der Zeit bei den fortlaufenden Beanspruchungen der Leimfuge allmählich eine Stabilisierung beim Festigkeitsniveau einstellt. Bei den Phenoplast-Verleimungen war dieser Zustand nach rund 36 Wochen Beanspruchung erreicht. Das gleiche war in der Tendenz auch bei der PUR (2)-Verleimung der Fall. Bei der PUR (1)-Verleimung verbleiben hier Zweifel. MUF, PVAc, Kasein- und Knocheneiweiß-Verleimungen versagten hingegen eindeutig.

Hinsichtlich des Ausmaßes der Leimbruchanteile als weiterem Beurteilungskriterium neben der Zugscherfestigkeit ergab sich, daß die Anteile bei PF/RF und MUF etwa in gleicher Größenordnung vorlagen, bei den PUR-Verleimungen jedoch höher aufgetreten waren. Korrespondierend hierzu waren die Anteile bei Leimbruch mit Holzfaserbelag bei PUR-Verleimungen tendenziell niedriger. Ähnlich fiel das Untersuchungsergebnis bei Anwendung einer abgewandelten Kreuzscherprobe unter Last aus. Hier erwies sich die Phenoplastverleimung als überaus stabil, gefolgt von der PUR-Verleimung. Auch hier war das Beurteilungskriterium der prozentuale Leimbruchanteil in Form der kumulativen Häufigkeit (Abb. 48 bis 51). Bei „dünner“ Leimfuge (0,1 mm Fugendicke) waren Phenoplast- und PUR-Verleimungen als gleichwertig einzustufen. PVAc-, Kasein- und Knocheneiweiß-Verleimungen versagten hingegen vollständig. MUF- und PUR (2)-Verleimungen nahmen eine Mittelstellung ein.

Bei den Delaminierungsprüfungen ergaben sich übereinstimmend mit den vorherigen Wertungen ähnliche Resultate, indem auf der Basis der aufgegangenen Leimfugen, ausgehend von der Verleimung mit dem geringsten Rißbildungsanteil, folgende Reihung sich ergab:

PF/RF-, PUR (2)-, PUR (1)-, PUR (1 gestreckt)-, MUF-, PVAc-, Kasein-, Knocheneiweiß-Verleimungen, wobei zwischen den Naturharzenverleimungen mit und ohne Holzschutzmittelzugabe keine Unterschiede feststellbar waren.

Die Untersuchungen erbrachten für die praktische Anwendung folgende Schlußfolgerungen:

- Die Anwendung von Naturharzverleimungen auf der Basis von Kasein oder Knocheneiweiß, auch in modifizierter Form, stellt bei der Anwendung von Brettschichtholz im bauaufsichtlichen Bereich ein hohes Sicherheitsrisiko dar.
- Nur wenn auf Dauer gewährleistet ist, daß die Materialfeuchte eine Größenordnung von 12% nicht übersteigt, d. h., im Innenbereich stets die Bedingungen der Anwendungsklasse 20 eingehalten werden, kann der Einsatz von Brettschichtholz mit Naturharz-Verleimungen für statisch bedeutsame Teile für zulässig eingestuft werden.
- Die vorstehende Wertung ergibt sich übereinstimmend sowohl nach Anwendung nationaler Codes (Lagerungsfolge A 5, DIN EN 302) als auch internationaler Prüfcodes (CTB, ASTM, WCAMA).
- PVAc-Verleimungen bergen gewisse Sicherheitsrisiken in sich, da sie insbesondere bei Alterungsbelastungen Festigkeitsverluste aufwiesen.
- MUF-Verleimungen sind hinsichtlich ihrer Qualität nach mehreren Prüfverfahren zu untersuchen. Während sie im Kurzversuch bei Schnellalterungen teilweise zufriedenstellende Werte aufwiesen, ließen sie bei länger einwirkender Alterung unter Einschluß hoher Feuchtebelastung signifikante Festigkeitsverluste erkennen. Demzufolge erreichen sie nicht das Maß an Sicherheit wie es bei Phenoplast-Verleimungen und auch bei einigen PUR-Verleimungen vorliegt.
- Modifizierungen und auch Schutzmittelzugaben erbringen keine Änderungen im Beständigkeitsprofil bei Naturharz-Verleimungen.

8. Kurzfassung des Vorhabens

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauproduktennormen mit nationalen Bestimmungen“ wurden zwei Teilprojekte bearbeitet (Teilprojekt 1: "Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen im Kurzversuch nach internationalen Standards" und Teilprojekt 2: "Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH)-Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit").

Für die Untersuchungen wurden 6 Harze mit 10 Varianten verwendet. Als Referenzverleimung diente eine alkalisch härtende PF/RF-Verleimung. PUR-Leime in unterschiedlicher Modifikation, MUF als Mischharzkondensations-Verleimung, PVAc als thermoplastischer Leim und Kasein- sowie Knocheneiweißleime als pflanzliche und tierische Naturleime.

Die Untersuchungen zum Teilprojekt 1 basierten auf der Bestimmung der Zugscherfestigkeit und Delaminierungsverhaltens. Vorbehandlungen erfolgten nach nationalen Codes (Lagerungsfolge A5, DIN EN 302-1; DIN EN 302-2) und nach internationalen Codes (CTB-, ASTM- und WCAMA-Test; ASTM 1101-59). Beim Teilprojekt 2 wurden Vorbehandlungen in Form von Schnellalterungen (Xenotest-Kurzzeitbewitterung mit Ermittlung des Verlaufes der Zugscherfestigkeit und des Delaminierungsverhaltens, Wechselklimalagerungen unter Last bei Verwendung einer abgewandelten Kreuzscherprobe) durchgeführt.

Ferner wurde überprüft, ob eine Schutzbehandlung gegen einen Befall durch holzerstörende Basidiomyceten zu einer Eigenschaftsverbesserung im Sinne des Langzeitverhaltens infolge einer Feucht-Wärme-Wechselagerung führt.

Die Untersuchungsergebnisse zum Teilprojekt 1 erbrachten den Nachweis, daß Naturharz-Verleimungen über hohe Zugscherfestigkeitswerte im trockenen Zustand verfügen. Bei allen üblichen Vorbehandlungen bei nationalen und internationalen Codes versagen Naturharze völlig. Hinsichtlich der Höhe der erzielten Restfestigkeiten ergab sich folgende Reihung: PF/RF - PUR - MUF - PVAc - Kaseinleim - Knocheneiweißleim. Allerdings ist darauf aufmerksam zu machen, daß diese Wertungsskala nur bei Einbeziehung der Delaminierungsprüfungen aufgestellt werden konnte. Die Anwendung nur eines Prüfverfahrens (z. B. AW 100-Test) reichte hierfür nicht aus. Bekanntlich erfolgt bei Anwendung von Kochwechsellagerungen eine Nachhärtung bei Phenoplasten.

Die Untersuchungsergebnisse zum Teilprojekt 2 vermeiden beispielsweise bei der Xenotest-Kurzzeitbewitterung auf Grund von den tatsächlich gegebenen Einflußfaktoren abgeleitete Belastungen einseitige Beanspruchungen in Form von Kochwechsellagerungen u.a.m. Die Ergebnisse verweisen darauf, daß beispielsweise bei PUR-Leimtypen Unterschiede vorhanden sind, die noch einer Klärung bedürfen. Sie korrespondierten desweiteren mit positiven Bewertungen bei MUF-, PVAc- und Kasein-Verleimungen in Kurzprüfungen. In gleicher Weise wurden die Ergebnisse mit der Kurzzeitbewitterungs-Alterung durch die Klimawechselbeanspruchungen unter Last unter Verwendung der abgewandelten Kreuzscherprobe bestätigt. Hier ergab sich in der Tendenz eine gleiche Bewertung. PVAc- und Naturharz-Verleimungen versagten in gleicher Weise. Die Delaminierungsprüfungen ließen darüber hinaus erkennen, daß die Schutzbehandlung mit einem Holzschutzmittel im Untermischverfahren keinen Einfluß auf die Langzeitbeständigkeit besitzt.

Das Untersuchungsergebnis läßt sich wie folgt zusammenfassen:

- Naturharz-Verleimungen stellen nach den Anforderungen der Bauaufsicht im Hinblick auf den Einsatz von Brettschichtholz für tragende und aussteifende Zwecke ein Sicherheitsrisiko dar. Dies haben übereinstimmend Untersuchungen nach nationalen und internationalen Codes mit Kurzprüfverfahren als auch ergänzenden Schnellalterungsprüfverfahren ergeben.
- Auch PVAc- und MUF-Verleimungen genügen den Sicherheitsanforderungen nur unzureichend. Vor allen im Hinblick auf das Langzeitverhalten bestehen erhebliche Bedenken.
- Phenoplast-Verleimungen (alkalisch härtend) und eine PUR-Verleimung weisen bei allen Untersuchungsverfahren ein hohes Maß an Beständigkeit auf. Indessen sind bei PUR-Verleimungen noch Fragen offen, denn zwischen den untersuchten PUR-Typen waren Unterschiede beim Festigkeitsverhalten erkennbar. Auch der relativ hohe Anteil an Leimbruchflächen gibt in einigen Fällen zu denken. Auch scheint das Dauerstandverhalten bei PUR-Verleimungen weniger günstig zu sein, als bei Phenoplasten. Die getroffenen Aussagen gelten indessen nur für alkalisch härtende Phenoplast-Verleimungen. Hinsichtlich der Anwendung von sauer härtenden PF-Systemen sind ergänzende Untersuchungen erforderlich.
- Die Untersuchungsergebnisse weisen ferner darauf hin, daß die Anwendung ausschließlich von Kurzprüfverfahren für die Beurteilung von Brettschichtholz-Verleimungen nicht

ausreichend ist. Dazu ist die Auswahl der Prüfparameter vielfach zu einseitig, wodurch die erreichbare Objektivität begrenzt ist. Als Beispiel sei auf die PUR-Verleimung verwiesen, die in einigen Fällen eine zu negative Bewertung erfahren hatten, wohingegen MUF zunächst zu positiv beurteilt wurde. Erst durch ergänzende Anwendung von Schnellalterungs-Prüfverfahren konnten die Aussagen präzisiert werden.

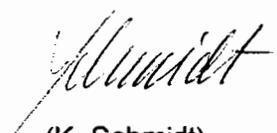
- Im weiteren Verlauf sollten Untersuchungen zur Beurteilung von Brettschichtholz-Verleimungen durch Dauerstandmessungen bei definiertem Wechselklima ergänzt werden, da möglicherweise die Gefahr eines „Kriechens“ der Leimfugen in Abhängigkeit von der Zeit besteht.
- Da der Stand der Normung bislang im Hinblick auf die Beurteilung von Brettschichtholz-Verleimungen als noch nicht ausreichend eingestuft werden muß, wäre es sinnvoll diesbezügliche Untersuchungen dergestalt durchzuführen, daß neben Kurzprüfverfahren auch Schnellalterungsprüfverfahren eingesetzt werden.

Berlin/Eberswalde, den 15. November 1999

Im Auftrage



(H.-J. Deppe)



(K. Schmidt)

V e r z e i c h n i s s e

Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

9. Literaturverzeichnis

- ANONYMUS (1996): Holz - ein Rohstoff der Zukunft. Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz, Düsseldorf
- BASF Ratgeber Holzverleimungen : Ludwigshafen, (1963)
- Deppe, H.-J.; Stolzenburg, R.; Schmidt, K. 1976: Prüfung und Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Holzspanplatten durch Kurzbewitterungsverfahren. Holz Roh- und Werkstoff 34, 379-384.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1979: Vergleichende Lang- und Kurzzeitprüfungen an Holzwerkstoffen. Holz Roh- und Werkstoff 37, 287 – 294.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1982: Zur Beurteilung von Holzwerkstoffen im Kurzzeit-Bewitterungsversuch Teil 1, Holz Roh- und Werkstoff 40, 471 – 473.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1983: Zur Beurteilung von Holzwerkstoffen im Kurzzeit-Bewitterungsversuch Teil 2, Holz Roh- und Werkstoff 41, 13 – 19.
- Deppe, H.-J., 1991: Untersuchungen an Holzverleimungen mit Phenol-Formaldehydharzen. Holz-Zbl. 117 (77):1270.
- Deppe, H.-J., 1991: Vergleichende Untersuchungen an Holzverleimungen. Adhäsion 35 (10): 32-35, Teil 1 und 35 (11): 40, Teil 2
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1994: Ergänzende Untersuchungen zum Alterungsverhalten getreckter Holzmontageverleimungen. Holz Roh- und Werkstoff 52, 335 - 360.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1995: Orientierende Untersuchungen zur Verleimung von harzreichem Kiefernholz, Holz Roh- und Werkstoff 53, 243 - 247.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1996: Kurzzeitalterungen bei plattenförmigen Werkstoffen, Holz Roh- und Werkstoff 54, 403 - 406.
- Egner, K., 1952: Sichtbarmachung von Faserschädigungen durch sauer ausgehärtete Kunstharzleime Holz-Zbl. 78 (135): 1857.
- Knuchel, H., 1954: Das Holz. Verlag H.R. Sauerländer & Co. Aarau und Frankfurt am Main.
- Kollmann, F., 1982: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Müller, A., 1954: Die Gefahr der Holzschädigung bei Phenolkaltleimen. Z.-VDI 96 (14): 410.
- Niemz, P., 1993: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Nikitin, N.-I., 1955: Die Chemie des Holzes. Akademie-Verlag, Berlin.

- Plath, E., 1963: Traschenbuch der Kitte und Klebstoffe, 4. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m.b.H., Stuttgart.
- Seifert, K., 1960: Angewandte Chemie und Physikochemie der Holztechnik. VEB-Fachbuchverlag Leipzig.
- Solchi, I., 1957: Über die Säurebeschädigung von Holz bei der Verleimung mit Phenolharzleimen. Holz R.u.W. 15 (6): 261.
- Wilke, S., 1998: Diplomarbeit, Vergleichende Untersuchungen an Brettschichtholz (BSH) Verleimungen mit Natur- und Kunstharzen im Kurzzeitversuch nach internationalem Standard. Fachhochschule Eberswalde.
- Zeppenfeld, G., 1991: Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie. Fachbuchverlag Leipzig.

10. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Stoffliche Einteilung der Holzklebstoffe nach ZEPPENFELD (1991)
- Abbildung 2: Bestimmung der Delaminierung mit Autoklv (BAM – Berlin)
- Abbildung 3: Naßzugscherfestigkeitswerte (EN 302-1) bei verschiedenen Leimtypen zur Ermittlung der Wirkung von Modifizierungen mit emulgierbaren Iso-cyanatklebstoffen nach Kochbeanspruchung
- Abbildung 4: Naßzugscherfestigkeitswerte (EN 302-1) bei verschiedenen Leimtypen zur Ermittlung der Wirkung von Modifizierungen mit emulgierbaren Iso-cyanatklebstoffen nach Vorbehandlung
- Abbildung 5: Überlappte Zugscherfestigkeitsprüfkörper gemäß DIN EN 302,1
- Abbildung 6: Zugscherproben
- Abbildung 7: Delaminierungsproben
- Abbildung 8: Zugscherfestigkeit von PF- bzw. PUR-Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren
- Abbildung 9: Zugscherfestigkeit von PF- bzw. PUR-Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren
- Abbildung 10: Zugscherfestigkeit von Kasein- bzw. Perleim-Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren
- Abbildung 11: Zugscherfestigkeit von Kasein- bzw. Perleim-Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Fuge nach verschiedenen Kurztestverfahren
- Abbildung 12: Delaminierungs-Prüfung nach Vorbehandlung gemäß DIN EN 303, Teil 2 (ASTM 1101-59) verschiedener Verleimungen, Holzarten: Kiefer und Fichte. Delaminierungs-Proben Typ 1 (22 h bei 65 °C)
- Abbildung 13: Delaminierungs-Prüfung nach Vorbehandlung gemäß DIN EN 303, Teil 2 (ASTM 1101-59) verschiedener Verleimungen, Holzarten: Kiefer und Fichte. Delaminierungs-Proben Typ 2 (91,5 h bei 28 °C)
- Abbildung 14: Typische Holz- und Leimbrüche bzw. Leimbrüche mit Holzfaserbelag nach den Zugscherfestigkeitsprüfungen (Foto)
- Abbildung 15: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer
- Abbildung 16: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 17: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 18: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 19: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 2 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 20: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 2 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 21: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 2 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 22: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 2 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 23: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 3 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 24: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 3 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 25: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 3 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 26: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 3 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 27: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 2 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 28: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 2 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 29: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 2 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 30: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 2 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 31: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 3 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 32: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 3 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

Abbildung 33: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 3 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer

Abbildung 34: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test 3 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte

- Abbildung 35: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test 6 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer
- Abbildung 36: Zugscherfestigkeit nach WCAMA -Test 6 Zyklen mit 0,1 mm Leimfuge, Holzart: Fichte
- Abbildung 37: Zugscherfestigkeit nach WCAMA -Test 6 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Kiefer
- Abbildung 38: Zugscherfestigkeit nach WCAMA -Test 6 Zyklen mit 0,5 mm Leimfuge, Holzart: Fichte
- Abbildung 39: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dünner (0,1 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Abbildung 40: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit dicker (0,5 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Abbildung 41: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dünner (0,5 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Abbildung 42: Zugscherfestigkeit von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit dicker (0,5 mm) Leimfuge nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Abbildung 43: Typische Leimbrüche von Zugscher-Proben nach 48 Wochen Kurzzeitalterung, Verleimung: PUR-, PF/RF-Harz, Kaseinleim mit 3% MDI und Perleim Holzart: Fichte
- Abbildung 44: Leimbruchanteile an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschichtholzverklebungen, Holzart: Kiefer, 0,1 mm dünne und 0,5 mm Dicke Leimfuge
- Abbildung 45: Leimbruchanteile an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschichtholzverklebungen, Holzart: Fichte, 0,1 mm dünne und 0,5 mm Dicke Leimfuge
- Abbildung 46: Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschichtholzverklebungen, Holzart: Kiefer, 0,1 mm Dünne und 0,5 mm Dicke Leimfuge
- Abbildung 47: Leimbruchanteile mit Holzfaserbelag an Zugscherproben verschiedener Verleimtypen von Brettschichtholzverklebungen, Holzart: Fichte, 0,1 mm Dünne und 0,5 mm Dicke Leimfuge
- Abbildung 48: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20 °C / 95 % r.F. und 3 d 40 °C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dünner (0,1 mm) Leimfuge, Holzart: Kiefer

- Abbildung 49: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20 °C / 95 % r.F. und 3 d 40 °C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dicker (0,5 mm) Leimfuge, Holzart: Kiefer
- Abbildung 50: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20 °C / 95 % r.F. und 3 d 40 °C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dünner (0,1 mm) Leimfuge, Holzart: Fichte
- Abbildung 51: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20 °C / 95 % r.F. und 3 d 40 °C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen und dicker (0,5 mm) Leimfuge, Holzart: Fichte
- Abbildung 52: Typische Leimbrüche von Kreuzscher-Proben nach Klimawechsel/Last-Beanspruchung, PUR- bzw. PF/RF-Harz, Holzarten: Kiefer und Fichte
- Abbildung 53: Typische Leimbrüche von Kreuzscher-Proben nach Klimawechsel/Last-Beanspruchung, Kaseinleim + 3% MDI sowie mit und ohne Schutzmittel, Holzarten: Kiefer und Fichte
- Abbildung 54: Typische Leimbrüche von Kreuzscher-Proben nach Klimawechsel/Last-Beanspruchung, Perleim mit und ohne Schutzmittel, Holzarten: Kiefer und Fichte
- Abbildung 55: Xenotest-Delaminierungs-Proben mit entleimten Fugen, Proben unbewittert sowie nach 1, 3 bzw. 36 Wochen Kurzzeitalterung, Holzart: Kiefer, Verleimung: PF/RF, Kasein- und Perleim
- Abbildung 56: Xenotest-Delaminierungs-Proben mit entleimten Fugen, Proben unbewittert sowie nach 1, 3 bzw. 36 Wochen Kurzzeitalterung, Holzart: Fichte, Verleimung: PF/RF, Kasein- und Perleim
- Abbildung 57: Typische Leimbrüche einer Xenotest-Delaminierungs-Probe (32 fache Vergrößerung) nach 36 Wochen Kurzzeitalterung, Verleimung: PF/RF
- Abbildung 58: Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben aus Kiefernholz nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeitalterung. Meßbereich: Alle Fugen der gealterten Oberflächen (2 Proben x 2 Fugen = 8 x 195 mm = 1560 mm)
- Abbildung 59: Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben aus Fichtenholz nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeitalterung. Meßbereich: Alle Fugen der gealterten Oberflächen (2 Proben x 2 Fugen = 8 x 195 mm = 1560 mm)
- Abbildung 60: Bestimmung der Beständigkeit von Brettschichtholzverleimungen gegen holzerstörende Basidiomyceten in Anlehnung an EN 113 (11/96), dünne (0,1 mm) Leimfuge
- Abbildung 61: Bestimmung der Beständigkeit von Brettschichtholzverleimungen gegen holzerstörende Basidiomyceten in Anlehnung an EN 113 (11/96), dicke (0,5 mm) Leimfuge

- Abbildung 62: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Kaseinleim mit 3% MDI sowie ohne und mit Schutzmittel. Prüfpilz: *Coniophora puteana*
- Abbildung 63: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Kaseinleim mit 3% MDI sowie ohne und mit Schutzmittel. Prüfpilz: *Gloeophyllum trabeum*
- Abbildung 64: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Perleim ohne und mit Schutzmittel. Prüfpilz: *Coniophora puteana*
- Abbildung 65: Zugscherproben nach 12 wöchiger Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten, Verleimung: Perleim ohne und mit Schutzmittel. Prüfpilz: *Gloeophyllum trabeum*
- Abbildung 66: Breitenabnahme im Bereich der Leimfugen von Zugscherproben nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten

11. Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Prüfparameter für Delaminierungsprüfungen nach DIN EN 302-2
- Tabelle 2: Art und Dauer der Behandlung vor der Zugscherprüfung
- Tabelle 3: Trocken - Zugscherfestigkeit mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 4: Zugscherfestigkeit nach Lagerungsfolge A5 mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 5: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 2 Zyklen mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 6: Zugscherfestigkeit nach CTB-Test 3 Zyklen mit 0,1 mm mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 7: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (2 Zyklen) 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 8: Zugscherfestigkeit nach ASTM-Test (3 Zyklen) mit 0,1 mm mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 9: Zugscherfestigkeit nach WCAMA-Test 6 Zyklen 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen, Holzarten Kiefer und Fichte
- Tabelle 8: V 100- bzw. Naß-Zugscherfestigkeitswerte von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Fugen nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Tabelle 9: V 100- bzw. Naß-Zugscherfestigkeitswerte von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Fugen nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Tabelle 10: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 1, Holzart: Kiefer
- Tabelle 11: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 1, Holzart: Fichte
- Tabelle 12: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 2, Holzart: Kiefer
- Tabelle 13: Delaminierungs-Meßergebnisse, Beanspruchungs-Typ 2, Holzart: Fichte
- Tabelle 14: V 100- bzw. Naß-Zugscherfestigkeitswerte von Brettschichtholzverleimungen aus Kiefernholz mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen
- Tabelle 15: V 100- bzw. Naß-Zugscherfestigkeitswerte von Brettschichtholzverleimungen aus Fichtenholz mit 0,1 mm und 0,5 mm dicken Leimfugen nach unterschiedlich langen Kurzzeitalterungs-Zeiträumen

- Tabelle 16: Zusammenstellung der %tualen Leimbrüche von unterschiedlich beanspruchten Scherzugproben aus Kiefern- und Fichtenholz,
- Tabelle 17: Zusammenstellung der %tualen Leimbrüche mit Holzfaserbelag von unterschiedlich beanspruchten Scherzugproben aus Kiefern- und Fichtenholz
- Tabelle 18: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20 °C / 95 % r.F. und 3 d 40 °C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen (PF/RF, PUR 2, Kasein- und Perleim) sowie mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Leimfuge
- Tabelle 19: Abgewandelte Kreuzscherprobe im Dauerstandversuch bei Klimawechsel (10 Zyklen á 4 d 20 °C / 95 % r.F. und 3 d 40 °C / 50 % r.F., Belastung 15 kg) mit unterschiedlichen Verleimungen (PUR 1, PUR 1 + 5% Kokosnußschalenmehl, MUF und PVAc) sowie mit dünner (0,1 mm) und dicker (0,5 mm) Leimfuge
- Tabelle 20: Prozentualer Anteil der entleimten Fugen (Leimbrüche) von Xenotest-Schwindspannungsproben aus Kiefern- und Fichtenholz nach 12, 24 und 36 Wochen Kurzzeitalterung. Meßbereich: Alle Fugen der bewitterten Oberflächen (2 Proben x 4 Fugen = 8 x 195 mm = 1560 mm)
- Tabelle 21: Bestimmung der Beständigkeit von Brettschichtholzverleimungen nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten in Anlehnung an EN 113 (11/96), Masseverlust in %, Abbau der Holzmasse
- Tabelle 22: Breitenabnahme im Bereich der Leimfugen von Zugscherproben nach 12 Wochen Beanspruchung gegen holzerstörende Basidiomyceten