

ISBN 3-88314-636-6

Forschungsbericht 136

**Bundesanstalt
für Materialforschung
und -prüfung (BAM) Berlin**

**Untersuchungen zur Beurteilung von
Brettschichtverleimungen für den Holzleimbau**

**Investigations of classifying glued wood panels
for glulam-production**

von / by Hans-Joachim Deppe
Klaus Schmidt

April 1987

53 Seiten, 53 Abbildungen, 14 Tabellen

Dem ehemaligen Präsidenten der
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
Herrn Prof. Dr.-Ing. Max Pfender, zum 80. Geburtstag gewidmet.

Verfasser: Prof. Dr. rer. sylv. habil H.-J. Deppe
und Ing. K. Schmidt

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon (030) 8104-1 Telex 183 261 bamb d Telefax (030) 8 112 029

Copyright © 1987 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1
Telefon (0471) 46093-95

Danksagung

Für die Durchführung von Versuchen im BAM-Fachreferat 5.01 danken die Verfasser Herrn F. Rohde und Herrn P. Hansen. Tränktechnische Versuche erfolgten in der Fachgruppe 5.1. Für die Durchführung dieser Arbeiten schulden die Verfasser Dank den Herren Prof. Dr. M. Gersonde, Dipl.-Ing. Ch. Kottlors und H. Ledertheil, ebenso den Herren Dipl.-Ing. W. Böhmert und Dipl.-Ing. W. Brünner (BAM-Laboratorium 2.23) für ihre fachlichen Hinweise.

Die Untersuchungen wurden durch die Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) München und durch die Kommission der Europäischen Gemeinschaft (EG) Brüssel durch Forschungsmittel gefördert, wofür auch an dieser Stelle herzlichst gedankt werden soll.

Acknowledgements

The authors are grateful to Messrs. F. Rohde and P. Hansen of BAM 5.01 for conducting the tests. The impregnation tests were carried out in section 5.1 and the authors are indebted to Prof. Dr. M. Gersonde, Dipl.-Ing. Ch. Kottlors and Mr. H. Ledertheil. Thanks are also due to Dipl.-Ing. W. Böhmert and Dipl.-Ing. W. Brünner (BAM laboratory 2.23) for their assistance.

Financial support for conducting the research work was supplied by the "Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH)" (society for the promotion of wooden structures) in Munich and the "Kommission der Europäischen Gemeinschaft (EG)" (Commission of the European Communities) in Brussels and is gratefully acknowledged.

Abbildungen und Tabellen in diesem BAM-F/E-Bericht sind zweisprachig (deutsch/englisch) abgefaßt.

Figures and tables of this BAM-R/D-Report are presented in German and English.

Zusammenfassung

Der Holzleimbau hat sich zu einem bedeutenden Zweig der holzindustriellen Fertigung entwickelt. Besonders vorteilhaft an dieser Technik ist die Möglichkeit zur wirtschaftlichen Verarbeitung von astreichem Schwachholz. Durch Lamellenverleimung unter Zuhilfenahme von Stumpf- oder Keilzinkenverleimung können Brettschichthölzer in größeren Abmessungen mit relativ gleichmäßiger Struktur hergestellt werden. Die Verformbarkeit des Holzes erlaubt zahlreiche konstruktive Ausformungen.

Mitentscheidend für Qualität und Sicherheit eines Holzleimbau-elementes ist die Güte der Verleimung. Mehrere Schadensfälle (Delamierungen) waren Anlaß für gezielte Untersuchungen zur Bestimmung der Verleimungsqualität bei Brettschichtverleimungen. Allgemein läßt sich feststellen, daß Kurzprüfungen (Bestimmung der Festigkeit im Wege des Zugschwer- oder Druckscherversuches) nur begrenzte Aussagen hinsichtlich der Verleimungsqualität erlauben. Differenzierungen innerhalb einer Leimgruppe sind mit diesen Versuchen kaum möglich. Vorgeschaltete Lagerungsfolgen (Kochwasser-, Trocknungsfolgen u. a. m.) haben den Nachteil, daß sie in der Regel auf besondere Leimtypen abgestimmt sind. So werden durch Kochwasserlagerungen Phenoplaste infolge Nachhärtungen begünstigt, Aminoplastmischharzverleimungen hingegen benachteiligt. Entscheidend ist jedoch, daß zwischen den Ergebnissen aus derartigen Kurzzeitprüfungen und dem Langzeitverhalten unter Freilandbedingungen keine oder nur unbefriedigende Übereinstimmungen bestehen.

Freiwitterungen sind als Grundlagenversuche unabdingbar. Infolge ihres hohen Zeitaufwandes sollte man sich bei diesen Versuchen auf Standardverleimungen beschränken. Einschränkend ist bei diesem Versuch anzuführen, daß noch keine Standardisierung vorliegt, so daß die Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen nur bedingt verglichen werden können. Trotzdem kann auf diesen Versuch als Basis nicht verzichtet werden. Vom Freibewitterungsversuch sind Laborverfahren abzuleiten.

Aufgrund von Erfahrungen bei der Untersuchung von Holzwerkstoffen wurde bei Versuchen in der BAM ein XENOTEST-Kurzzeitbewitterungsverfahren zur Alterung eingesetzt. Bei diesem Verfahren liegen inzwischen ausreichende Erfahrungen hinsichtlich einer Übereinstimmung zwischen Freiland- und Kurzzeitbewitterung vor. Maßgebend bei diesem Verfahren ist, daß die Belastungsparameter (Regen, hohe Luftfeuchte, Frost, Solarstrahlung) den Freilandbedingungen angepaßt sind.

Versuche mit Brettschichtverleimungen unterschiedlicher Qualität ergaben bei Versuchen mit Phenoplast-, Aminoplastmischharz- und modifizierter PVAc-Verleimung eine eindeutige Überlegenheit der PF/RF-Verleimung. Um weitergehende Differenzierungen innerhalb der Leimgruppen zu erzielen, wurden Dauerstandversuche im Wechselklima (20 °C/34 % r.L.) an besonderen Kreuzscherproben vorgenommen. Dabei ergaben sich übereinstimmend sowohl an Fichten- wie an Buchenbrettschichtverleimungen bei PF-Harzen Differenzierungen dahingehend, daß zwischen sogenannten „guten“ und „schlechten“ Verleimungen unterschieden werden konnte. Bei Verarbeitung der PF-Leime nach Vorschrift erwiesen sich von 19 handelsüblichen Leimen 6 Leime als „nicht ausreichend“ (= rund 30 %!). Als „nicht ausreichend“ wurden Verleimungen eingestuft, die nach spätestens 60 % der Versuchszeit (10 Wochen) zu jeweils 100 % oder nach 50 % der Versuchszeit zu 90 % zerstört waren.

Untersuchungen an imprägnierten Lamellen, die ohne und mit Schutzsalzprägnierungen hergestellt wurden (CKB- und CKA-Salze) jeweils mit und ohne vorhergehende Nadelperforation ergaben sowohl im XENOTEST- als auch im Dauerstandversuch, daß durch die Perforation keine Schwächung der Verleimung auftritt. Hinsichtlich der Einwirkungen der Schutzsalze konnten übereinstimmende Aussagen festgestellt werden. So wiesen die Brettschichtverleimungen aus PF-Harzen bei CKB-Salzprägnierung aufgrund der Borkomponente Festigkeitsverluste auf. Bei Aminoplastmischharzverleimungen störten die Chrombestandteile.

In weitergehenden Versuchen soll geklärt werden, ob durch eine Kombination von XENOTEST- und Dauerstandversuch mit Wechselklimalagerung in vertretbaren Zeiträumen genauere Aussagen über die Qualität von Brettschichtverleimungen möglich sind, die eine sichere Abschätzung des zu erwartenden Langzeitverhaltens erlauben und damit den Sicherheitsbestrebungen der obersten Bauaufsichtsbehörden besser gerecht werden.

Verfahrenstechnik — Holzmontageleime — Kurzprüfverfahren — Kurzzeitalterungen — Freibewitterungen — BAM XENOTEST — Dauerstandversuche — Beurteilung des Langzeitverhaltens

Summary

Glulam has gained a great share in the forest products market. One of the reasons is that small-diameter wood containing a lot of knots can thus economically be processed. Large dimensional products of relatively uniform structure may be produced by butt or finger jointing the laminae. As timber is a flexible material, there is ample scope for constructional design.

Quality and safety of glulam constructions are largely influenced by the gluebond quality. Several cases of delaminations gave rise to specific investigations of the gluebond quality of glulam. Short-term tests (strength determinations by shear tests) give only limited results as clear distinctions can hardly be made within one group of

resins. Different types of storage (hot boil, drying etc.) preceding the tests are usually applicable to one type of glue only. Hot boiling for instance improves phenoplastic resins as they cure subsequently, mixed aminoplastic resins are on the other hand adversely affected. The most important thing is that there is no or only poor agreement between the results of such short-term tests and long-term outdoor tests.

Field tests cannot be renounced. As they take a lot of time these tests should be restricted to standard adhesives. It must however be admitted that such tests have not yet been standardised so that results of different investigations cannot well be compared. On the basis of field service experience suitable laboratory tests should be developed.

A XENOTEST accelerated weathering procedure was developed in BAM based on the experience gained with testing wood-based materials. This procedure has yielded comparable results of outdoor and accelerated tests. It simulates real weathering parameters (rain, high relative humidity, frost radiation).

When glulam bonds with different types of adhesives was tested, PF/RF adhesives proved to be clearly superior to phenoplastic, mixed aminoplastic and modified PVCa resins. Fatigue tests under cyclic humidity (20 °C/34 % R.H. —85 % R.H) using special shear test specimens were carried out to make further differentiations within the different groups of adhesives. Tests of pine and beech glulam bonds with PF resins revealed that a distinction could be made between so-called "good" and "bad" gluebonds. When the PF resins were applied in accordance with the procedures' instructions six out of 19 commercial adhesives proved to be "not sufficient" (about 30 %!). "Not sufficient" meant that the gluebonds had failed completely (100 %) after 60 % of the test period (10 weeks at the most) or the rate of failure was 90 % after half the test period (50 %).

Comparative XENOTEST and fatigue tests were made of laminae which were either needle incised or not incised and subsequently treated with preservative salts (CCB and CCA) or left untreated. They revealed that needle incising did not affect the gluebond quality. With regard to the effects of the preservative salts the results agreed well. PF glulam specimens suffered strength losses due to the boron component when CCB preservatives had been applied. When mixed aminoplastic resins were used, the chromium component was obviously responsible for strength losses.

Further tests will be made to investigate whether the XENOTEST and fatigue tests can be combined with cyclic humidity conditions to predict the quality of glulam within relatively short test periods and thus make safe statements about the performance of glulam in service which is required by the supreme building authorities.

Inhalt	Seite
Content	Page
1. Zielsetzung und Problemstellung Aimand posing the problem	1
2. Angaben zur Verfahrenstechnik Details to technology	2
3. Prüfverfahren zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen Testing procedure for classifying gluelam-elements	3
3.1 Prüfungen nach Normvorschrift Tests based on standards	4
3.2 Kurzprüfverfahren Short-time tests	10
3.3 Beurteilungsmöglichkeiten für Eignungen bei Holzmontageverleimungen aufgrund von Kurzprüfungen Possibilities for classifying the suitability of gluelam with short-time-tests	12
4. Alterungsprüfungen Accelerating aging	13
4.1 Kurzzeitalterungen durch vorgeschaltete Lagerungsfolgen Accelerating aging with previous stress periods	13
4.2 Freibewitterungen Exterior exposure	16
4.3 BAM-XENOTEST-Verfahren BAM-XENOTEST-Procedure	16
4.4 Dauerstandversuche im Wechselklima Long-time creep tests with changing climate conditions	21
4.4.1 Dauerstandversuche an Fichtenbrettschichtholzverleimungen Long-time creep tests with gluelam-elements from spruce	21
4.4.2 Dauerstandversuche an Buchenbrettschichtholzverleimungen Long-time creep tests with gluelam-elements from beech	31
4.5 Brettschichtverleimungen und Schutzbehandlung Gluelam and impregnation	33
5. Überlegungen zu einem Prüfverfahren Considerations for a test method	45

1. Zielsetzung und Problemstellung

Der Holzleimbau hat sich zu einem bedeutenden Zweig der holzindustriellen Fertigung entwickelt. Weltweit ist eine stetige Zunahme der Holzleimbauteilerzeugung festzustellen, die allerdings zwangsläufig den zyklischen Schwankungen des Bausektors unterliegt, wie alle anderen Baustoffe auch. Die wachsende Bedeutung der Holzleimbaufertigung ist ableitbar aus den relativ hohen Zuwachsraten, verglichen mit dem konventionellen Baustoff Schnittholz. Während der Schnittholzverbrauch praktisch seit dem Beginn der 70er Jahre stagniert, ist der Verbrauch an Holzleimbauanteilen in der Bundesrepublik Deutschland kontinuierlich gestiegen, von rund 50.000 m³ (1968/69) auf etwa 150.000 m³ (1974/75) und hat nunmehr eine Größenordnung von annähernd 250.000 m³ (1984/85) erreicht (Dutko 1969, Deppe, 1975, Hüttemann 1978, Ressel 1985).

In der Holzleimbautechnik werden Brettlamellen unter Verwendung von Stumpf- oder Keilzinkenverleimung mittels Klebstoffen zu Brettschichtelementen verarbeitet. Die vergleichsweise hohe Festigkeit des Holzes - verbunden mit seiner Verformbarkeit - erlaubt die Herstellung sehr vielgestaltiger Elemente. So sind freitragende Träger bis zu 100 m Spannweite zu erzeugen. Hinzu kommt eine beachtlich hohe Feuerwiderstandsdauer auch ohne besondere Schutzmaßnahmen. Für eine weitere Zunahme der Holzleimbaufertigung sprechen folgende Gesichtspunkte:

- Ökologische und wirtschaftliche Gegebenheiten lassen in der Zukunft den Anreiz zum Einsatz von Schwachholz ansteigen, da Starkhölzer allgemein zu knapp und damit zu teuer werden.
- Astreiches Schwachholz kann wirtschaftlich im Zuge der Holzleimbautechnologie verarbeitet werden, weil durch Lamellierung eine Vergleichmäßigung der Wuchsanomalien erreicht wird, wodurch das Produkt für den Konstrukteur leichter handhabbar und für den Statiker besser berechenbar wird.
- Steigendes Schwachholzaufkommen und Holzleimbauerzeugung ergänzen sich wechselseitig. Somit handelt es sich bei der Holzleimbauerzeugung um eine trendkonforme Fertigung.

Einige Parameter können indessen die Holzleimbaufertigung begrenzen. Es sind dies die Tragfähigkeit des Holzes, Werkzeugabmessungen und Transportmöglichkeiten (Ressel 1975). Ein weiterer entscheidender Parameter ist die Qualität der eingesetzten Leime und hier insbesondere ihr Langzeitverhalten, das über den Erhalt der Funktionstüchtigkeit und damit über die Sicherheit des Bauteiles entscheidet. Da der überwiegende Teil der Holzleimbaufirmen mittelständisch strukturiert ist und keine kostenaufwendigen Prüflaboratorien unterhalten kann, kommt diesbezüglichen Beurteilungsverfahren besondere Bedeutung zu, zumal hiervon die Sicherheit der Bauteile entscheidend abhängt.

Als schwerwiegendes Problem erwies sich bislang im Holzleimbau das Auftreten von Delaminierungen, die häufig zu Beeinträchtigungen der Sicherheit und oft auch zum Versagen des Bauteiles führten (Deppe 1975) (Abb. 1). Derartige Reklamationen - verbunden mit hohen Sanierungskosten - stellen bisweilen die Existenz eines mittelständischen Betriebes in Frage. Den mit Prüfungen, Beurteilung und Zulassungen befaßten Stellen im

Bundesgebiet erwächst aus diesem Grund eine besondere Verantwortung.

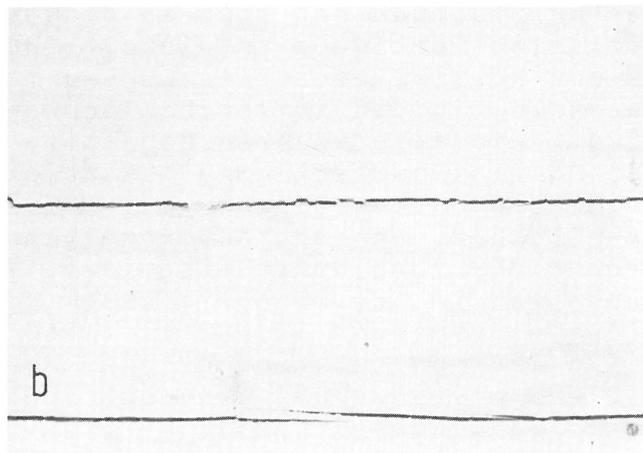
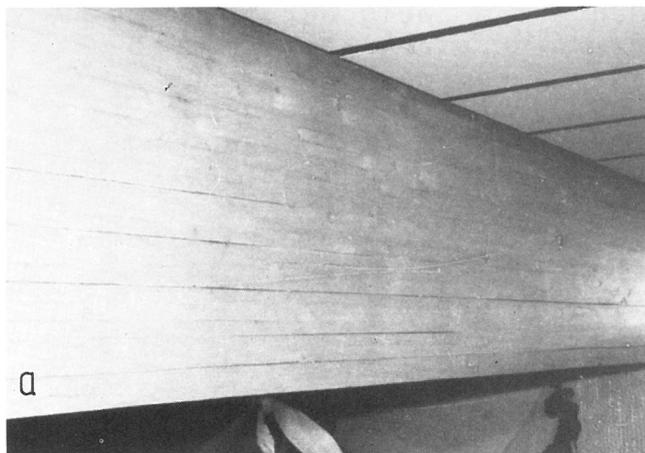


Abb./Fig. 1

(a) Schadensfall bei einem Brettschichtträger in einem Versammlungsraum durch Delaminierung
Damage of a glulam beam in a conference hall by delamination

(b) Detailaufnahme
Detail of glue-line-delamination

In diesem Zusammenhang ist die Frage zu stellen, ob die bisher angewandten Prüf- und Beurteilungsverfahren ausreichen, das Langzeitverhalten von Brettschichtverleimungen abschätzen zu können. Insbesondere stellt sich die Frage, ob aus den Resultaten sogenannter Kurzprüfverfahren auf das langfristige Verhalten mit ausreichender Sicherheit geschlossen werden kann.

2. Angaben zur Verfahrenstechnik

Der Herstellungsprozeß von Holzleimbauformteilen sei am Beispiel der Brettschichtträger kurz dargestellt. Der Fertigungsablauf umfaßt die folgenden Verfahrensschritte (Dutko 1969, Egner 1976, Rug 1984, Ressel 1985): Lagerung, Trocknung, Klimatisieren, Vorhobeln, Sortieren, Kappen und Fehlerschneiden der Brettlamellen. Anschließend erfolgt durch Keilzinkung oder Stumpfverleimung das Herstellen von Lamellen in größeren Längen. Danach erfolgen Ablängen, Hobeln und Zwischenlagern der Lamellen. Hier schließt sich der eigentliche Beileimungsvorgang an, dem das Einspannen, gegebenenfalls mit Verformen und Verpressen, folgt. Nach erfolgter Abbindung schließt sich das Fertighobeln und in bestimmten Fällen noch eine Imprägnierung an.

Kritische Punkte im Fertigungsablauf sind das Trocknen und Klimatisieren der Lamellen auf etwa 10 - 12 % Holzfeuchte, die saubere Keilzinkung und eine ausreichende Verpressung (Preßdruck 0,6 bis 1,5 N/mm², Spindelabstand 0,3 bis 0,4 m). Je nach Anwendungsgebiet sind folgende Holzfeuchten anzusteuern: Innenwohnbereich 9 % \pm 3 %, unbeheizte Räume 12 % \pm 3 %, offene Bauten und freibewitterte Bauteile 15 % \pm 3 %.

In den Vergabedingungen zum Holzleimbau-Gütezeichen (RAL-RG 421) wird auf eine ausreichende Klimatisierung der Leimräume besonderer Wert gelegt. Beim eingesetzten Leim muß sich der Hersteller indessen weitgehend auf die Verarbeitungsvorschriften des Leimlieferanten verlassen unter Einbeziehung etwaiger

Festlegungen im Zulassungsbescheid. Als Eigenprüfung bleibt ihm unter Umständen lediglich eine Bestimmung der Scherfestigkeit von Brettschichtproben, die $\geq 4 \text{ N/mm}^2$ sein soll (RAL-RG 421, Abschn. 3.5.2.2), wobei es jedoch fraglich ist, ob aus einem derartigen Festigkeitswert einer Kurzprüfung Anhaltswerte hinsichtlich eines ausreichenden Langzeitverhaltens gezogen werden können. Aus diesem Umstand erhellt, daß bei Prüfung, Beurteilung und Zulassung von Holzmontageleimen besonders scharfe Maßstäbe anzulegen sind.

3. Prüfverfahren zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen

Ein Brettschichtholzteil wird in seiner Verwendbarkeit in besonderer Weise von der Qualität der Verleimung bestimmt. Aus Sicherheitsgründen muß eine Langzeitbeständigkeit auch unter Wechselklimaeinwirkungen gegeben sein. Hier stellen die fortwährenden Quell- und Schwindbewegungen besondere Anforderungen an die Beständigkeit der Leimfugen, insbesondere wenn der Leim zur Versprödung neigt. Durch die sich ständig wiederholenden Quell- und Schwindbewegungen treten sehr hohe Randspannungen in den Leimfugen auf (Möhler/Steck 1982), die die Alterungsprozesse beschleunigen. Das Problem bei Alterungsprüfungen von Holzmontageleimen besteht in dem Umstand, Verfahren zu erarbeiten, die einmal die natürlich auftretenden Belastungen realistisch simulieren und zum anderen durch gewisse Zeitraffungen schnellere Aussagen erlauben, wobei eine ausreichende Sicherheit bei der Urteilsfindung erhalten bleiben muß. Dabei dürfen die Parameter nicht zu schwach sein, weil in diesem Falle keine ausreichende Sicherheit bei der Beurteilung mehr gegeben ist, andererseits dürfen die Parameter nicht zu scharf gewählt werden, weil dann die Industrie bei ihren Entwicklungsarbeiten mit Auflagen konfrontiert wird, die übertriebene Lösungen bewirken oder gar den technischen Fortschritt blockieren.

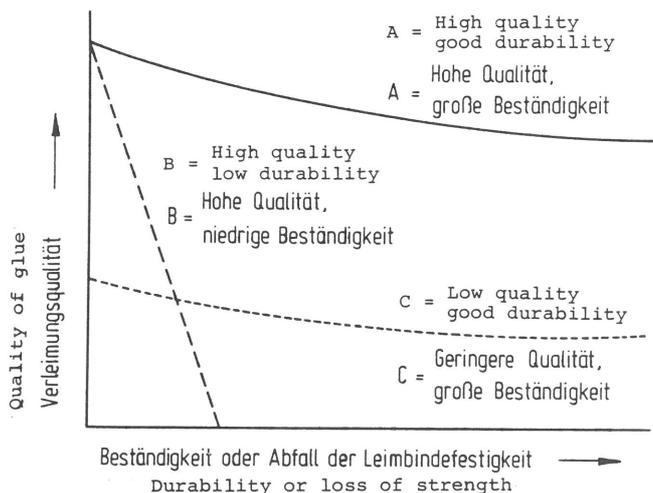


Abb./Fig. 2
Leimbindefestigkeit und Verleimungsqualität
nach Kreibich (1981)
Glueline strength and glue bond quality
according to Kreibich (1981)

Allgemein lassen sich die Zusammenhänge bei der Beurteilung von Holzmontageverleimungen in einer Form darstellen, wie es Kreibich (1980) vorgeschlagen hat (Abb. 2). Aus dieser Darstellung ist ableitbar, daß im Sinne eines Brauchbarkeitsnachweises im Holzleimbau Brettschichtverleimungen des Typs A anzustreben sind, während der Typ B als ungeeignet bezeichnet werden muß. Es wäre jedoch unter Umständen auch möglich, daß ein Klebstoff vom Typ C ausreichend ist. Die Beantwortung dieser Frage kann von

erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung sein, denn Holzleime sind ein gravierender Kostenfaktor im Holzleimbau. Das Erkennen derartiger Qualitäten der jeweils vorliegenden Leime im Kurzzeitversuch ist aus verschiedenen Gründen mit Problemen behaftet. Daher war zu prüfen, ob durch Langzeitversuche Anhaltspunkte für das Verhalten von Holzmontageleimen in der Praxis zu gewinnen waren. Schadensfälle haben den Verdacht geweckt, daß neben den Verarbeitungsbedingungen unter Umständen auch zwischen den eingesetzten Leimen selbst qualitative Unterschiede vorliegen können (Ebewell et al. 1982), die im Kurzzeitversuch nicht zu erfassen sind. Wie Versuche von Möller/Steck (1980) und auch Messungen durch Bröker (schriftlich 1984) belegen, kommt es durch wechselnde klimatische Bedingungen in Abhängigkeit vom Faserverlauf des Holzes zu erheblichen Querspannungen in den Leimfugen. Nach Kolb et al. (1985) ergaben sich allerdings bei Fichtenholz unter Dauerlast bei Wechselklimalagerung sehr große Kriechdehnungen, so daß weniger ein "Querspannungsproblem" als ein "Querdehnungsproblem" vorliegt.

Im Holzleimbau ist somit eine sorgfältige Steuerung der Fertigungsbedingungen unerläßlich (Egner, Kolb 1974). Holzqualität, Holzfeuchtigkeit und Verleimungsbedingungen verlangen besondere Aufmerksamkeit (vgl. RAL-RG 421), andernfalls kann es zu schwerwiegenden Schadensfällen kommen. Durch Holzfehler verursachte Schäden sind bislang jedoch offenbar von untergeordneter Bedeutung. Das erreichte Maß an Sicherheit dürfte durch entsprechende Sortierung schon so groß sein, daß diese Fehlerquelle bei einem Mindestmaß an Sorgfalt ausgeschaltet werden kann. Die überwiegende Zahl der bekanntgewordenen Schäden geht in der Regel auf Fehlleimungen beziehungsweise mangelhafte Verleimungsqualitäten zurück. Diese Schäden sind beispielsweise auf die Verleimung zu feuchter Hölzer oder auf Paßungenauigkeiten bei Verwendung von Brettabschnitten mit zu großen Dickenabweichungen beziehungsweise Rezepturänderungen (Härter, Streck-, Schaummittel) zurückzuführen. Während man Paßungenauigkeiten oder Leimwegschlag (White 1977) durch Verwendung entsprechend gefüllter Leime noch bis zu einem gewissen Grade ausgleichen kann, sind Delaminierungen durch Schrumpfspannungen im Holz beziehungsweise in den Leimfugen infolge der entstehenden hohen Kräfte kaum noch aufzufangen, wobei Versprödungen der Leime oder auch strukturelle Veränderungen, wie hydrolytischer Abbau, ihrerseits zur Schadenentstehung beitragen können.

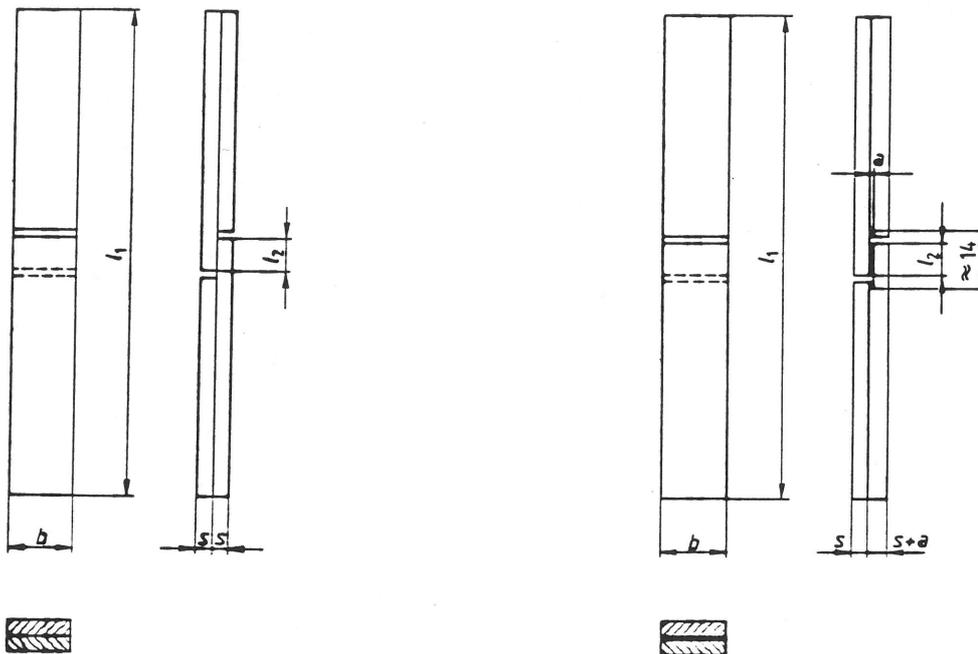
In der Bundesrepublik Deutschland sind die im Zusammenhang mit der Verwendung von Holzmontageleimen anstehenden Fragen für einen Einsatz bei tragenden Bauteilen in DIN 68 141 und für nichttragende Verbindungen in DIN 68 602 geregelt. In den USA unterliegen Holzmontageverleimungen je nach Verwendungszweck besonderen ASTM-Vorschriften (ASTM-D-905, 1101, 1174, 1183, 2559, 3024, 3434 u.a.m.)

3.1 Prüfungen nach Normvorschrift

Die Prüfung von Holzleimen erfolgt allgemein nach den Normvorschriften DIN 53 251 bis 53 260 (Plath 1966). Von diesen Normen besitzen besondere Bedeutung für Holzmontageverleimungen DIN 53 254 "Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsklebung im Scherversuch (EN 205: "Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsklebung im Zugversuch sowie bei statischer Dauerbelastung", Ausg. Oktober 1983), DIN 53 257 "Bestimmung der Zugfestigkeit von

Hirnholzverleimungen (Ausg. Juni 1964), DIN 53 258 "Bestimmung des Verhaltens bei wiederholter kurzzeitiger Wassereinwirkung", (Ausg. Juni 1964). Hinzu kommen DIN 68 602 "Prüfung von Leimen und Leimverbindungen für nichttragende Holzbauteile" (EN 204, Ausgabe Oktober 1983) sowie DIN 68 141 "Prüfung von Leimen und Leimverbindungen für tragende Holzbauteile" (Ausg. 10.1969).

In den USA sind in bezug auf die Prüfung von Holzleimbauteilen von Bedeutung: ASTM 905 "Strength properties of adhesives in shear by compression loading", ASTM 897 "Tensile properties of adhesives", ASTM 1344 "Cross-lap specimens for tensile properties of adhesives" u.a.m.



- l₁** Länge der Probe (150 ± 1) mm
length of the sample
- b** Breite der Probe (Breite der Prüffläche)
(20 ± 0,1) mm
width of the sample
- l₂** Überlappungslänge (Länge der Prüffläche)
(10 ± 0,1) mm
length of overlapping
(length of testing area)
- s** Dicke der Probe

(Winkel zwischen Jahrringflächen und den zu klebenden Flächen 90° bis 45°)
(angle between fiber configuration on the area of gluing 90° till up to 45°)

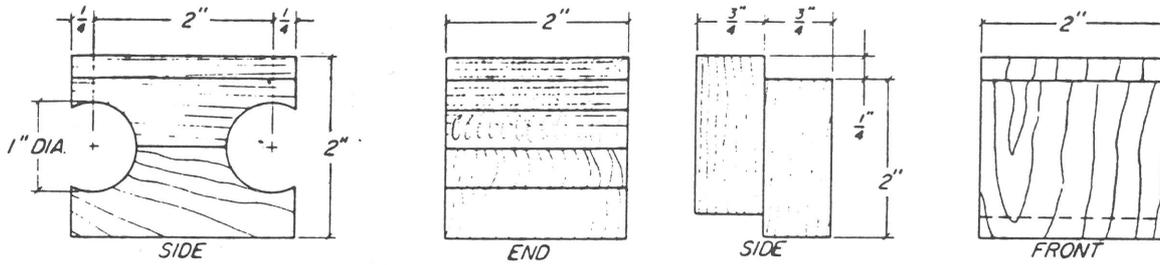
Abb./Fig. 3

(a) Längsprobe mit dünner Klebschicht
(DIN 53 254)
Sample with thin glueline
(DIN 53 254)

(b) Längsprobe mit dicker Klebschicht
(DIN 53 254)
Sample with thick glueline
(DIN 53 254)

Grundlage für zahlreiche Prüfungen von Holzmontageverleimungen bildet die Zugscherprobe nach DIN 53 254 (Abb. 3). Prüfungen nach dieser Norm sind in der Bundesrepublik Deutschland maßgebend für Beurteilungen nach DIN 68 141 (Abschn. 2.2 ff). Das gleiche Prüfkörperschema findet auch Anwendung in den US-Normen ASTM 2339 "Tensile lapshear specimen". Daneben wurden spezielle Prüfkörper zur Ermittlung von Querkzug- und Scherfestigkeiten entwickelt (Abb. 4). Die Prüfkörperformen zur Bestimmung der Querkzugfestigkeit nach ASTM 905 stimmen im Prinzip mit den Prüfkörpern nach DIN 68 141 überein.

(Vgl. hierzu Hoyle 1981, Abb. 3)

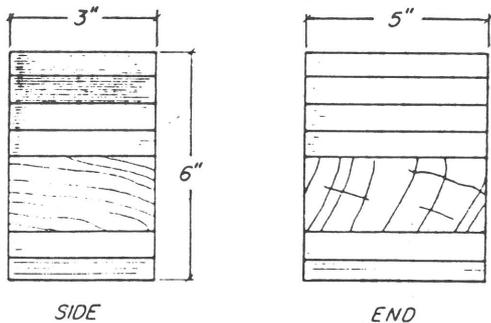


Probenform zur Ermittlung der Querkzugfestigkeit in der Leimfuge

sample of testing strength perpendicular to the glueline

Bestimmung der Scherfestigkeit entlang der Leimfuge

testing shear strength along the glueline



Proben zur Ermittlung der Delaminierungsbeständigkeit

sample of testing durability against delamination

Abb./Fig. 4
Prüfkörperausformungen gemäß ASTM 143 und ASTM 905 nach Laufenberg (1982)
Configurations of test samples corresponding to ASTM 143 and ASTM 905 (Laufenberg 1982)

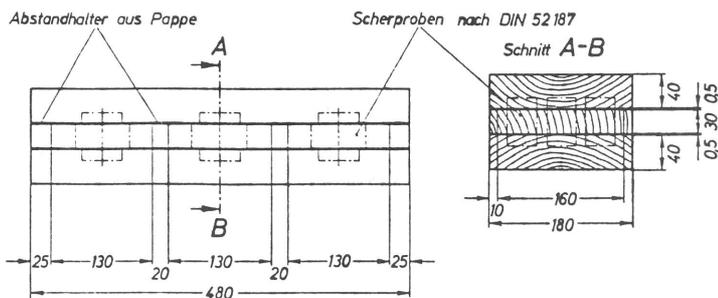


Abb./Fig. 5
Aufbau von Buchenschichtkörpern und Entnahmeschema der Scherproben nach DIN 68 141
Structure of samples of glued beech laminae and schedule of taking samples according to DIN 68 141

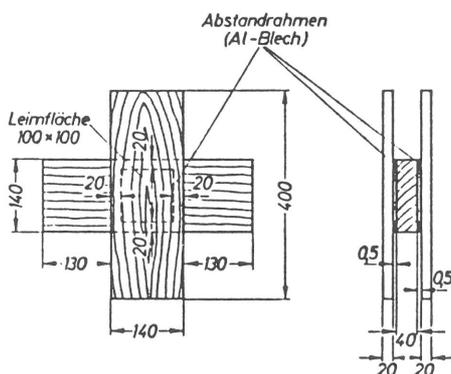


Abb./Fig. 6
Kreuzweise verleimte Probekörper aus Fichtenholz (DIN 68 141)
Crosswise glued samples of spruce (DIN 68 141)

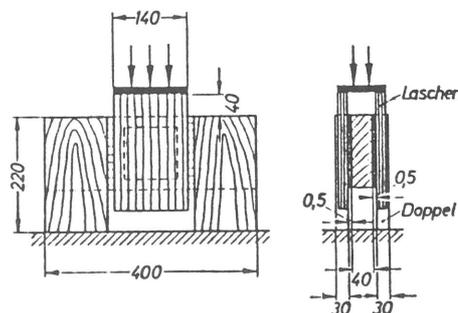


Abb./Fig. 7
Versuchsanordnung zur Prüfung von Kreuzverleimungen (DIN 68 141)
Arrangement for testing crosswise glued samples (DIN 68 141)

Zur Ermittlung der Druckscherfestigkeit sind mehrere Varianten vorgeschlagen worden. Neben der einfachen Blockscherprobe (Abb. 4) existiert eine würfelförmige Druckscherprobe nach DIN 52 178 mit 50 mm Kantenlänge (Abb. 5). Ferner gibt es Prüfkörper zur Ermittlung von Kreuzverleimungen (Abb. 6) und Kreuzscherdruckproben (Abb. 7) für den Scherversuch gemäß DIN 68 141.

Burmester (1982) hat für Untersuchungen an imprägnierten Brett-schichtverleimungen eine spezielle Blockscherdruckprobe entwickelt (Abb. 8), (vgl. hierzu Hoyle 1981, Abb. 1).

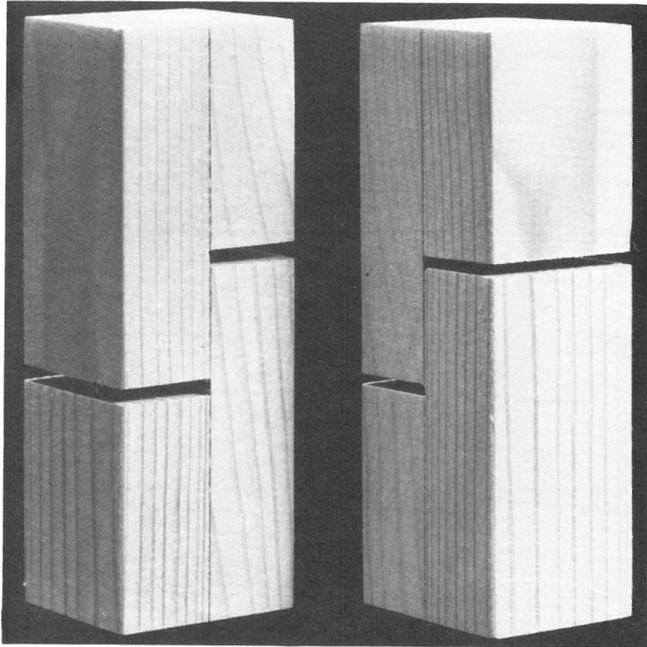


Abb./Fig. 8
Blockdruckscherprobe nach Burmester (1982)
Sample for testing blockshear strength (Burmester (1982))

Vergleichende Untersuchungen zur Zug- und Druckscherfestigkeit bei Brettschichtholzverleimungen (Gaudert/Caroll 1974, River 1984, Bröker/Blaik 1986, Burmester 1982) haben ergeben, daß weder eine direkte Vergleichbarkeit zwischen den Resultaten der verschiedenen Prüfverfahren besteht, noch daß ausreichend gesicherte Differenzierungen innerhalb der einzelnen Leimsysteme ableitbar sind. Die Resultate sind abhängig von Holzart, Rohdichte und Holzfeuchte (vgl. Abb. 9). Zu gleichen Resultaten kam Burmester (1985) bei Bestimmungen der Scherdruckfestigkeit bei imprägniertem Brettschichtholz (Abb. 10).

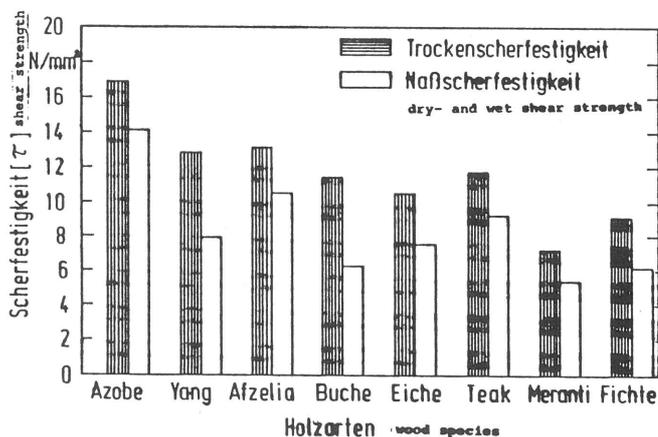


Abb./Fig. 9
Trocken- und Naßscherfestigkeit von Vollholz nach Untersuchungen von Bröker (1984)
Dry- and wet shear strength of solid wood according to Bröker (1984)

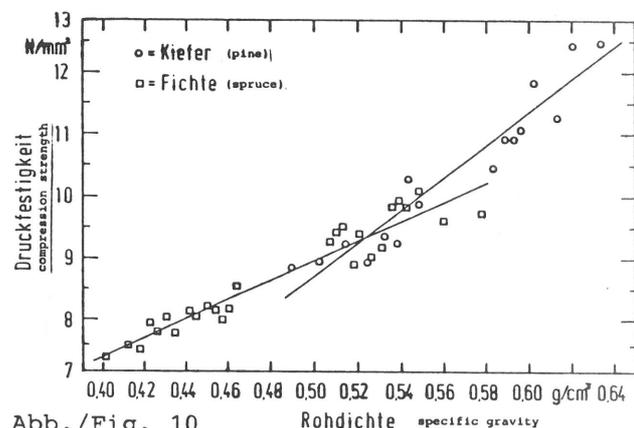


Abb./Fig. 10
Druckscherfestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte bei imprägniertem Brettschichtholz nach Burmester (1985)
Compression shear strength as a function of specific gravity by impregnated glue-lam material according to Burmester (1985)

Die Problematik der Anwendung von Resultaten aus Kurzprüfungen verdeutlichen vergleichende Untersuchungen zur Zug- und Druckscherfestigkeit von Brettschichtholz mit unterschiedlichen Verleimungen nach Rozynek (1986). Die Zusammenfassung der Meßwerte in Tabelle 1 verdeutlicht, daß man bei Anwendung verschiedenartiger Prüfverfahren zu unterschiedlichen Bewertungen gelangt, so daß man insbesondere bei MUPF- und PVAc-Verleimungen zu verschiedenartigen Bewertungen kommt (MUPF = Melamin-Harnstoff(Urea)-Phenolformaldehyd, PVAc = Polyvinylacetat).

Das gleiche Ergebnis lieferten Untersuchungen über PF-Leime unterschiedlicher Qualität (Deppe 1986) (vgl. Tab. 2).

Tab./Table 1

Ergebnisse aus vergleichenden Zug- und Druckscherprüfungen bei Brettschichtholz mit verschiedenen Verleimungen nach Rozynek (1986)

Results of comparative tensile- and sheartests of glulam with different adhesives according to Rozynek (1986)

Verleimung (kind of glue) Holzart: Fichte (wood species: spruce)	Zugscher- 1) (Shear-test) festigkeit in N/mm ² N = 50		Druckscher- 2) (Compression-test) N = 20	
	\bar{x}	$\pm s$ 3)	\bar{x}	$\pm s$ 3)
PF/RF	4,5	0,5	10,7	0,7
MUPF	4,2	0,5	7,7	2,2
PF	4,4	1,0	7,1	2,0

1) Prüfung in Anlehnung an DIN 52 354
(Probenabmessungen vgl. Abb. 3)

Test based on DIN 52 354
(dimensions of samples see fig. 3)

2) Prüfung nach Burmester (1982)
(Probenabmessungen vgl. Abb. 8)

Test procedure according to Burmester (1982)
(dimensions of samples see fig. 8)

3) Mathematisch-statistische Kenndaten nach DIN 52 360
(Mathematical-statistic. symbols based on DIN 52 360)

Tab// Table 2

Resultate von Zugscherprüfungen (in Anlehnung an DIN 52 355 Typ IF 20 und AW 100) an sogenannten "guten" und "schlechten" Brettschichtholzverleimungen (PF/RF-Harze) nach Deppe (1986)

Results of tensile tests (leaning against DIN 52 355 Typ IF 20 and AW 100) by so-called "sufficient" and "not sufficient" glulam PF/RF) according to Deppe (1986)

Proben- bezeichnung (sample code)	" G u t e " Verleimungen " s u f f i c i e n t " glues Holzart: Rotbuche wood species: beech								
	I F 20				A W 100				
	in N/mm ²		%		in N/mm ²		%		
	\bar{x}	$\pm s$	$\pm v$	L _g	\bar{x}	$\pm s$	$\pm v$	L _g	
2 A	12,7	0,6	4,9	50	5,4	1,3	23,6	50	
(6 A)	11,2	1,3	11,2	50	6,0	0,4	7,7	75*	
10 A	12,3	0,8	6,6	(0)	7,1	0,8	11,2	50	
13 A	12,9	1,3	10,2	(0)	5,4	0,7	12,4	(0)	
	" S c h l e c h t e " Verleimungen " u n s u f f i c i e n t " glues Holzart: Rotbuche wood species: beech								
	3 A	12,7	1,4	11,2	(50)	6,6	1,2	18,4	75
	7 A	11,5	1,1	9,7	(0)	5,2	2,0	38,1	100
	8 A	12,9	0,3	2,4	(50)	5,0	0,8	16,5	100
	15 A	12,6	0,7	5,6	(0)	4,4	1,9	43,4	50

L_g = Prozentualer Anteil an Leimbrüchen

Percentage of "glue-failures"

* = nicht gewertet, da Fehlverleimung.
Bei Prüfung nach DIN 53 254/AW 100
war praktisch nur Leimbruch feststellbar.

not admitted, because failure of gluing.
By testing according to DIN 53 254 onle "glue-failures".

Die angeführten Untersuchungsergebnisse unterstreichen, daß es sehr problematisch ist, aus Meßergebnissen nach Normvorschriften (Trockenfestigkeitswerte) weitgehende Schlußfolgerungen zu ziehen. Man ersieht aus den Meßergebnissen, ob ein einwandfreier Leimansatz vorliegt und die Verarbeitungsvorschriften eingehalten worden sind (überwiegender oder reiner Holzbruchanteil). Weitergehende Schlußfolgerungen beispielsweise hinsichtlich Witterungsbeständigkeit oder Langzeitverhalten lassen sich indessen kaum ziehen.

3.2 Kurzprüfverfahren

Bereits seit längerer Zeit versucht man, aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Klebstoffe, die Prüfverfahren diesen Gegebenheiten anzupassen (Plath 1966). In erster Linie stand die unterschiedliche Feuchtebeständigkeit der einzelnen Klebstoffe im Vordergrund des Interesses, die Anlaß zur Entwicklung einer größeren Anzahl von Prüfverfahren war, bei denen der Festigkeitsprüfung bestimmte Behandlungsstufen vorgeschaltet wurden (Neusser 1982; FPL-Res. Rep. Nr. 1550, Madison 1963; Millet/Gillespie 1978; Gillespie 1980; Raknes 1981; Hoyle 1981; Kowaltschuk 1979 u.a.m.). Neben den Verfahrensbedingungen (Holzfeuchtigkeit, Dickengenauigkeit der Brettabschnitte, Verleimungsbedingungen) kommt den Eigenschaften der Holzleime eine besondere Bedeutung zu. Durch zahlreiche Untersuchungen ist inzwischen nachgewiesen worden, daß die einzelnen Holzleime auf Änderungen der Verfahrensbedingungen unterschiedlich reagieren (Blomquist, Olzon 1955; Caster et al. 1973; Egner, Jagfeld 1962; Egner, Kolb 1966; Kreibich 1974; Lefeuvre 1970; Slack 1974; Scharfetter 1975; Steiner 1973; Vick 1973; Neusser, Schall, Heidinger 1972).

Für die Überlegungen zur Entwicklung von Kurzprüfverfahren waren mehrere Umstände maßgebend. Die Vorschaltung einer Konstant- oder Wechsellagerung in kochendem Wasser beispielsweise wird von Aminoplastklebstoffen in reiner oder gemischter Form (Harnstoff-Formaldehydharz = Ureaformaldehyde resin = UF und Melamin-Formaldehyd = Melamine-formaldehyde resin = MF oder als Mischharz = MUF) nicht überstanden. Eine derartige Behandlung ertragen unter anderem ausgehärtete Phenoplaste (Phenol-Formaldehydharze = PF oder Resorcin-Formaldehydharze = RF beziehungsweise als Mischharzverleimung PF/RF). Durch eine Kochwasserbehandlung sind somit Aminoplastharze eindeutig von Phenoplastverleimungen zu unterscheiden. Dies gilt sowohl für hitze- als auch säuregehärtete PF-Harze. Säurehärtungen von PF-Harzen erfolgen als Kaltverleimungen. RF-Harze können sowohl sauer als auch alkalisch gehärtet werden (Plath 1966). Sie werden meist durch Paraformaldehydzugabe gehärtet, der im Streckmittel beigemischt ist (zum Beispiel Kokosnußschalenmehle). Da RF-Harze in der Regel etwa um den Faktor 4 bis 6 teurer sind als PF-Harze, werden im Holzleimbau aus Kostengründen Mischharzverleimungen von PF/RF im Kaltverfahren verarbeitet, wobei die RF-Flotte als Härter fungiert. Den gleichen Zweck erfüllen Tannin-Formaldehydharze (TF-Harze) (vgl. z.B. Dix, B. u. Marutzky, R., 1985: WKI-Kurzbericht Nr. 3/85, Braunschweig oder Pizzi/Cameron 1984). Bei der Säurehärtung bestehen nach wie vor grundsätzliche Bedenken hinsichtlich einer etwaigen Holzschädigung, so daß sie für den Holzleimbau nicht mehr zulässig ist. Obwohl Plath (1966) die Furcht vor Säureschädigungen für übertrieben hält, hat sich an dieser Einstellung bislang nichts geändert. Das Überstehen von Kochwasserwechsellagerungen wird allgemein als Hinweis dafür gewertet, daß derartige Phenoplastverleimungen über ein ausreichendes Maß an Feuchtebeständigkeit verfügen. Maßgebend für eine diesbezügliche Annahme sind langfristige Freilandbewitterungen in Großbritannien und den USA, die eine deutlich bessere Beständigkeit von Phenoplastverleimungen im Vergleich zu anderen Verleimungen ergaben. Allerdings wurden unmittelbare Vergleiche mit eindeutig definierten PF-Harz-Rezepturen bislang noch nicht erbracht. Eine Phenoplastverleimung kann in ihrer Rezeptur sehr unterschiedlich beschaffen sein.

Neben der Zusammensetzung des Harzes (Kresol-, Xylenol-, Resorcinanteile), Molverhältnisse der Komponenten, Reaktivität der Ausgangsphenole, Kondensationsführung (pH-Wert, Temperaturführung, Kondensationsdauer, Alkalianteil und -art) beinhalten Art und Verlauf der Härtung, potlife-time, Füll- und Streckmittelart und -menge, Fugendicke, Paßgenauigkeiten und Preßbedingungen eine wesentliche Rolle für die erzielte Qualität der Verleimung (Ebewell et al. 1982; Clad 1960; Chow/Caster 1978; Neusser et al. 1974; Gibson/Kramer 1980).

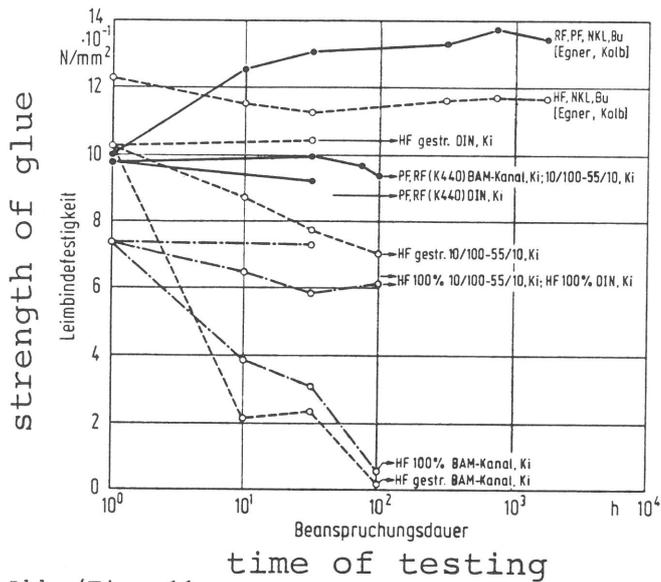


Abb./Fig. 11
Verlauf der Leimbindefestigkeit bei Harnstoff-Formaldehyd-(HF) und Phenol-Resorcin-Formaldehyd(PF, RF)-Holzmontageleimen bei Prüfung nach DIN 53 254 in Abhängigkeit von Vorbehandlungsart und Lagerungsdauer.

HF gestr. = Harnstoff-Formaldehydharzkleber mit 50 % Streckmittelzusatz durch Kokosnußschalemehl; HF 100 % = Reiner Harnstoff-Formaldehydharzkleber ohne Streckmittelzusatz;
Lagerungsbedingungen = Normklimalagerung 20°C/65 % r.L.; 10/100 + 55/10 = Lagerung in Brabender-Klimazelle bei 10°C/100 % r.L. und 55°C/10 % r.L. für jeweils 12 h; DIN = Lagerungszyklus nach DIN 68 141, BAM-Kanal = Lagerung im BAM-Bewitterungskanal (Zyklusfolge vgl. Deppe/Stolzenburg 1971).

Glueline strength of UF and PF resin bonds according to DIN 53 254 as a function of pretreatment and storage period.
HF gestr. = UF with 50 % filler of coconut powder; HF 100 % = Solid UF without filler.
Storage conditions = Normal climate 20°C/65 % relative humidity;
10/100 + 55/100 = testing in a climatic chamber at 10°C/100 % r.h. and 55°C/10 % r.h. for 12 h each; DIN = Storage according to DIN 68 141; BAM-Kanal = Testing in the BAM-aging-channel (Cycles s. Deppe/Stolzenburg 1971)

Bei Einbeziehung des Faktors "Zeit" in die Prüfung weisen PF-Harze ein hohes Maß an Beständigkeit auf (Abb. 11). Bei einer Kochwechsellagerung - wie sie beispielsweise beim Test der West Coast Adhesive Manufacturers Ass. (WCAMA)

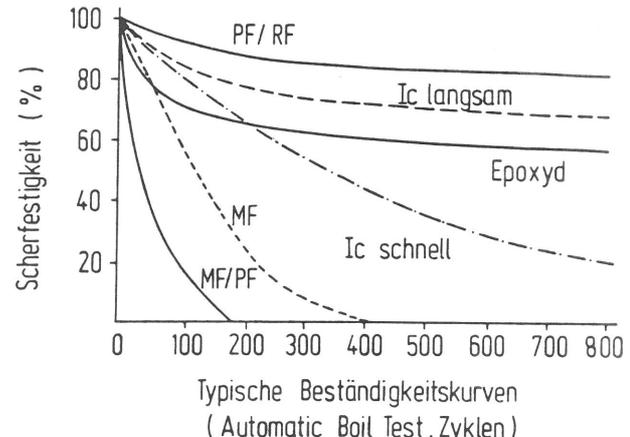
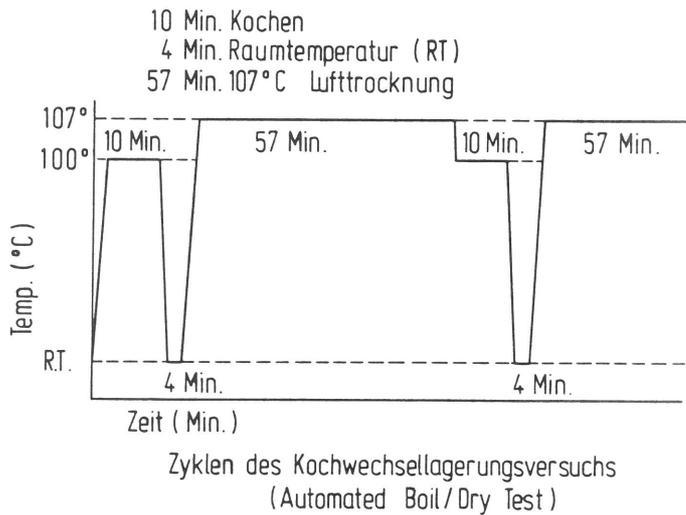


Abb./Fig. 12
Beispiel eines Kurzprüfverfahrens (Kochwechsellagerung-Automatic Boil Test) zur Beurteilung von Holzverleimungen nach Kreibich (1981)
Examples of an accelerated test method (Automatic Boil Test = ABT) for testing gluelines according to Kreibich (1981)

oder beim Automatic Boil-Test (ABT) vorliegt (vergl. Caster/Perrine 1974; Caster 1980; Kreibich 1980; Kreibich/Freeman 1968) - zeigt sich die klare Überlegenheit der PF/RF-Verleimung (Abb. 12). Indessen wird häufig übersehen, daß derartige Kochwasserlagerungen einseitig auf Phenoplastverleimungen zugeschnitten sind und diese eindeutig bevorzugen. Eine Kochwasserlagerung kann beispielsweise eine Nachhärtung bei Phenoplastverleimungen bewirken.

Schon frühzeitig bemerkte man, daß auch Phenoplastverleimungen unter klimatischen Belastungen relativ geringe Beständigkeiten aufweisen können (For. Prod. Res. Lab. Madison Rep. Nr. 1530, Madison 1956) und einer natürlichen Alterung unterliegen (Staff 1959, Clad 1960). Diese Eigenschaften konnten bislang im Kochwasserversuch nicht exakt genug nachgewiesen werden. Allerdings muß zu diesen Feststellungen angeführt werden, daß zu einer derartigen Wertung Zusammensetzungen und Verarbeitungsbedingungen der Phenoplastharze bekannt sein müssen, da ihre Qualität von einer größeren Zahl von Parametern abhängt.

3.3 Beurteilungsmöglichkeiten für Eignungen bei Holzmontageverleimungen aufgrund von Kurzprüfungen

Kurzprüfungen zur Bestimmung der Leimbindefestigkeit, die je nach Versuchsdurchführung als Trocken- oder Naßbindefestigkeit (unter Vorschaltung einer Wasserlagerung oder Kochwasserlagerung) durchgeführt werden können, geben zunächst Aufschluß darüber, ob eine einwandfreie Verleimung für den entsprechenden Verleimungstyp vorliegt - daran erkennbar, ob nur oder überwiegend "Holzbruch" vorliegt. Bei Fehlverleimungen überwiegen eindeutig "Leimbrüche". Hinsichtlich von Bewährung und Langzeitverhalten ist man auf indirekte Schlußfolgerungen angewiesen (Plath 1966; Gillespie 1980; Millet/Gillespie 1978; Bröker/Blaik 1986). In diesem Falle geht man davon aus, daß eine PF- oder PF/RF-Verleimung in einwandfreier Ausführung bei überwiegendem Holzbruch sowohl bei Trocken- als auch bei Naßfestigkeitsprüfung damit auch gleichzeitig nach der Erfahrung ein ausreichend beständiges Langzeitverhalten aufweist.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse sind Kurzprüfverfahren indessen überfordert, wenn man aus den Prüfergebnissen weitergehende Schlußfolgerungen ziehen will. Ein Beispiel mag dies belegen. So ist es möglich, UF- oder MUF-Verleimungen durch Abmischungen mit Blutalbumin-Leimen in ihrer Feuchtigkeitsbeständigkeit im Kurzversuch erheblich zu steigern. Bewitterungsuntersuchungen haben inzwischen den Nachweis erbracht, daß diese Verbesserung im Langzeitversuch keinen Bestand hat. Kurzprüfverfahren eignen sich sehr gut zum Erarbeiten von Relativergebnissen, wie sie beispielsweise von Bröker und Blaik (1986) vorgelegt worden sind. Man kann Resultate von Brettschichtverleimungen mit Vollholz vergleichen, verschiedene Holzarten untereinander oder Verleimungen unterschiedlicher Strukturen (UF, MUF, MUPF, PF u.a.m.), wie auch den Einfluß bestimmter Parameter auf den Verleimungsvorgang.

Selbst wenn man versucht, mit erheblichem Aufwand die Streuungen bei Kurzprüfungen einzuschränken (Holzart Buche, Aussortieren von über- und untergewichtigen Proben zur Vereinheitlichung der Rohdichte u.a.m.), so kann man mit diesen Prüfverfahren beispielsweise keine Differenzierungen innerhalb einer Leimart

gewinnen (vgl. Tab. 2). Eine generelle Übertragung der allgemeinen Erfahrung hinsichtlich einer ausreichenden Langzeitbeständigkeit bei einem PF-Harz auf ein anderes PF-Harz ist bedenklich. Eine derartige generalisierende Betrachtungsweise birgt sogar unter Umständen gefährliche Risiken in sich. Aus diesem Grunde sollten Kurzprüfverfahren als das angesehen werden, was sie eigentlich nach ihrer Zweckbestimmung sein sollen, nämlich Arbeitsmittel zur Groborientierung und zu Überwachungszwecken. Sie bedürfen zur Erarbeitung von sichereren Beurteilungskriterien hinsichtlich des Langzeitverhaltens indessen bestimmter Ergänzungen.

4. Alterungsprüfungen

Nach Plath (1966) versteht man unter "Alterung" eine Änderung, meist ein Nachlassen der Bindefestigkeit im Verlauf längerer Zeiträume, die sowohl auf einer Abnahme der Kohäsion des Klebstoffes, zum Beispiel durch Versprödung, Abwandern von Weichmachern, wie auf einer allmählichen Aufhebung der Adhäsion in der Grenzschicht zwischen Kleb- und Fügungsmittel beruhen kann. Unter "künstlicher Alterung" versteht man (meist kombinierte) Kurzprüfungen, durch die eine Alterungstendenz im Laborversuch aufgezeigt werden soll.

4.1 Kurzzeitalterungen durch vorgeschaltete Lagerungsfolgen

Alle thermo- und duroplastischen Klebstoffe weisen ein mehr oder weniger ausgeprägtes Alterungsverhalten auf. Neben strukturell- und rezepturabhängigen Eigenschaften kommt hinzu, daß Verarbeitungsbedingungen (Härtungsverlauf, Fugendicke, Paßgenauigkeit) und Klimabelastungen (Temperatur- und Feuchteschwankungen) von weitreichender Bedeutung sind. Alle diese Faktoren beeinflussen einzeln und in Kombination die Fugenbeständigkeit einer Verleimung, das Versprödungsausmaß und damit das "Alterungsverhalten", vergleiche Tabellen 3a und 3b.

Man hat nun versucht, mit sogenannten Schnellalterungsprüfverfahren Kenntnisse über Ausmaß und Verlauf des zu erwartenden Alterungsverhaltens zu gewinnen (Caster 1980; Caster/Perrine 1974; Kreibich 1980; River 1984; Sanoe et al. 1980). In Tabelle 3a und 3b sind in einer Übersicht gebräuchliche Schnellalterungsverfahren wiedergegeben (Deppe/Schmidt 1985). Allen angeführten Schnellalterungsverfahren ist gemeinsam, daß sie in Form mehrerer Zyklen Wechsellagerungen von Wasserlagerungs- und Trocknungsperioden beeinhalten, die teilweise durch Kochwasserlagerungs- und Befrostungsperioden ergänzt werden. Strahlungsbelastungen fehlen bei diesen Prüfverfahren.

In Abbildung 13 sind Untersuchungsergebnisse von verschiedenen Brettschichtverleimungen aus Buchenholz wiedergegeben, die mit Schnellalterungsverfahren ermittelt wurden (Deppe 1975, 1982). Die Ergebnisse zwischen den einzelnen Verfahren stimmen weder der Größenordnung noch der Type nach überein. Auffallend ist, daß bei Prüfung nach DIN 53 254 (trocken) der modifizierte PVAc-Leim eine gewisse Beständigkeit erkennen läßt, während er nach dem WCAMA-Test als völlig unzureichend eingestuft werden muß (vgl. zu PVAc-Leimen Homanner 1974, Boehme 1977, Lefeuvre 1970). Nach dem ASTM-Test sind alle Aminoplastharze auszusondern, während PVAc-Verleimungen relativ günstig und Isocyanatverleimungen ungewöhnlich günstig bewertet werden. Nach dem

CTB-Test wiederum werden fast alle Verleimungen relativ günstig beurteilt. Wie nachfolgend belegt werden kann, sind PVAc-Verleimungen hinsichtlich ihrer Feuchtebeständigkeit relativ ungünstig zu beurteilen. Auch bei allen anderen Verleimungen ergeben sich unterschiedliche Gewichtungen, die bei den dargestellten Schnellalterungsverfahren nicht zum Ausdruck kommen.

Tab / Table 3a

Übersicht über verschiedene Kurzprüfverfahren zur orientierenden Ermittlung der Beständigkeit von Holzwerkstoffen

Survey of Different Accelerated Weathering Methods Used to Determine the Durability of Wood-based Materials

Bezeichnung Type	Codewort Code	Quelle Source	Zyklen Cycles	Prüfbedingungen je Zyklus Test conditions of each cycle
V 313	-	AGGLOS	3	Wasserlagerung (3 d, 20°C), Frost (1 d, -13°C), Trocknung (3 d, 70°C) Water storage (3 d, 20°C), frost (1 d, -13°C), drying (3 d, 70°C)
ASTM 1037	-	National Bureau of Standards	6	Wasserlagerung (1 h, 50°C), Wasserdampf (3 h, 95°C), Frost (20 h, -15°C), Trocknung (3 h, 99°C), Wasserdampf (3 h, 95°C), Trocknung (18 h, 99°C) Water storage (1 h, 50°C), water vapour (3 h, 95°C), frost (20 h, -15°C), drying (3 h, 99°C), water vapour (3 h, 95°C), drying (18 h, 99°C)
ASTM 3434	ABT	- " -	800	Kochen (10 min. 100°C), Abdunsten (4 min. Raumklima), Trocknen (57 min. 106°C), Kochen (10 min. 100°C) Boiling (10 min, 100°C), evaporation (4 min, room climate), drying (57 min, 106°C), boiling (10 min, 100°C)
ASTM 2369	Weatherometer	- " -	-	-
ASTM 2898	-	- " -	24	Wassersprühen (4 h, 21°C), Warmwasserlagerung (4 h, 66°C), Sprühen (4 h, 21°C), Normklimalagerung (8 h, 20/65) Water spraying (4 h, 21°C), water storage (4 h, 66°C), spraying (4 h, 21°C), normal climate (8 h, 20/65)
VPSD ¹⁾	-	- " -	-	Vakuum (30 min, 635 mm HG), Druck (60 min; 0,41 MPa), Tränken (60 min, 20°C), Trocknen (22 h, 71°C) Vacuum (30 min, 635 mm HG), pressure (60 min, 0.41 MPa), soaking (60 min, 20°C), drying (22 h, 71°C)
PRL	Weatherdrum	IS 22/73	1000 ²⁾	Probengröße: 1000 x 250 mm ² , 3 U/h, 8 h trocken, 16 h besprüht, konstantes UV-Licht Dimensions of test specimens: 1000 x 250 mm ² , 3 rotations/h, 8 h dry, 16 h sprayed, constant UV light
CSIR	CSR ³⁾	IUFRO 77	-	VPSD-Behandlung, Messung der irreversiblen Quellung VPSD treatment, measurement of irreversible swelling
WCAMA	-	-	6	Wasserlagerung (0,5 h, 20°C, 660-750 Torr), Kochen (2 h, 100°C), Trocknen (2 h, 104°C) Water storage (0.5 h, 20°C, 660-750 Torr), boiling (2 h, 100°C), drying (2 h, 104°C)
XENOTEST	-	BAM	6-12	1 Zyklus = 4 Wochen (vergl. Tabelle 4a) 1 cycle = 4 weeks (cf. Table 4a)

¹⁾ Nach Lehmann, W., 1977: Proc. WSU-Symposium Pullman 10: 351-368.
According to Lehmann, W. 1977: Proceedings, Tenth Washington State University International Symposium on Particleboard, T.M. Maloney, Ed., Washington State Univ., Pullman, WA, pp. 351-368.

²⁾ Nach Laidlaw/Beech, Proc. IUFRO-Meeting Pretoria 1973.
According to Laidlaw, R. and Beech, J. 1973: Proc. IUFRO Meeting Pretoria.

³⁾ Cell Shape Recovery; Nach Scharfetter (CSIR Pretoria), Proc. IUFRO-Meeting Venezuela 1977.
Cell Shape Recovery (according to Scharfetter, H. 1977 (CSIR Pretoria). Proc. IUFRO Meeting Venezuela.

Tab./Table 3b

Schnellalterungsverfahren im Kurzversuch zur Prüfung der Qualität von Verleimungen zur nach Deppe/Schmidt (1982) mit Ergänzungen

Short time accelerating aging tests for proving the quality of glulam according to Deppe/Schmidt (1982) with completions

Vorgehen (test procedure)		DIN V 70	DIN V 100	NF V 313	ASTM 1037*	VPDS STFI**	Hydrolyse*** (Hydrolysis)	Beschleunigt 7 h*** (accelerated)	ABT Test
Tränkung H ₂ O (Soaking) (Vakuum)	20°... 70°C	1...2 h	-	-	-	-	-	-	-
	20°...100°C	-	1...2 h	-	-	-	-	-	-
	20°C	-	-	3 x 24 h	-	-	3 x 24 h	-	-
	40°C	-	-	-	-	1 1/2 h	-	-	-
	49°C	-	-	-	1 h	-	-	1 1/2 h	-
	70°C	5 h	-	-	-	-	-	-	-
	100°C	-	2 h	-	-	-	-	-	10'
Frost (Frozen)	-12°C	-	-	1x 24 h	-	-	-	1 h	-
	70°C	-	-	-	-	-	7 x 24 h	-	-
Klima 90 % r.F. (Climate 90 % r.h.)	20°C	-	-	-	-	-	-	-	4'
	20°C	-	-	-	-	-	-	-	-
Dampf 93°C (Steam) Trocknung bei (Drying)	40°C	-	-	-	3 h	-	-	-	-
	70°C	-	-	-	-	-	Gewichts-konstanz	-	-
	103°C	-	-	3 x 24 h	-	-	-	1 1/2 h	-
	107°C	-	-	-	-	22 h	-	-	-
	20°C	1 h	1 h	-	-	-	-	-	57'
Tränkung H ₂ O (Soaking)	20°C	-	-	-	-	-	-	-	-
	20°C	1 h	1 h	-	-	-	-	-	-
Frost (Frozen)	-12°C	-	-	-	20 h	-	-	-	-
	99°C	-	-	-	3 h	-	-	-	-
Trocknung (Drying)	99°C	-	-	-	3 h	-	-	1 1/2 h	-
	99°C	-	-	-	18 h	-	-	-	-
Dampf (Steaming) 93°C	99°C	-	-	-	-	-	-	-	-
	99°C	-	-	-	-	-	-	2 h	-
Tränkung (Soaking)	40°C	-	-	-	-	-	-	2 h	-
	70°C	-	-	-	-	-	-	2 h	-
Trocknung (Drying)	40°C	-	-	-	-	-	-	-	-
	70°C	-	-	-	-	-	-	-	-
Anzahl der Zyklen number of cycles		1 x	1 x	3 x	6 x	10 x	1 x	1 x	1xbis...
Ungefähre Dauer appr. time		8 h	5 h	21 Tage	12 Tage	10 Tage	12 Tage	8 h	1:11h bis..

*Lehmann (1977) **Back u. Sandström (1981) ***Liiri u. Kivistö (1981)

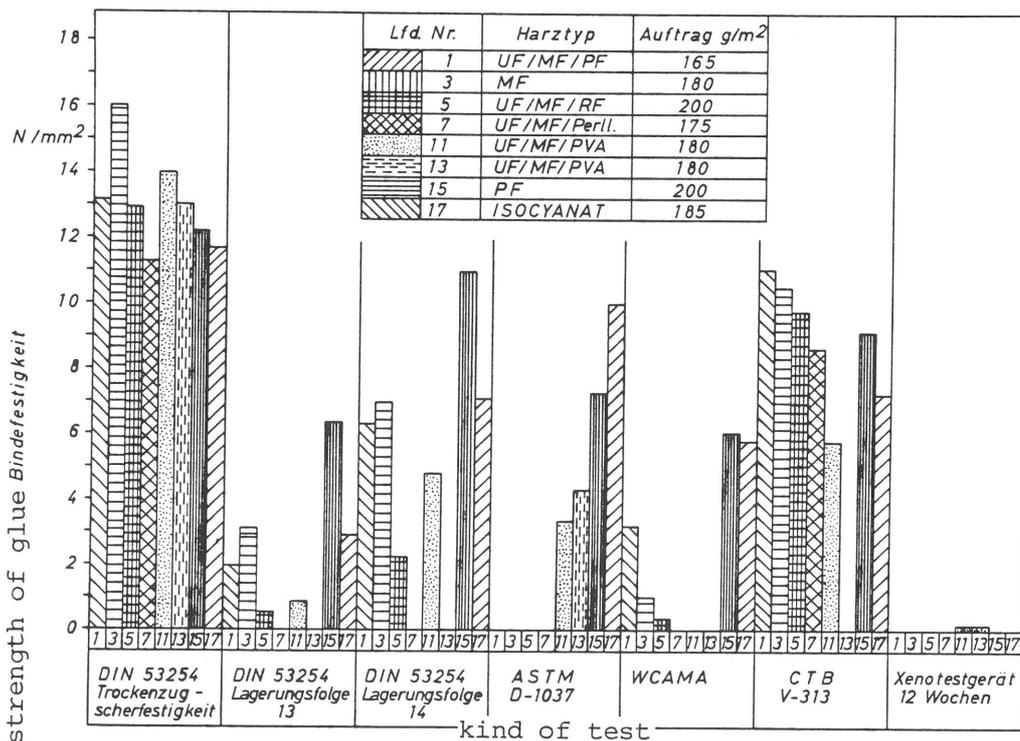


Abb./Fig. 13
Vergleichende Kurzzeitprüfungen an Brettschichtverleimungen aus Buchenholz
Comparative accelerated tests of beech glulam

4.2 Freibewitterungen

Freibewitterungsversuche sind praktisch Grundlagenversuche (Sell 1978, Meierhofer 1982). Die Freibewitterung stellt eine sehr scharfe Beanspruchungsform dar, so daß Resultaten aus Freibewitterungsversuchen ein hohes Maß an Sicherheit in ihrer Aussage hinsichtlich Dauerhaftigkeit beziehungsweise Alterung zukommt. Freibewitterungsversuche bergen indessen einige Probleme in sich. Zunächst müssen die Versuche langfristig konzipiert sein. So kann es kommen, daß nach 5 oder 10 Jahren Versuchsdauer die untersuchten Materialien von der technischen Entwicklung bereits überholt sind. Hinzu kommt, daß der Freibewitterungsversuch bislang nicht standardisiert worden ist, so daß die Resultate aus verschiedenen Versuchen nur bedingt vergleichbar sind. Hinzu kommt weiter, daß auch die jeweilige Jahreszeit, zu der die Versuche begonnen werden, von Einfluß auf die Ergebnisse sein kann.

Ungeachtet dieser Schwierigkeiten sind Freibewitterungsversuche als praxisgerechte Belastung zur Erfassung grundlegender Daten zur Verleimungsqualität unerläßlich (Raknes 1981; Meierhofer 1982, 1983). Im Freibewitterungsversuch sollten in erster Linie Klebstoffe mit Standardrezepturen und -ausführungen geprüft werden, um Grundlagendaten für vergleichende Versuche mit Laborverfahren zu gewinnen, die aus Freibewitterungsversuchen abgeleitet werden sollten. Die Schwierigkeit bei der Auswertung von Freibewitterungsversuchen liegt unter anderem in dem Umstand, daß in der Regel nicht die genauen Harzrezepturen mitgeteilt werden, so daß oftmals hierdurch eine Beurteilung des Versuchsergebnisses erschwert oder sogar unmöglich wird. Bislang liegen Ergebnisse aus langfristigen Freibewitterungsversuchen an Brettschichtverleimungen in den USA (Gillespie/Lewis 1972; River/Gillespie 1981; River/Gillespie/Baker 1981: FPL Res. Pap. No. 393; White, N. 1975: BRE-IP/ep No. 84; Laufenberg 1982; Gillespie 1980) und Großbritannien (Dinwoodie, J. 1981: WBPI 6 (11): 50-51; Laidlaw, R. 1975: BRF-IS No. 9, Princes Risborough; Back, E./Sandström, E. 1982: Holz RuW 40: 61-75; Rodwell, D. 1986: BRE-Note N 81/86, Princes Risborough; Rodwell, D. 1984: BRE-Inform. Pap. IP 8, Princes Risborough) vor. Ergebnisse aus Freibewitterungsversuchen an Brettschichtverleimungen haben den Nachweis erbracht, daß Phenoplastverleimungen über ein hohes Maß an Sicherheit verfügen. Es dürfte jedoch schwierig sein, im Freibewitterungsversuch Differenzierungen innerhalb einer Leimgruppe beispielsweise von verschiedenen PF-Verleimungen zu erzielen. Hier zeigen sich gewisse Grenzen des Freibewitterungsversuches.

4.3 BAM-XENOTEST-Verfahren

Die Unzulänglichkeiten der Kurzprüfverfahren als auch des Freibewitterungsversuches haben zu Überlegungen geführt, im Rahmen des Brauchbarkeitsnachweises für neue Holzwerkstoffe zum Einsatz als Baustoffe ein Kurzzeitbewitterungsverfahren zu entwickeln, mit dem der Versuch unternommen werden soll, das Langzeitverhalten einer Verleimung in einem Versuchszeitraum von mehreren Wochen zu erfassen. Ausgangspunkt der Überlegungen waren die natürlichen Bewitterungsparameter (Temperatur, Luftfeuchte, Frost, Strahlung), die in einem bestimmten Wechsel auf das Untersuchungsobjekt einwirken sollen. Dazu wurden die Klimadaten des Meteorologischen Instituts der FU Berlin-Dahlem aus einer Zeit-

spanne von rund 100 Jahren ausgewertet. Aus den jeweils wirksamen Parametern wurde ein bestimmtes Belastungsschema entwickelt (Deppe/Schmidt 1979).

Für die Untersuchungen wurde ein XENOTEST-Bewitterungsgerät ORIGINAL HANAU, Typ 1200, eingesetzt (Abb. 14).

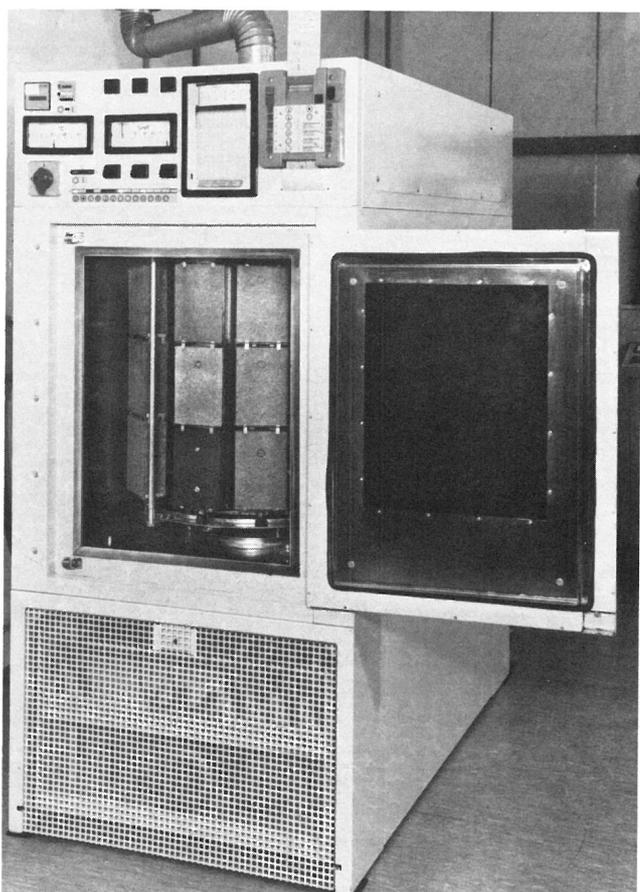


Abb./Fig. 14
Ansicht eines XENOTEST-Bewitterungsgerätes Bauart ORIGINAL HANAU Typ 1200 (Foto BAM)
XENOTEST Equipment, System ORIGINAL HANAU Type 1200 (Photo BAM)

Der Bewitterungszyklus ist in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4a

Prüfparameter und Zyklusfolge beim BAM-Kurzzeitbewitterungsverfahren (XENOTEST 1200) nach Deppe/Schmidt (1979)

<u>Wechselbeanspruchung im Xenotest-Gerät Typ 1200 (Original Hanau)</u>		<u>Zeitfolge der Wechselbeanspruchung</u>		
Beanspruchungen		Beginn am Freitag 9 ⁰⁰ Uhr		
Beregnung:	mit 24 l enthärtetem Wasser von 18 °C je h/m ² Probenfläche	<u>Bewitterungswoche</u>	<u>Dauer in h · min</u>	<u>Beanspruchungsart</u>
UV-IR-Bestrahlung:	mit 3 Xenonstrahlern à 4500 Watt, Wellenbereich 300 bis 830 nm, Bestrahlung H in 4 Wochen ca. 650 MWs/m ² , Probenraumtemperatur 34 bis 36 °C, Schwarztafeltemperatur 60 °C, relative Luftfeuchtigkeit ca. 18 %	1. , 5. und 9.	72:00	Beregnung
Kältelagerung:	in einer Tiefkühltruhe bei -20 °C		4 Wechsel von	
Beanspruchungsdauer:	3 Zyklen à 4 Wochen = 12 Wochen = 2016 h		14:20	UV-IR-Bestrahlung
Probenabmessungen:	6 Zyklen à 4 Wochen = 24 Wochen = 4032 h		3:00	UV-IR + Beregnung
	197 x 130 mm x 3 25 mm (Holzwerkstoffe)		6:40	Beregnung
	90 x 45 mm x 3 10 mm (Blauebrettchen)	2. , 6. und 10.	7 Wechsel von	
	50 x 25 mm x 15 mm (Normklotzchen)		15:20	UV-IR-Bestrahlung
Die zu untersuchenden Proben hängen in einem Karussell auf flachen Probenträgern und bewegen sich mit diesem um das Strahler-Filter-Beregnungssystem.			2:20	UV-IR + Beregnung
Die Umlaufgeschwindigkeit des Karussells beträgt 1,66 Umläufe/Min. = 1 Umlauf in 36 Sekunden. Nach jedem Umlauf werden die Proben-träger um 180° gewendet. Da die Proben-träger auf beiden flachen Seiten mit Proben bestückt sind, werden die Probenoberflächen nur bei jeder 2. Umdrehung des Karussells bestrahlt bzw. beregnet, das ergibt dann in 4 Wochen:			6:20	Beregnung
ca. 200 h Beregnung (400 h mit hoher Feuchtigkeit)		3. , 7. und 11.	7 Wechsel von	
ca. 190 h UV-IR-Bestrahlung (312 h Wärme bei 34-36 °C)			6:50	UV-IR-Bestrahlung
ca. 60 h Kältelagerung			3:10	UV-IR + Beregnung
			14:00	Beregnung
		4. , 8. und 12.	3 Wechsel von	
			4:00	UV-IR-Bestrahlung
			2:00	UV-IR + Beregnung
			18:00	Beregnung
			weiter im Wechsel und zwar	
			6:00	Beregnung
			16:30	Kältelagerung
			7:30	Beregnung
			16:30	Kältelagerung
			7:30	Beregnung
			16:30	Kältelagerung
			25:30	Beregnung

Table 4b

Exposure Changes in XENOTEST Apparatus according to Deppe/Schmidt (1979)

Exposure changes in XENOTEST apparatus (origin. Hanau)		Timeplan of the exposure changes		
Type of Exposure		Begin on Friday, 9.00 h		
		Exposureweek	Duration in h + min	Type of exposure
Precipitation:	with 24 l of softened water at 18° C h/m ² Test surface	1., 5. and 9.	72:00	Precipitation
UV-IR-Irradiation:	with 3 Xenon emitters each of 4500 Watt,, wavelength band from 300 to 830 nm irradiation II in 4 weeks ca. 650 MWS/m ² , ambient temperature in app. 34 to 36° C, black board temperature 60° C, relative humidity ca. 18%		4 Alternations of 14:20 3:00 6:40	UV-IR-Irradiation UV-IR+Precipitation Precipitation
Coldstorage:	in a refrigerator at -20° C	2., 6. and 10.	7 Alternations of 15:20 2:20 6:20	UV-IR-Irradiation UV-IR+Precipitation Precipitation
time of exposure:	3 cycles of 4 weeks=12 weeks =2016 h 6 cycles of 4 weeks=24 weeks =4032 h	3., 7. and 11.	7 Alternations of 6:50 3:10 14:00	UV-IR-Irradiation UV-IR+Precipitation Precipitation
Test Specimens:	197 x 130 mm x 3...25 mm (wood based materials) 90 x 45 mm x 3...10 mm (for blue stain) 50 x 25 mm x 15 mm (Agar blocks)	4., 8. and 12.	3 Alternations of 4:00 2:00 18:00	UV-IR-Irradiation UV-IR+Precipitation Precipitation
The specimens to be tested hang in a framework on flat specimen carriers and move with this around the emission filter-precipitation system. The speed of rotation of the framework is 1,66 rev/min = 1 revolution in 36 secs. After each revolution the specimen carriers are turned through 180°. As the sample carrier has specimens attached to both sides, the surface of a specimen is exposed only every second revolution of the frame work, which in 4 weeks amounts to: ca. 200 h Precipitation (400 h with high humidity) ca. 190 h UV-IR-irradiation (312 h warmth at 34-36° C) ca. 60 h Coldstorage			followed by, alternately 6:00 16:30 7:30 16:30 7:30 16:30 3:00 4:30 18:00	Precipitation Coldstorage Precipitation Coldstorage Precipitation Coldstorage Precipitation Coldstorage Precipitation

Aufgrund von Erfahrungen bei vergleichenden Untersuchungen zur Frei- und XENOTEST-Bewitterung bei Holzwerkstoffen, bei denen sich eine relativ gute Übereinstimmung hinsichtlich der Bewertungen bei beiden Verfahren ergab (Abb. 15), wurden in einer besonderen Versuchsreihe XENOTEST-Versuche an Brettschichthölzern mit unterschiedlichen Verleimungen vorgenommen. Ausgangspunkt der Überlegungen hierbei war der Umstand, daß nach Erfahrungen mit Holzwerkstoffen ein Zeitraum von etwa einem Jahr XENOTEST-Bewitterung etwa 10 Jahren Freibewitterung entspricht. In Abbildung 16 sind die Probenräger wiedergegeben, die bei den XENOTEST-Versuchen verwendet wurden.

Bei diesen Versuchen fanden drei Verleimungstypen Anwendung:

- Phenol/Resorcinverleimung (PF/RF)
(Verleimungstyp AW 100 DIN 68 705)
RF-Anteil: ca. 2 % bezogen auf Flüssigharz
- Modifizierte PVAc-Verleimung
Härterzugabe: 5 % auf Flüssigleimflotte
(Beanspruchungsgruppe B 4 DIN 68 602)
- Phenolmodifizierte Aminoplastmischharzverleimung (MUPF)
Anteile UF : MF : PF: etwa 60 : 35 : 5, Säurehärtung

Leimauftrag bei allen Leimtypen ca. 200 g/m². Alle Harze wurden im Untermischverfahren auf gehobelten Lamellen mit 12 % \pm 2 % Holzfeuchte verarbeitet.

Zusätzlich zu den vorstehend angeführten Varianten wurden die Verleimungen an Brett lamellen durchgeführt, die zum Zwecke einer Holzschutzbehandlung teilweise mit Schutzsalzen (Chrom-Kupfer-Bor und Chrom-Kupfer-Arsen) CKB und CKA getränkt waren. Zur Verbesserung der Schutzsalzaufnahme war ein Teil der imprägnierten Lamellen mit Hilfe einer Nadelperforation (Incising-Verfahren) (Deppe/Gersonde 1985) vorbehandelt worden.

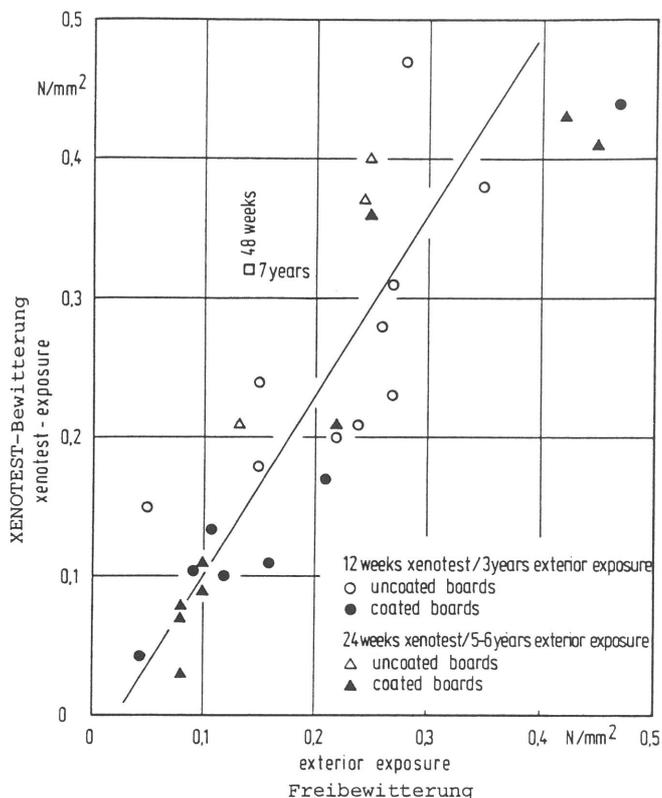


Abb./Fig. 15
 Zusammenhang zwischen vergleichenden Freibewitterungs- und XENOTEST-Bewitterungen bei Holzwerkstoffen nach Deppe/Schmidt (1981)
 Correlation between comparative tests of outdoor exposure and XENOTEST aging of wood-based panel materials according to Deppe/Schmidt (1981)

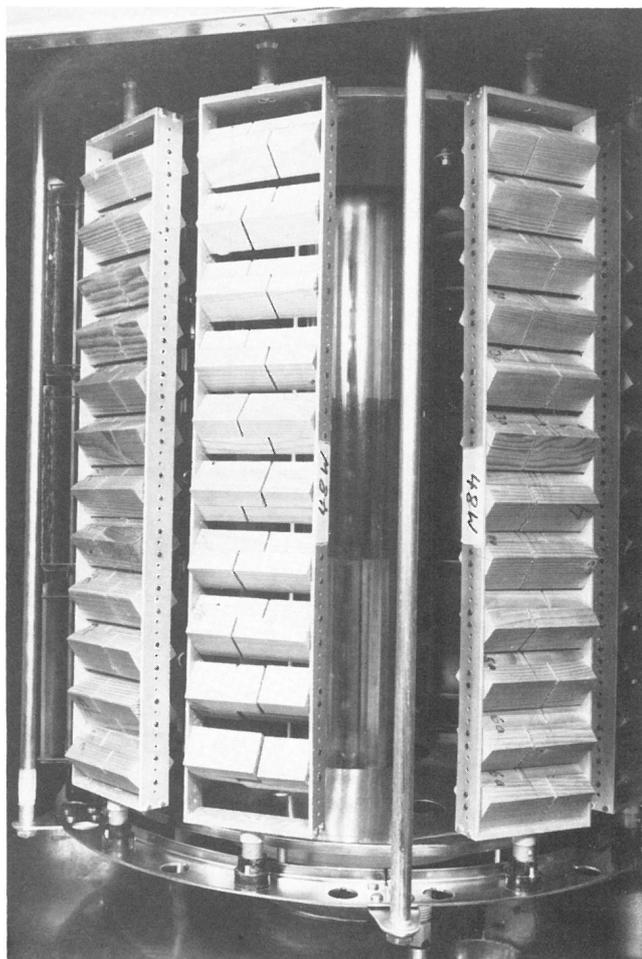


Abb./Fig. 16
 Probenhalter zur Aufnahme von Brettschicht-holz-Prüfkörpern zwecks Ermittlung der Beständigkeit im XENOTEST-Kurzzeitbewitterungsverfahren
 Wing assembly for testing glulam samples in the XENOTEST chamber

Es lagen demnach bei den XENOTEST-Versuchen folgende Versuchsvarianten vor: Drei Verleimungsarten jeweils ohne und mit Schutzsalzimpregnierung bzw. ohne und mit Incisingbehandlung. Zur Quantifizierung der Delaminierungen wurde eine besondere Prüfvorrichtung eingesetzt (Abb. 16a).

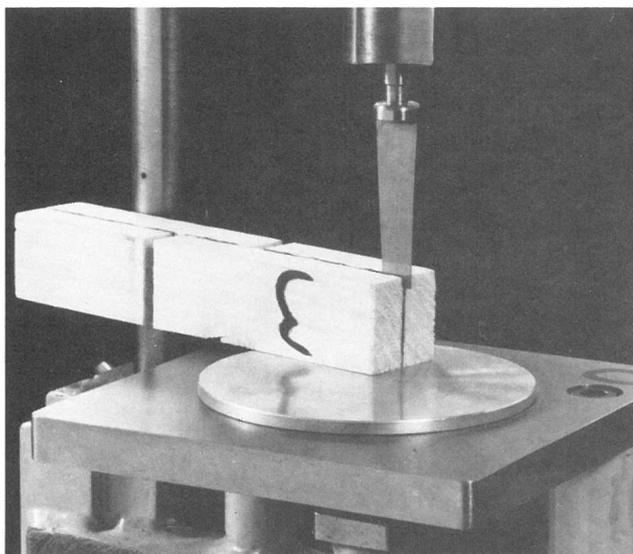


Abb./Fig. 16a
 Meßvorrichtung zur Bestimmung der Delaminierungstiefe
 Equipment for measuring the depth of delamination

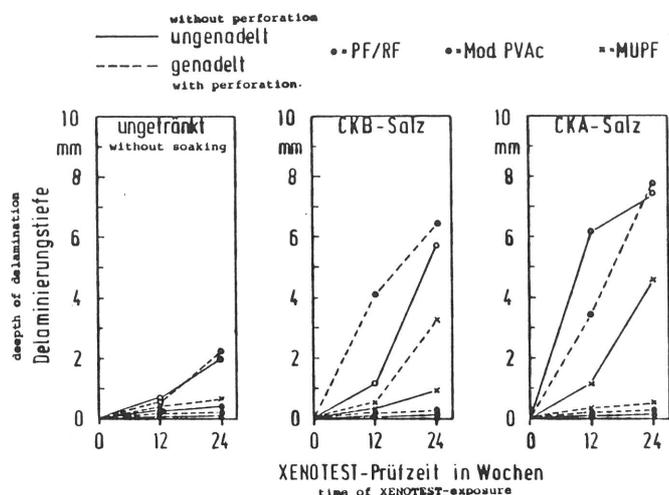


Abb./Fig. 17
Fugendelaminierungen bei Brettschichtverleimungen nach Kurzzeitbewitterung
Depth of glue line delamination of glulam components after XENOTEST exposure

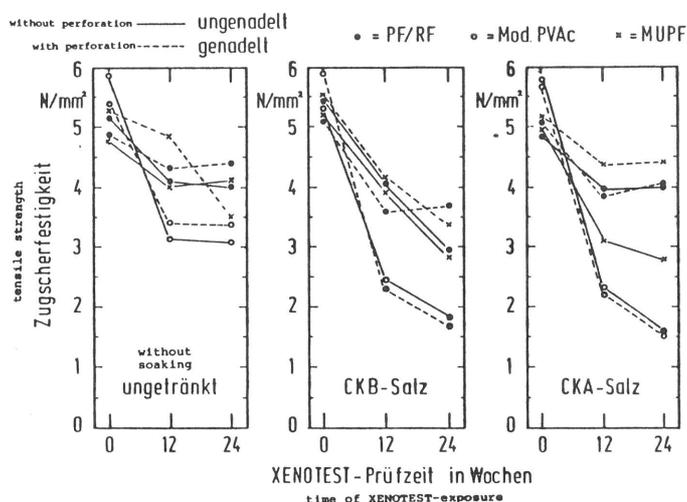


Abb./Fig. 18
Zugscherfestigkeitswerte bei unterschiedlich hergestellten Brettschichtverleimungen nach Kurzzeitbewitterung
Tensile shear strength as a function of XENOTEST exposure

Die Ergebnisse der XENOTEST-Bewitterung sind in den Abbildungen 17 und 18 dargestellt. Aus Abbildung 17 ist ersichtlich, daß es unter dem Einfluß der XENOTEST-Kurzzeitbewitterung zu unterschiedlich starken Delaminierungen in der Leimfuge gekommen ist, die stets vom Rand der Fuge ausgingen und in den Trocknungsphasen infolge von Schrumpfspannungen auftraten. Bei allen Kollektiven wiesen die PF/RF-Verleimungen die geringsten Delaminierungen auf, während die PVAc-Verleimungen die größten Zerstörungen beinhalteten, gefolgt von den MUPF-Verleimungen. Die starke Zunahme der Delaminierungstiefe bei den PVAc-Verleimungen bei allen salzimprägnierten Lamellen scheint von Leimunverträglichkeiten herzurühren, obwohl vor dem Verleimen die Flächen abgehobelt wurden. Analog zu den Delaminierungen vermitteln die Zugscherfestigkeitsprüfungen (Abb. 18) ein ähnliches Bild. Auch hier wiesen die PVAc-Verleimungen bei allen Kollektiven die stärksten Festigkeitsverluste auf (bis zu 70 %). Diese Ergebnisse überraschen um so mehr, als die verwendete PVAc-Verleimung die Anforderung nach B 4 gemäß DIN 68 602 erfüllt. Die PF/RF-Verleimung weist bei den unbehandelten Kontrollproben als auch bei den CKA-imprägnierten Proben nach anfänglichem geringen Festigkeitsabfall (rund 30 %) eine Stabilisierung auf. Im Gegensatz dazu ist bei CKB-imprägnierten Proben ein stärkerer Abfall auch bei den PF/RF-verleimten Proben erkennbar. Dies wird vermutlich auf die bekannten Unverträglichkeiten zwischen Bor-Verbindungen und PF-Harz zurückzuführen sein. Zwischen Proben ohne und mit Perforation ergaben sich bei allen Kollektiven keine signifikanten Unterschiede. Die Perforation (mit ihrem günstigen Aufnahmevermögen an Schutzmittel) beeinflusst also das Resultat nicht negativ bei einem Nadel-durchmesser von 0,5 bis 0,6 mm.

Die XENOTEST-Untersuchungsergebnisse bestätigen in der Tendenz den aus Freibewitterungsversuchen bereits bekannten Trend einer Überlegenheit der PF/RF-Verleimung. Etwas beunruhigend ist der relativ starke Festigkeitsverlust bei der modifizierten PVAc-Verleimung. Bei der MUPF-Verleimung kann aus den Untersuchungsergebnissen noch keine eindeutige Tendenz abgeleitet werden. Hierzu bedarf es weiterer spezieller Versuche.

4.4 Dauerstandversuche im Wechselklima

Für den Holzleimbau ist das Alterungsverhalten von Brett-schichtverleimungen unter Last im Wechselklima von außerordentlicher Bedeutung (Staff 1959; River/Gillespie 1981; Laufenberg 1982; Solar 1977; Meierhofer/Sell 1979; Sell 1978; Sell et al. 1981). Alle Klebstoffe weisen eine Alterung entsprechend ihrer Struktur auf. Bei den Kondensationsharzen stellen sich im Laufe der Zeit Versprödungen durch Schrumpfspannungen ein. Das Ausmaß dieser Versprödungen ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Ein maßgebender Faktor ist beispielsweise die Fugendicke. Daneben müssen Abbauerscheinungen durch hydrolytische Zersetzung oder Säureschädigungen in Rechnung gestellt werden. Je unelastischer eine Leimfuge wird, umso weniger kann sie zusätzliche Belastungen durch Quellen und Schwinden der Holzlamellen infolge wechselnder Holzfeuchte aufnehmen. Untersuchungen von Solar (1977) ergaben beispielsweise beim Verleimen unterschiedlich feuchter Lamellen (Rücktrocknung von $u = 18$ auf 7% bei einer Nachbarlamelle mit $u = 10\%$ eine Schubspannung von ca. $= 13 \text{ N/mm}^2$ in der Leimfuge bei einer Scherfestigkeit von Fichtenholz beispielsweise quer zur Faser von $12 - 16 \text{ N/mm}^2$.

4.4.1 Dauerstandversuche an Fichtenbrettschichtholzverleimungen

Bei Versuchen in der BAM wurden in einer Versuchsserie Dauerstandversuche an Fichtenbrettschichtholzverleimungen unter Last durchgeführt (Abb. 19a, 19b). Dabei wurde ein Wechselklima gewählt, bei dem eine Schwankungsbreite der Holzfeuchte von etwa 10% auftrat (Feuchtklima: ca. $20 - 21\%$ Holzfeuchte; Trockenklima: ca. $8 - 10\%$ Holzfeuchte). Untersuchungen von Möhler/Steck (1980) erbrachten den Nachweis, daß bei einem Wechselklima von rund $22^\circ\text{C}/44\%$ relative Luftfeuchte und $32^\circ\text{C}/27\%$ r.L. eine

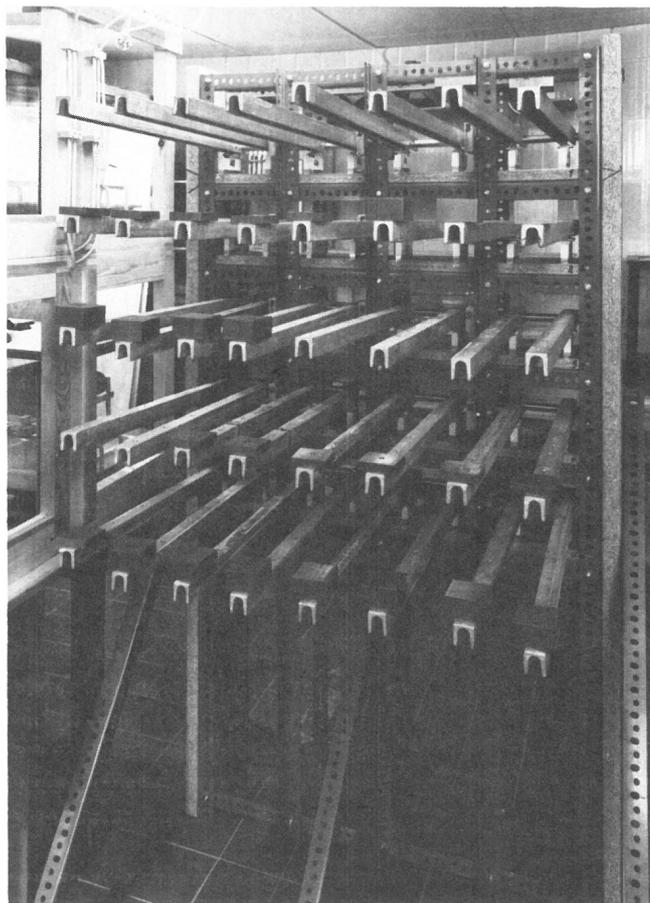


Abb./Fig. 19a
Prüfgestell für Dauerstandversuche im Wechselklima
(Foto BAM)
Equipment for testing fatigue behaviour under cyclic humidity conditions
(Photo BAM)

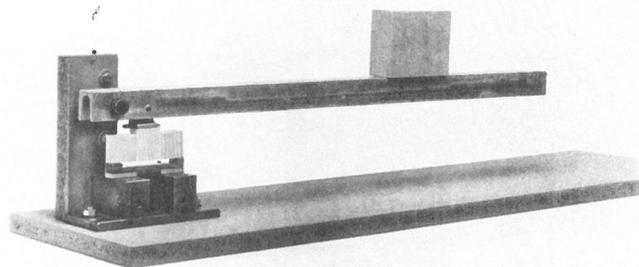


Abb./Fig. 19b
Schema der Lastaufbringung im Dauerstandversuch (Foto BAM)
Application of load in fatigue tests
(Photo BAM)

Schwankungsbreite der Holzfeuchte in den am meisten gefährdeten Randbereichen von etwa 10 - 12 % (23 % und 11 % Holzfeuchte) zu verzeichnen war. Die für die Entstehung von Rissen maßgebliche Schwindung läßt Querspannungen im Extremfall von fast 2,5 N/mm² in den Randpartien der Leimbauteile entstehen (5 % Fraktile = 1,27 N/mm², 1 % Fraktile = 0,88 N/mm²). Das den BAM-Versuchen zugrundeliegende Wechselklima wies ebenfalls eine Schwankungsbreite von etwa 10 - 12 % Holzfeuchte (Abb. 20) auf. Die Klimabedingungen waren abweichend von üblichen Kurzprüfungen (ASTM-, WCAMA-, V 313-Test u.a.m.) so gewählt, daß die Holzfeuchte in praxisgerechten Bereichen schwankte.

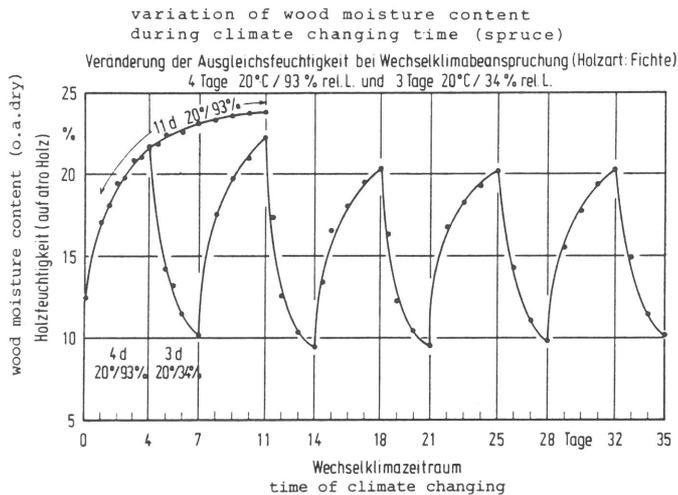


Abb./Fig. 20
Verlauf der Holzfeuchtigkeit in einem bestimmten Wechselklimazyklus (20°C/93 % r.L. - 20°C/34 % r.L.)
Moisture content in spruce glulam under cyclic conditions (20°C/93 % r.h. - 20°C/34 % r.h.)

Schwierigkeiten ergaben sich bei der Ausformung des Prüfkörpers und der Lasteinleitung bei den Dauerstandversuchen. In Zusammenarbeit mit dem BAM-Laboratorium 2.23 "Baukonstruktionen aus Holz, Kunststoffen und Sonderbaustoffen" ¹⁾ wurde eine Prüfkörperform gewählt, die von der üblichen Kreuzscherprobe (z.B. Hoyle 1981, Abb. 4 oder Göldi et al. 1979) abweicht (Abb. 21). Bei diesem Prüfkörper treten an der Unterseite in den Leimfugen Querspannungen auf, die im oberen Bereich der Leimfugen in Scherbeanspruchungen übergehen. Die Verteilung der Spannungen in der gewählten Probenform ist aus einer Modellrechnung (Abb. 22) ersichtlich. Die Berechnung ergab, daß Querszug- : Scherspannungen in einem Verhältnis von etwa 5 : 1 stehen. Entsprechend der Aufgabenstellung überwog die Querszugbeanspruchung eindeutig. Dies war beabsichtigt, da auf diese Weise die Bedingungen für das Entstehen von Delaminierungen in den Leimfugen simuliert werden sollten.

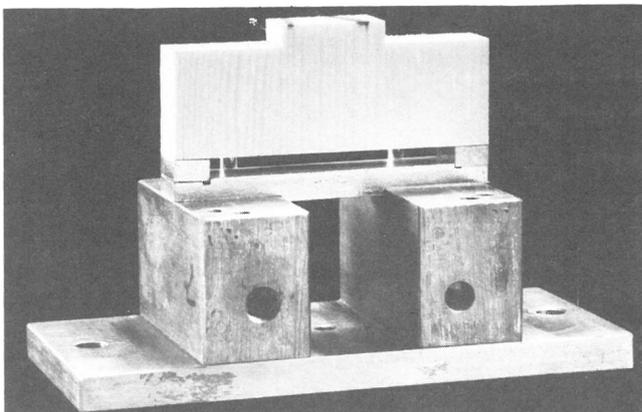


Abb./Fig. 21
Prüfkörper mit beweglicher Auflagevorrichtung (Foto BAM)
Sample with flexible bearing points (Photo BAM)

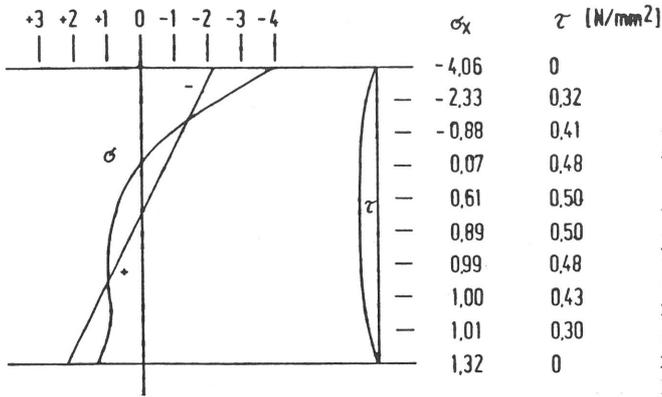


Abb./Fig. 22
Modellrechnung zur Verteilung von Querkzug- und Scherspannungen in Proben gemäß Abb. 6 bei Belastung unter Annahme konstanter Elastizitätsmodulwerte nach W. Brünner (BAM-Labor 2.23)
Calculation of the distribution of internal bond and shear stresses in samples according to Fig. 6 assuming a constant modulus of elasticity according to Brümmer (BAM-Lab. 2.23)

Die gewählte Versuchsanordnung (Abb. 19b) hatte den Vorteil, daß die Lasteinleitung durch verstellbare Gewichte über einen Hebelarm leicht verändert werden konnte. Dauerstandversuche mit unterschiedlichen Lasten ergaben bei einem Wechselklima 20/95-34, daß bei 400 N Lasteinleitung bereits nach 2 Wochen alle Prüfkörper zerstört waren. Auch bei 300 bzw. 240 N Belastung war die erzielte Differenzierung beispielsweise zwischen UF-Leimen und PF-Leimen unzureichend (Abb. 23). Bei einer Abminderung der Klimabedingungen von 95 % auf 85 % relative Luftfeuchte ergaben sich wesentlich bessere Differenzierungen zwischen UF- und PF-Verleimungskollektiven (Abb. 24). Das Ausmaß der Prüfkörperverformung wurde reduziert (Abb. 25). Alle weiteren Versuche wurden daher bei 400 N Last und einem Wechselklima 20/85 - 20/34 gefahren.

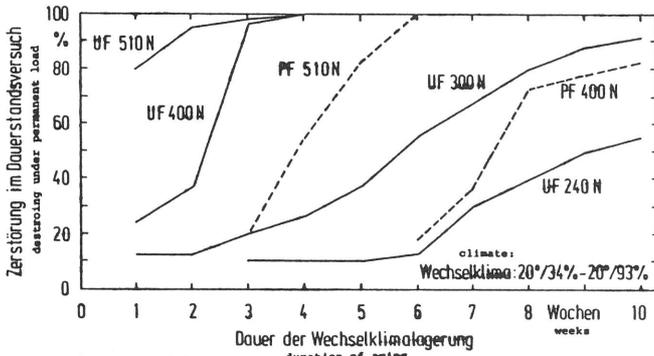


Abb./Fig. 23
Zerstörungen im Dauerstandsversuch bei Wechselklimalagerung in Abhängigkeit von der Höhe der Belastung
Deterioration observed in fatigue tests under cyclic conditions as a function of load and time

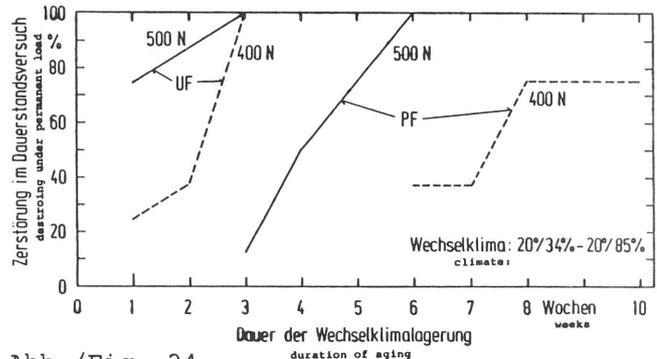


Abb./Fig. 24
Dauerstandprüfungen von Brettschichtverleimungen im Wechselklima (20°C/85 % r.L. - 20°C/34 % r.L.) bei verschiedenen hoher Belastung
Creep test of glulam under cyclic conditions (20°C/85 % r.h. - 20°C/34 % r.h.) at different loads

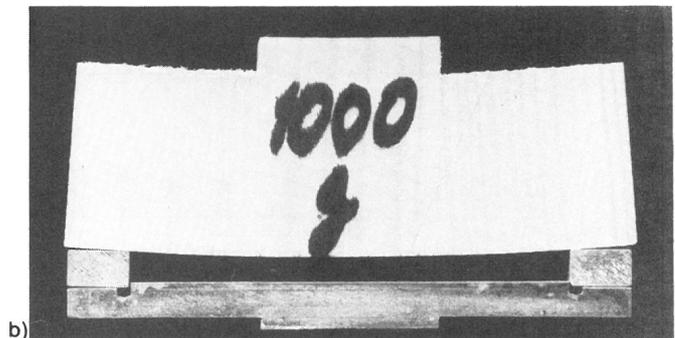
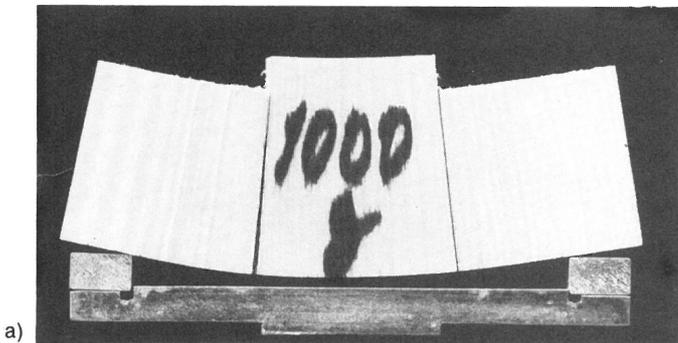


Abb./Fig. 25
Ausmaß der Prüfkörperverformung von Fichtenbrettschichtholzverleimungen bei gleicher Last und unterschiedlichem Wechselklima von

a) 20/93 - 20/34 b) 20/85 - 20/34
Deformation of glulam spruce under constant load and cyclic conditions
a) 20/93 - 20/34 b) 20/85 - 20/34

Differenzierungsmöglichkeiten sollten sich bei dieser Versuchsanordnung ergeben durch

- unterschiedlich langes Zeitstandverhalten (vgl. Abb. 24)

und/oder

- unterschiedlich hohe Anteile an Leimbruch bzw. unzerstörten Proben.

Die erste Versuchsserie wurde mit Fichtenholz durchgeführt. Als Holzleime fanden 19 verschiedene handelsübliche PF-Leime Verwendung.

Nach Klimatisierung (3 Wochen 20/65) wurden je 3 gehobelte Fichtenholzlamellen mit PF- bzw. PF/RF-Leim kaltverleimt (Zwingenverleimung: Druck 0,3 N/mm²). Der Leimauftrag betrug je nach Rezepturvorschrift 200 - 300 g/m². Es wurden dünne Leimfugen (≤ 0,1 mm DIN 68 141) hergestellt. Nach dem Verleimen erfolgte Konditionierung der Lamellen und anschließend das Aufschneiden zu Prüfkörpern (vgl. Abb. 21). Die Prüfkörper wurden in einer Klimazelle in eine Dauerstandprüfvorrichtung eingebaut (vgl. Abb. 19), in der ein Wechselklima (20/85 - 20/34) gefahren werden konnte. Ein Zyklus betrug 4d = 20/85 und 3d = 20/34. Die Belastung erfolgte mit 400 N je Probe (0,44 N/mm² verteilt auf 2 Leimfugen von 30 x 15 mm). Nach Abschluß einer Vorserie mit UF- und PF-Verleimungen, die lediglich der Überprüfung der Differenzierung diente, wurden die Leime für die Durchführung der Hauptserie wie folgt angesetzt:

A = Verleimung nach Rezepturvorschrift

B = RF-Härterunterdosierung um rund 50 %

C = RF-Härterüberdosierung um rund 50 %

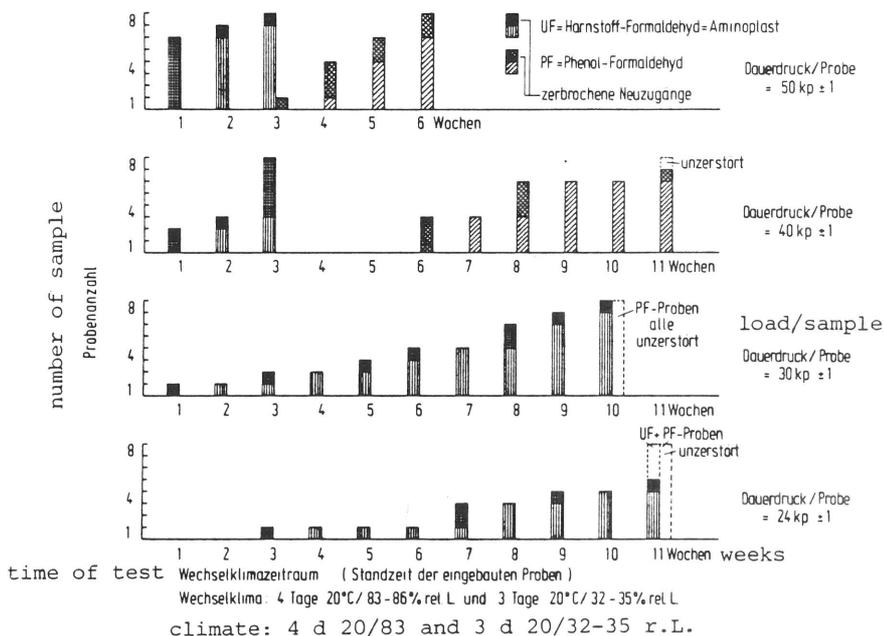


Abb./Fig. 26
 Bruch der Proben in Abhängigkeit vom Klima (20/85 und 20/34) und Dauerbelastung

Failure rate as a function of the climatic conditions (20/85 and 20/34) under constand load

Bei den Vorversuchen konnte ermittelt werden, daß bei vorstehend beschriebener Versuchsanordnung und -durchführung Proben mit UF-Verleimung je nach Belastung spätestens nach Ablauf von 80 - 90 % der Versuchszeit zu 100 % zerstört waren (Abb. 26), während Proben mit PF-Verleimung unzerstört blieben. Bei der Belastungsstufe 2 (400 N) waren alle Proben mit UF-Verleimung nach 3 Wochen Versuchsdauer zu 100 % zerstört. Die Zerstörung der Proben mit PF-Verleimung begann erst nach 6 Wochen Versuchsdauer. Nach 10 Wochen (20°C/34 % : 85 %) waren noch 10 % der PF-Proben unzerstört.

Die Ergebnisse der Dauerstandversuche sind in den Abbildungen 27 bis 31 zusammengefaßt, wobei zunächst sowohl Holz- als auch Leimbrüche sowie unzerstörte Proben der Auswertung zugrundegelegt worden sind. Es wurden jeweils 2 Kollektive zu je n = 7 ausgesondert, und zwar als "ausreichend" jene Verleimungen bezeichnet, die nach 10 Wochen Versuchsdauer noch nicht vollständig zerstört waren (Einzelprobenkollektiv jeweils n = 16). Als "nicht befriedigend" wurden Verleimungen eingestuft, die spätestens nach 6 Wochen Versuchsdauer vollständig zerstört waren. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit den zugehörigen Standardabweichungen.

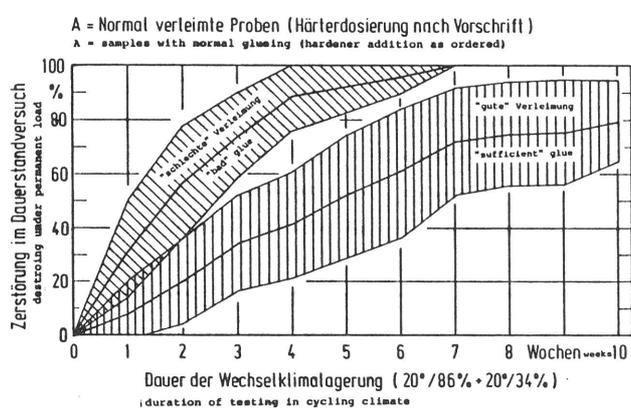


Abb./Fig. 27

Dauerstandversuche an PF/RF-verleimtem Brettschichtholz mit "normaler" Rezeptur (Verarbeitung nach Vorschrift)
Fatigue tests of PF/RF glulam with "normal" composition (glued in accordance with the specifications of the producer)

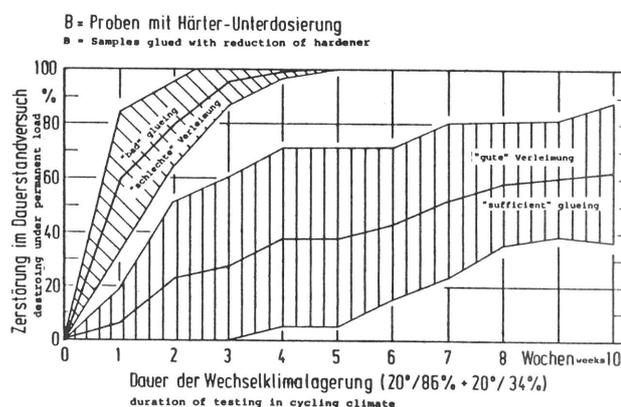


Abb./Fig. 28

Dauerstandversuche an PF/RF-verleimtem Brettschichtholz mit Härterunterdosierung (50 %)
Fatigue tests of PF/RF glulam with reduced content of hardener (50 %)

Aus Abbildung 27 ist ableitbar, daß bei normaler Dosierung rund ein Drittel der Verleimungen nach etwa der Hälfte der Versuchszeit versagte. Praktisch wiesen nur 3 Verleimungen auch nach 10 Wochen Versuchsdauer noch rund 30 - 40 % an unzerstörten Proben auf. Von einer "zufriedenstellenden" Verleimung sollte man demnach verlangen, daß sie nach 10 Wochen Versuchszeit mindestens noch 20 % an unzerstörten Proben aufzuweisen hat. Bei der Unterdosierung (Abb. 28) sind die "ausreichenden" Verleimungen durch ein sehr breites Streuband ausgewiesen. Hier versagten die "unbefriedigenden" Verleimungen in der Tendenz zeitlich bereits erheblich früher. Praktisch waren alle diese Verleimungen schon nach 3 Wochen weitestgehend zerstört. Bei der Überdosierung (Abb. 29) ist das Streuband für die als "ausreichend" bezeichneten Verleimungen zwar relativ eng bemessen, trotzdem zeigt sich kein deutlicher Unterschied zu den "normalen" Verleimungen, dafür fällt das Streuband für die sogenannten "nicht zufriedenstellenden" Verleimungen relativ breit aus.

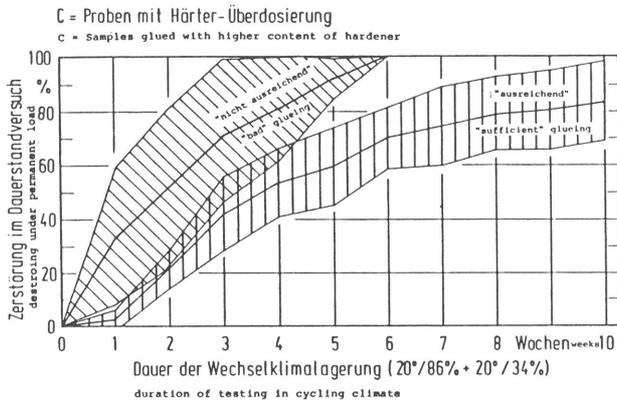


Abb./Fig. 29
Dauerstandversuche an PF/RF-verleimtem Brettschichtholz mit Härterüberdosierung (50 %)
Fatigue tests of PF/RF glulam with increased content of hardener (50 %)

Betrachtet man die Mittelwertskurven (Abb. 30 und 31) der drei Verleimungsgruppen, so ist erkennbar, daß bei den "ausreichenden" Verleimungen zwischen "Normal-", "Über-" und "Unterdosierung" in der Tendenz keine größeren Unterschiede auftraten. Dies heißt mit anderen Worten, daß bei diesen Verleimungen ein hohes Maß an Sicherheit vorliegen muß. Bei den "unbefriedigenden" Verleimungen scheint sich hingegen die "Unterdosierung" besonders nachteilig auszuwirken.

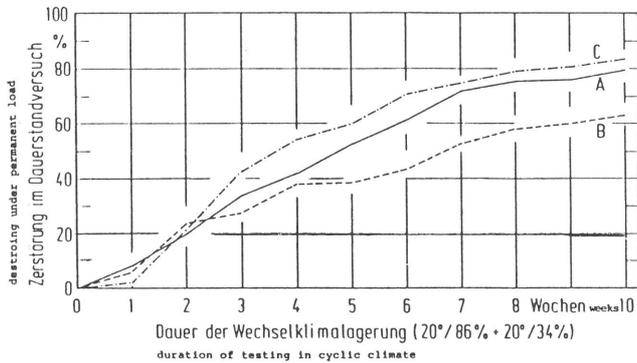


Abb./Fig. 30
Mittelwertkurven bei Dauerstandversuchen bei "ausreichenden" Leimen (gesamtes Probenkollektiv = unzerstörte Proben, Holz + Leimbruch)
Mean-value curves of fatigue tests with "sufficient" resins (all samples = undestroyed samples, "wood" and "glue"-failures)

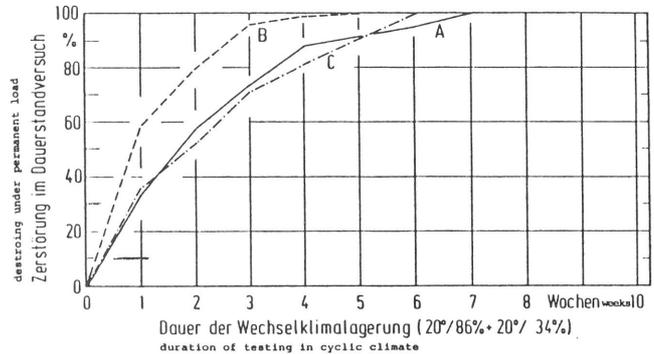


Abb./Fig. 31
Mittelwertkurven bei Dauerstandversuchen bei "nicht ausreichenden" Leimen (gesamtes Probenkollektiv = unzerstörte Proben, Holz + Leimbruch)
Mean value curves of fatigue tests with so-called "not insufficient resins"

Bei der Auswertung der Bruchbilder ergab sich bei den sogenannten "ausreichenden" Verleimungen, daß die Anteile der Klassen mit 25 %, 50 % und 75 % Holzbruch relativ gleichrangig vorlagen. Hingegen traten die Klassen mit 0 % und 100 % mit weniger als 10 % Anteil kaum in Erscheinung. Dies läßt zusätzlich auf eine ausreichende Sicherheit bei der Verleimung schließen. Ein ähnliches Bild ergab sich bei der Überdosierung. Bei der Unterdosierung verschiebt sich das Bild eindeutig in Richtung der Klassen 0 und 25 %. So stellten sich bei den "unbefriedigenden" Verleimungen der Gruppe "Unterdosierung" überwiegend Bruchbilder der Klasse 0 % ein. Diese Feststellung deckt sich mit den vorstehend angeführten Ergebnissen hinsichtlich der zeitlichen Erhaltung der Funktionstüchtigkeit (Abb. 32 bis 36). Die vorstehend angeführte Form der Auswertung besitzt einen Nachteil. Durch die unterschiedlich hohen Holzbruchanteile gehen die Streuungen der Holzart Fichte in die Aussage mit ein. Um diesen Nachteil zu beseitigen, wurden bei einer anderen Form der Aus-

wertung, die gleichzeitig durch weiteren Probenanfall erweitert werden konnte, alle Proben mit Holzbruchanteil ausgesondert. Dadurch konnte der Einfluß der Holzart Fichte eingeschränkt werden.

Abb./Fig. 32 - 36

Beurteilungskriterien von Bruchbildern nach Dauerstandversuchen im Wechselklima bei Fichtenbrettschichtholzverleimungen mit PF-Harzen

Classification of destroyed samples after fatigue tests under cyclic conditions (glulam of spruce, PF)

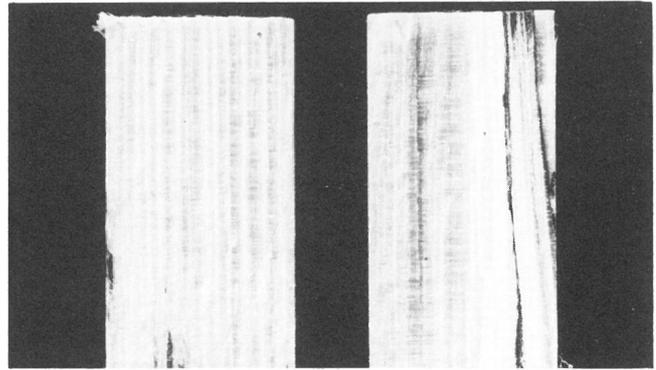


Abb./Fig. 32

100 % Holzbruch/ 0 % Leimbruch, Holzart Fichte
100 % "wood failure"/0 % "glue failure",
wood species = spruce

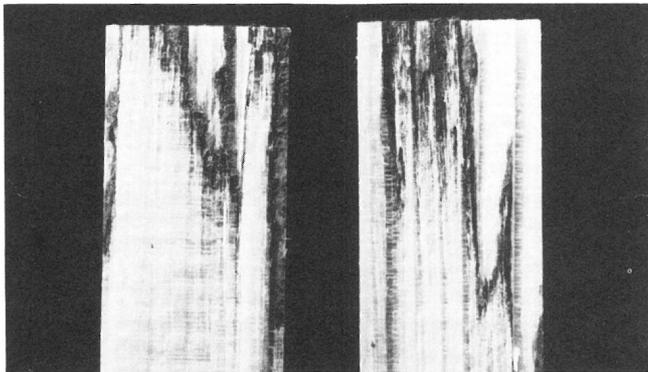


Abb./Fig. 33

75 % Holzbruch/25 % Leimbruch, Holzart Fichte
75 % "wood failure"/25 % "glue failure",
wood species = spruce

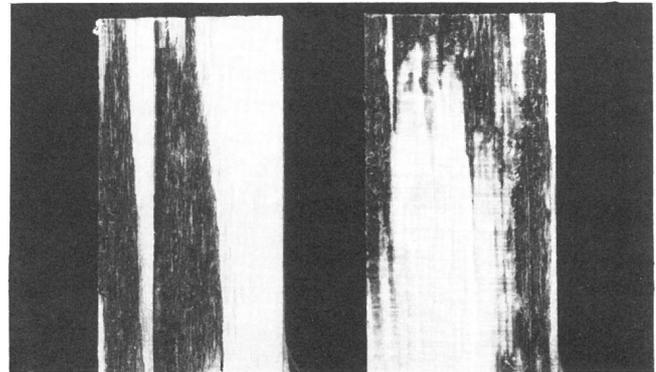


Abb./Fig. 34

50 % Holzbruch/50 % Leimbruch, Holzart Fichte
50 % "wood failure"/50 % "glue failure",
wood species = spruce

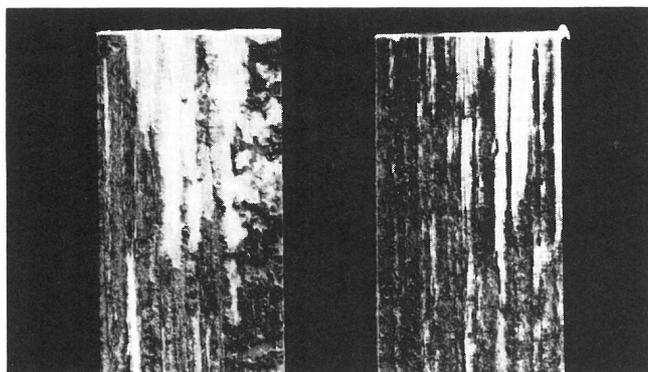


Abb./Fig. 35

25 % Holzbruch/75 % Leimbruch, Holzart Fichte
25 % "wood failure"/75 % "glue failure",
wood species = spruce

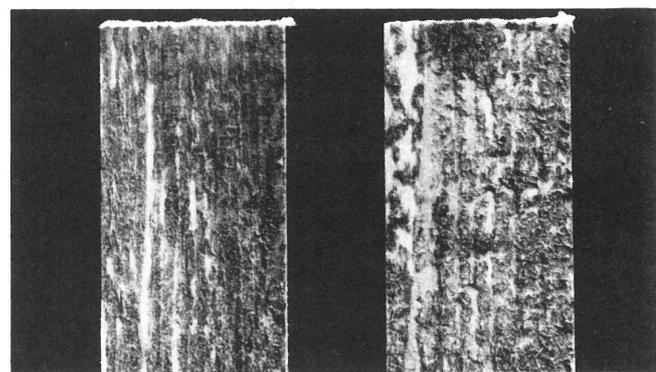


Abb./Fig. 36

0 % Holzbruch/100 % Leimbruch, Holzart Fichte
0 % "wood failure"/100 % "glue failure",
wood species = spruce

Die Ergebnisse dieser Auswertung, die nur Proben mit Leimbruch und unzerstörte Proben beinhaltet, sind in den Abb. 37 bis 39 dargestellt. Bei einer Verleimung nach Vorschrift (Typ A) ergab sich folgendes Resultat (Abb. 37):

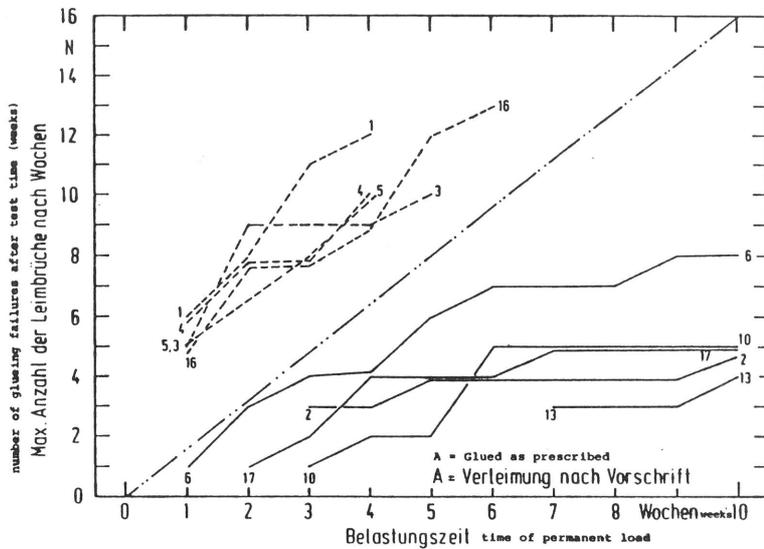


Abb./Fig. 37
 Dauerstandversuche von PF-verleimtem Brettschichtholz bei Verarbeitung nach Vorschrift (Typ A) (Probenkollektiv: Nur unzerstörte Proben und Leimbruch)
 Creep behaviour of PF glulam (glued as specified by the adhesive producer) (type A: all samples = only undestroyed samples and "glue failures")

Von 19 Verleimungen wiesen 5 (= 26 %) nach 10 Wochen Versuchsdauer weniger als 50 % zerstörte Proben auf. 50 - 70 % der Proben blieben über die volle Versuchsdauer unzerstört. Bei diesen Verleimungen wird ein hohes Maß an Sicherheit unterstellt. Sie werden nachfolgend als "ausreichend" bezeichnet. Bei 5 weiteren Verleimungen lag bis zur Hälfte der Versuchsdauer bereits eine völlige Zerstörung vor. Diese Verleimungen werden als "nicht ausreichend" bezeichnet. Die übrigen 9 Verleimungen bieten ein weniger differenziertes Bild und liegen zwischen diesen beiden als "ausreichend" und "nicht ausreichend" bezeichneten Kollektiven.

Eine deutliche Verschiebung der Kurvenverläufe ergibt sich bei der Härterunterdosierung (Typ B). Die Ergebnisse hierzu sind in Abb. 38 wiedergegeben. Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß 4 Leime auch diese bewußt herbeigeführte Verschlechterung über die volle Versuchsdauer überstanden haben (Nr. 10, 11, 12, 18). Alle diese Verleimungen wiesen nach 10 Wochen $\leq 50\%$ an zerstörten Proben auf. Hingegen waren 12 Verleimungen nunmehr nach spätestens 7 Wochen Versuchsdauer völlig zerstört. Die Verleimungen Nr. 2 und 6, die bei Verleimung nach Vorschrift als "ausreichend" eingestuft wurden, müssen in diesem Fall als "nicht ausreichend" bezeichnet werden. Demnach erwiesen sich bei der Härterunterdosierung nahezu 65 % aller Verleimungen als "nicht ausreichend".

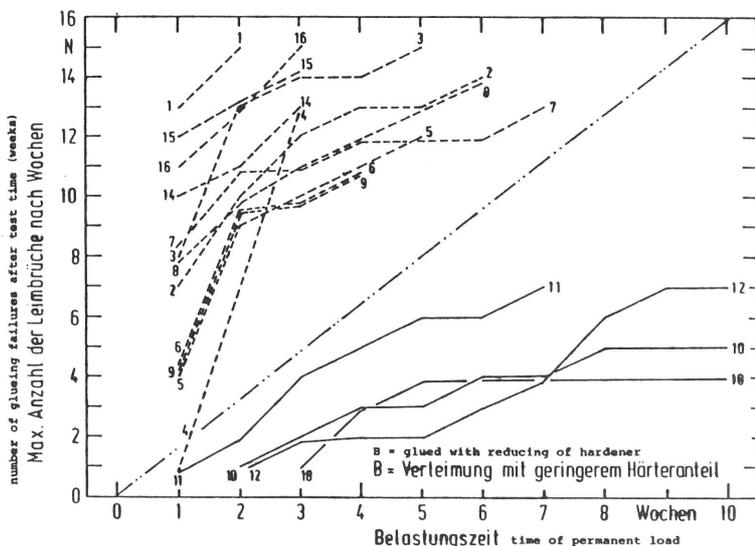


Abb./Fig. 38
 Dauerstandverhalten von PF-verleimtem Brettschichtholz bei Härterunterdosierung (Typ B) (Probenkollektiv: Nur unzerstörte Proben und Leimbruch)
 Creep behaviour of PF glulam glued with reduced content of RF hardener (type B: samples see Fig. 37)

Die "Härterüberdosierung" (Typ C) brachte gegenüber der Verleimung nach Vorschrift (Typ A) und der Unterdosierung (Typ B) keine eindeutige Tendenz. Dies war den Umständen nach auch nicht zu erwarten. Wenn keine Unverträglichkeit zwischen Leimharz und Härter bei Überdosierung entsteht, kann nach Lage der Dinge praktisch keine Verschlechterung eintreten (Abb. 39). Offenbar ist beispielsweise das System Nr. 6 etwas empfindlicher. Während es bei Verleimung nach Vorschrift als "ausreichend" einzustufen ist, versagt es bei Härterunterdosierung und auch bei Härterüberdosierung. Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten ist demnach offenbar eingeeengt. Leim- und Härterssystem sind so aufeinander abgestimmt, daß eine genaue Einhaltung der Verarbeitungsvorschrift unabdingbar ist. Auch das an sich sehr stabile System Nr. 10 weist bei Überdosierung etwas schlechtere Werte auf. Das gleiche gilt für das System Nr. 13.

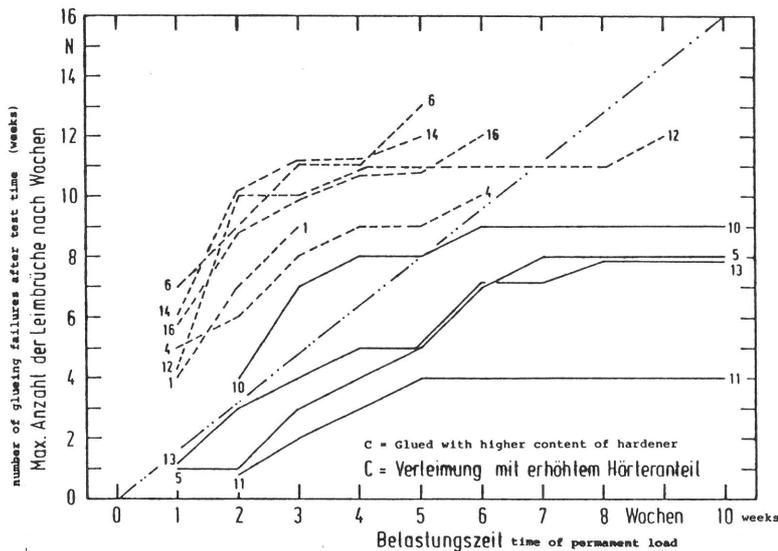


Abb./Fig. 39
Dauerstandverhalten von PF-verleimtem Brettschichtholz bei Härterüberdosierung (Typ C) (Probenkollektiv: Nur unzerstörte Proben und Leimbruch)
Creep behaviour of PF glulam glued with increased amount of RF hardener (type C: samples see Fig. 37)

In Abbildung 40 sind als Beispiel zusammenfassend zwei Systeme dargestellt, die die Auswirkungen der einzelnen Versuchsbedingungen demonstrieren sollen. Das System Nr. 1, das bei Verarbeitung nach Vorschrift (Typ A) als "nicht ausreichend" bezeichnet werden muß, reagiert erwartungsgemäß bei der Unterdosierung (Typ B) mit weitgehendem Festigkeitsverlust. Bei Härterüberdosierung (Typ C) reicht dies nicht aus, das System so weit zu verbessern, um es als "ausreichend" einzustufen. Beim System Nr. 2 liegt bei Verarbeitung nach Vorschrift (Typ A) ein

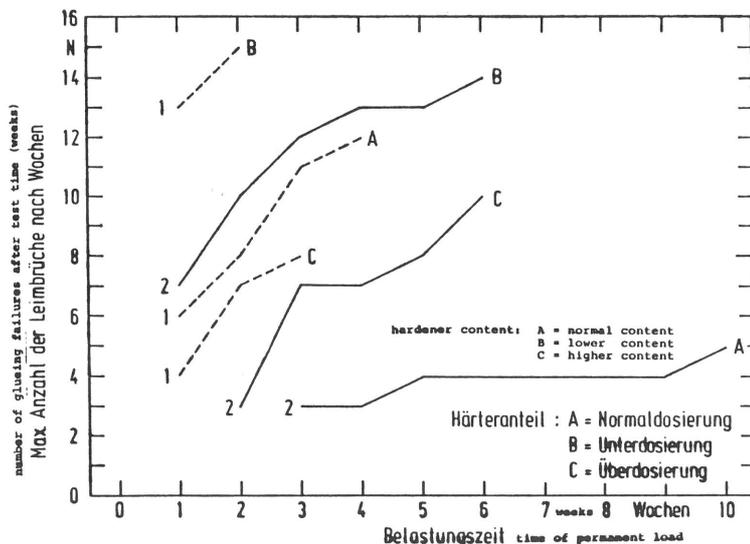


Abb./Fig. 40
Ergebnisse der Dauerstandversuche bei zwei ausgewählten PF-Verleimungen mit den Auswirkungen der Rezepturwandlungen
Results of creep tests with two PF glulam materials showing the influence of the RF hardener content

ausreichendes Maß an Sicherheit vor. Bei Härterunter-(Typ B) und -überdosierung (Typ C) kommt es zu einer Verschlechterung bei diesem System.

Die Auswertungen bei Fichtenbrettschichtholzverleimungen mit PF-Leimen unter Einbeziehung sowohl aller Proben (Holzbruch, Leimbruch, unzerstörte Proben) als auch nur derjenigen mit Leimbruch sowie unzerstörte Proben ergaben in der Tendenz die gleiche Aussage.

Zur Abschätzung der Differenzierungsmöglichkeiten bei dem gewählten Prüfverfahren seien die in der ersten Versuchsreihe bei Fichtenbrettschichtverleimungen gewählten Varianten nochmals zusammenfassend angeführt:

a) Verwendung von UF- und PF-Verleimungen

b) Einsatz der PF- bzw. PF/RF-Leime

A = nach Verarbeitungsvorschrift

B = mit 50 % RF-Härterunterdosierung

C = mit 50 % RF-Härterüberdosierung

Dabei wurde folgendes Klassifizierungsschema angewendet:

1) Als "ausreichend" wurden Verleimungen eingestuft, die

a) ≤ 30 % an unzerstörten Proben nach
10 Wochen Versuchsdauer aufwiesen

und

b) nach Ablauf der Hälfte der Versuchszeit
(5 Wochen) generell weniger als 50 %
an zerstörten Proben aufwiesen.

2) Als "nicht ausreichend" wurden Verleimungen eingestuft, die

nach spätestens 60 % der Versuchszeit (7 Wochen)
bereits zu 100 % zerstört waren beziehungsweise

die innerhalb eines Zeitraumes von 5 Wochen bereits
zu mehr als 90 % zerstört waren.

Das Ergebnis der Untersuchungsreihe ist in nachfolgender Tabelle 5 zusammengefaßt.

Aus der Zusammenstellung ist ersichtlich, daß bei einer Verarbeitung nach Vorschrift rund ein Drittel der PF-Verleimungen im Langzeitversuch als nicht ausreichend angesehen werden muß. Daß dies bei Abwandlungen der Härterdosierung verstärkt auftritt, erscheint naheliegend. Immerhin läßt das Ergebnis erkennen, daß mit diesem Verfahren Differenzierungen innerhalb eines Verleimungstyps erreichbar sein können.

Offenbar ist die mögliche Bandbreite hinsichtlich der Rezepturabwandlungen bei den einzelnen Leimsystemen unterschiedlich beschaffen. Es ist immerhin erstaunlich, daß bei Unterdosierungen einige PF-Leime noch offensichtlich soviel Elastizität besitzen, diesen absichtlich herbeigeführten Nachteil kompensieren zu können. Andererseits zeigt die Auswertung auch, wie wichtig es

Tab./Table 5

Differenzierung von PF-verleimtem Brettschichtholz im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
 Differentiation between PF-glulam in a test under constant load with variable climate conditions

Typ ¹⁾	Härter- dosierung Amount of hardener	"ausreichend" "sufficient"	nicht differenzierbar no differentiation	"nicht ausreichend" "not sufficient"
A	nach Vorschrift ²⁾ As prescribed	5	8	6
B	Unter- dosierung Lower content	4	3	12
C	Über- dosierung Higher content	4	2	13

1) Anzahl der untersuchten Leime n = 19
 Probenkollektiv je Leim n = 14 - 16
 Number of tested glues n = 19
 Number of samples for every glue n = 14 - 16

2) UF-Verleimungen waren nach 3 Wochen Versuchsdauer bereits zu 100 % zerstört
 UF-resins were totaly (100 %) destroyed after 3 weeks of testing time

für den Holzleimbaubetrieb ist, sich streng an die Verarbeitungsvorschriften zu halten.

Als Fazit hat diese Untersuchungsreihe ergeben, daß nicht nur Verarbeitungsparameter und Holzeigenschaften für die Qualität allein als entscheidend angesehen werden können, sondern daß auch zwischen einzelnen PF-Leimen offenbar qualitative Unterschiede vorhanden sein müssen. Somit ist zu folgern:

- Wechselklimalagerungen unter Dauerlast erlauben Differenzierungen zwischen PF-Verleimungen, die in der Kurzprüfung nicht erkennbar sind
- und
- Wechselklimalagerungen unter Dauerlast bewirken offensichtlich eine wesentliche Beschleunigung des Alterungsvorganges.

4.4.2 Dauerstandversuche an Buchenbrettschichtholz

Da Fichtenholz infolge relativ niedriger Festigkeit zu vergleichsweise hohen Holzbruchanteilen führt und gemäß DIN 68 141, Abschn. 2 und 2.2 für Versuche an Brettschichtholz aufgrund

ihrer höheren Festigkeit die Verwendung der Holzart Buche vorgeschrieben ist, wurden für eine zweite Untersuchungsreihe Prüfkörper aus ungedämpftem Rotbuchenholz eingesetzt. Wie die in Tabelle 6 zusammengefaßten Resultate belegen, bleibt die Einstufung der verschiedenen PF-Leime hinsichtlich ihrer Qualität wie bei den Versuchen mit Fichtenbrettschichtholz bestehen. Auch bei dieser Versuchsanordnung war demnach eine Differenzierung nach "guten" und "schlechten" PF-Leimen möglich (Abb. 41).

Tab./Table 6

Dauerstandversuche mit PF-Brettschichtverleimungen unterschiedlicher Qualität aus Buchenholz (ungedämpft)

Tests with permanent load by PF-glulam with different qualities (beech)

Leim-Nr.	Leimbruch pro Woche (glue-failure" per week)										Leimbrüche number of "glue-failures"	eingebaute Proben total number of samples	% Leimbrüche insgesamt Amount of glue-failures
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.			
	"Gute Verleimungen" "sufficient glues"												
2 A	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	2	15	13,3
6 A	4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	(11)	15	(73,3)*
10 A	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	15	6,7
13 A	-	2	-	-	-	1	1	-	-	1	5	15	33,3
	"Schlechte Verleimungen" "insufficient glues"												
3 A	4	1	3	-	-	1	-	-	1	-	10	15	66,7
7 A	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	10	15	66,7
8 A	2	9	2	-	-	1	-	1	-	-	15	15	100,0
15 A	11	2	-	-	1	-	1	-	-	-	15	15	100,0

* Nicht gewertet, da Fehlverleimung.
Bei Prüfung nach DIN 68 705 AW 100 bei allen Proben 100 % Leimbruch.

No calculations, because failure in gluing.
After testing the shear strength (based on DIN 68 705 AW 100) all samples were showing 100 % destroyed glue-lines.

Der bisherige Stand der Untersuchungen zur Bestimmung der Alterung von Brettschichtverleimungen vermittelt die Erkenntnis, daß Kurzprüfverfahren auch unter Einschluß von zyklischen Lagerungsfolgen keine oder nur unzureichende Angaben zum Alterungsverhalten erlauben. Aus Sicherheitsüberlegungen erscheint es jedoch unbedingt notwendig, spezielle Prüfverfahren hinsichtlich Alterungsverhalten zu entwickeln. Dies dürfte sowohl aus Sicherheitsgründen als auch aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen geboten sein. Nur auf diesem Wege kann sowohl die Schwachholz-

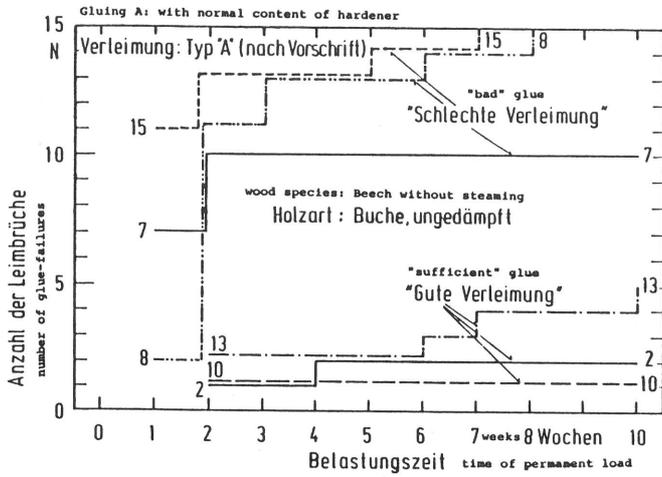


Abb./Fig. 41
Anzahl der Leimbrüche in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung bei "guten" und "schlechten" PF-Verleimungen aus Rotbuchenholz (ungedämpft)
Number of "glue failures" of beech glulam (unsteamed) as a function of load duration under cyclic conditions with "sufficient" and "insufficient" PF resins

verarbeitung im Holzleimbau als auch generell eine Anwendung in kritischen Gebieten (Feuchträume, Außenanwendung) mit ausreichender Sicherheit durchgeführt werden. Entsprechende Forschungsarbeiten zur Modifizierung beziehungsweise Ergänzung von DIN 68 141 sind daher dringend geboten.

4.5 Brettschichtverleimungen und Schutzbehandlung

Die Ausweitung der Produktion bedingt, daß zunehmend Holzleimbau- teile in der Außenanwendung eingesetzt werden, wo sie der Bewit- terung ausgesetzt sind (Meierhofer 1985). Hier und in allen Anwendungsfällen, wo mit hoher Feuchtigkeit zu rechnen ist, sollte eine Schutzbehandlung gegen einen Befall durch holz- zerstörende Organismen erfolgen (Abb. 42). Dabei ist die na- türliche Widerstandsfähigkeit gegen Pilzbefall für die einzelnen Holzarten sehr gering, wie den Werten aus Tabelle 7 zu entnehmen ist. Lediglich Kiefernkernholz besitzt eine relativ hohe Pilz- befallresistenz. Die Holzart Fichte jedoch ist stark befalls- gefährdet.

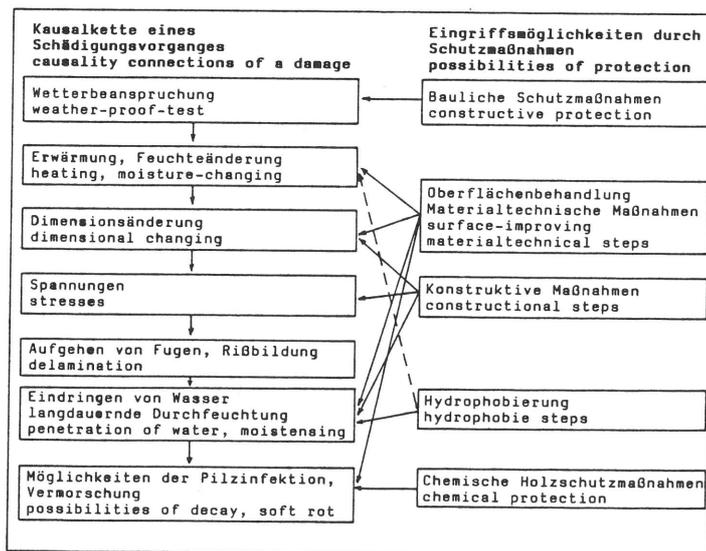


Abb./Fig. 42
Maßnahmen zur Verhütung von Schäden an wetterbeanspruchtem Brettschichtholz (Sell 1978)
Possibilities of preventing damage of exposed glulam elements (Sell 1978)

Es wäre zu überlegen, ähnlich wie in der Holzwerkstofftechnik auch in der Holzleimbautechnik eine Schutzbehandlung im Leim- untermischverfahren zu versuchen. Erwartungsgemäß stellen sich bei dieser Technik gerade bei PF-Harzen erhebliche Schwierig- keiten ein. Untersuchungen an der BFH Hamburg (Bröker schriftl.

Tab./Table 7

Massivholz- und Sperrholzkontrollproben hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Befall durch Coniophora und Gloeophyllum im "soil-block-test" nach Viitanen (1984)

Resistance of samples from solid wood and plywood against decay (Coniophora and Gloeophyllum) in the soil-block-test according to Viitanen (1984)

Material	Masseverlust loss on weight			
	C. p.		G. l.	
	\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$
Ki-Splintholz Pine sapwood	65,3	3,3	59,3	2,2
Ki-Kernholz Pine corewood	4,4	4,2	-	-
Ki-CKA impr. Pine CKA impr.	0,0	-	0,0	-
Bi-Fupla Birch plywood	61,4	2,4	66,2	3,8
Fi-Fupla Spruce plywood	57,4	1,6	-	-
Douglasien-Fupla Douglas plywood	48,0	1,4	22,1	1,1
Eucalyptus-Splintholz Eucalypt. sapwood	44,8	7,6	-	-
Eucalyptus-Kernholz Eucalypt. corewood	11,5	3,5	-	-
Douglasie-Splintholz Douglas sapwood	61,3	1,8	39,0	4,0
Douglasie-Kernholz Douglas corewood	44,9	3,1	26,4	3,7
Lärchen-Splintholz Larch plywood	52,1	3,0	35,1	2,5
Lärchen-Kernholz Larch corewood	46,2	2,3	27,5	4,1

1984) führten insgesamt zu dem Ergebnis, daß bei Zumischung handelsüblicher Schutzmittel bei PF-Harzen im Untermischverfahren erhebliche "Geliezeitverschiebungen" auftreten. Es konnten nicht die für eine ausreichende Schutzwirkung erforderlichen Mengen eingebracht werden. In den Tabellen 8 und 9 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammenfassend wiedergegeben.

Da die Mengeneinbringung relativ gering war, wurden bei den Untersuchungen der BFH nur Grenzmengen ermittelt, bei denen noch eine meßbare "Geliezeit" vorhanden ist (vgl. Tabelle 9). Danach führen einzelne Salze bei geringen Zumischungen zu einer

Tab./Table 8

"Gelierzzeit"-Messungen von 3 PF/RF-Harzen bei Zumischung verschiedener Wirkstoffe in anwendungsbezogenen Mengen nach Untersuchungen der BFH Hamburg (Bröker 1984)
 Measuring of "potlife"-time from 3 PF/RF resins by adding different components of preservatives in practical amounts according to BFH Hamburg (Bröker (1984))

Wirkstoff Preservative	Harz I Glue I		Harz II Glue II		Harz III Glue III	
	Zeit time	Faktor*	Zeit time	Faktor*	Zeit time	Faktor*
ohne without	146	1,0	190	1,0	252	1,0
DCFN	133	0,9	187	1,0	224	0,9
PCP	648	4,4	618	3,2	1477	5,9
TBTO	148	1,0	188	1,0	254	1,0
Xy/A1	103	0,7	168	0,9	204	0,8
Xy/B	140	1,0	194	1,0	232	0,9

*)Gelierzzeit bezogen auf "ohne Wirkstoffzusatz"
 Hardening-time correlated to "no-perservative content"

Tab./Table 9

Beeinflussung der "Gelierzzeit" eins PF/RF-Harzes durch Schutzsalzkomponenten nach Untersuchungen der BFH Hamburg (Bröker 1984)
 Influence of "potlife-time" by a PF/RF-resin occured by components of the preservative material based on investigations of the Federal Research Institute BFH Hamburg (Bröker 1984)

Komponente components	"Gelierzzeit" "hardening time"		"spontan"* "spontaneous"*
	Verlängerung prolongation	Verkürzung shortening	
CuSO ₄ ·5H ₂ O	< 2 %	> 2 %	> 4 %
Na ₂ Cr ₂ O ₇	-	> 0,25 %	> 2 %
K ₂ Cr ₂ O ₇	-	> 0,25 %	> 2,5 %
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	-	> 0,25 %	> 2 %
Na (SiF ₆)	unverändert no varging		
H ₃ BO ₃	< 0,5 %	> 0,5 %	> 7,5 %
Füllstoff A filler A	< 1 %	> 1 %	> 2 %
Füllstoff B filler B	-	kaum verändert low varging	kaum verändert low varging

*)Gelierzzeit so kurz, daß keine Messung möglich
 hardening time too short, therefore no measuring possible

Verlängerung, bei höheren Zumischmengen dann zu einer Verkürzung der "Gelierzzeit", die mit wenigen Ausnahmen so rasch zunimmt, daß schließlich keine Messungen mehr möglich sind. Bemerkenswert war, daß drei verschiedene Chromate in extrem geringen Mengen bereits zu einer deutlichen Gelierzzeitverkürzung führten. Ferner führte eines von zwei untersuchten Salzen, die in Handelspräparaten gelegentlich als Füllstoffe zugesetzt werden, ebenfalls zu einer starken Gelierzzeitverkürzung.

Bemerkenswerterweise lag bei Schutzsalzen keine Abhängigkeit der "Gelierzzeitbeeinflussung" von aufgetretenen pH-Wertverschiebungen vor. Zu den Versuchen mit Schutzsalzkomponenten ist kritisch zu bemerken, daß in der Praxis durch beginnende Reaktionen zwischen Holz und Schutzmittelbestandteilen andere chemische Verbindungen vorliegen (Bröker 1984). Aus den Untersuchungsergebnissen kann abgeleitet werden, daß im Wege des Leimuntermischverfahrens gegenwärtig wohl keine ausreichende Schutzbehandlung möglich ist. Außerdem wäre in diesem Fall noch zu prüfen, ob die Schutzmittelmenge in der Leimfuge ausreicht für einen Schutz der nichtimprägnierten Holzlamellen. Die Tränkbarkeit der verwendeten Holzart ist das entscheidende Kriterium (Sell 1980; Bellmann 1986). Es ist bekannt, daß die in der Regel verwendete Massenh Holzart Fichte schwer tränkbar ist.

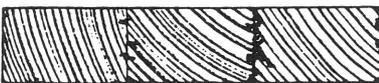
Es ist eine Reihe von Verfahren erarbeitet worden, um die Tränkbarkeit der Fichte zu verbessern. Eine dieser Möglichkeiten ist die Perforation. Hierbei werden durch mechanische Vorrichtungen (Nadeln, Schlitzbleche u.ä.) oder mittels Laser Perforierungen erzeugt (Kropf/Sell 1983; Bellmann 1986). In Abbildung 43 ist an einem Beispiel dargestellt, wie durch Oberflächenperforation der Tränkerfolg bei Fichtenholz verbessert wird.

75 mm



T
15 mm
↓

CKB-Salz nach Nadelung 8 h Druckdauer
CKB with perforation 8 h pressure



CKB-Salz ohne Nadelung
CKB without perforation



CKB-Salz nach Nadelung 4 h Druckdauer
CKB with perforation 4 h pressure



CKB-Salz ohne Nadelung
CKB without perforation

Abb./Fig. 43

Imprägnierung von Mittellagenlamellen aus Fichtenholz mit und ohne Nadelperforation für Bautischlerplatten. - Kupferverteilung in Mittellagenquerschnitten. - Von den Brettlamellen wurden vor dem Verleimen rund 2 mm abgehobelt
Impregnation of spruce core laminae with and without incising (needle) for the production of coreboard. - Distribution of copper in the core strips - 2 mm of the laminae surface were removed by sanding before glueing



CKA-Salz nach Nadelung 8 h Druckdauer
CKA with perforation 8 h pressure



CKA-Salz ohne Nadelung
CKA without perforation

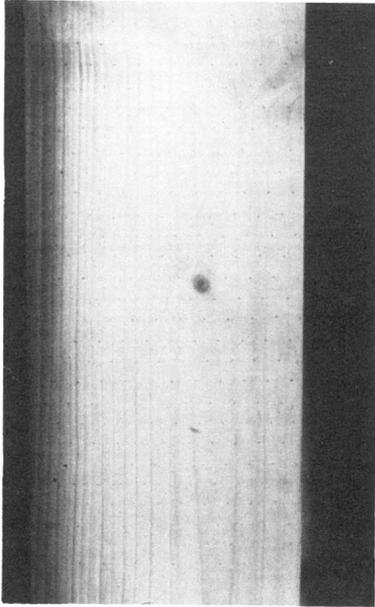


Abb./Fig. 44
Durch Nadelperforation vorbehandelte
Fichtenholzlamelle
Needle-incised spruce laminae

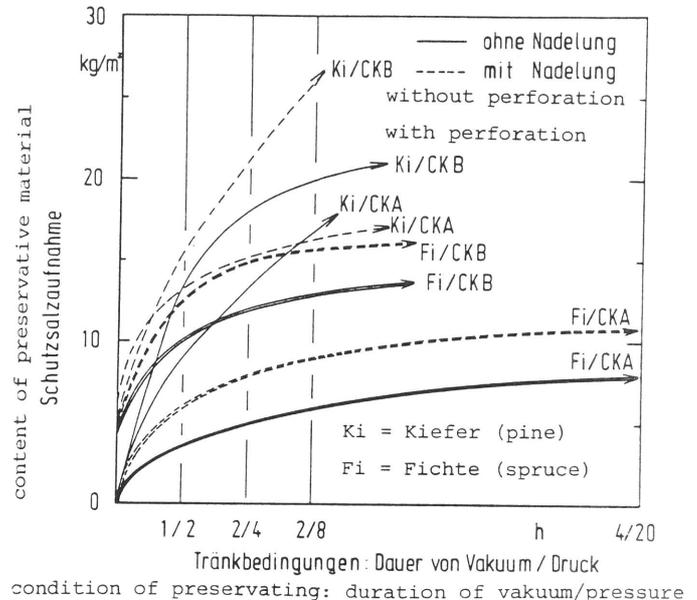


Abb./Fig. 45
Schutzsalzaufnahmen in Abhängigkeit von
der Art des Schutzmittels und den Tränk-
bedingungen bei Mittellamellen aus Fich-
ten- und Kiefernholz (Vakuum = 0,05 bar;
Druck = 8 bar)
Preservative retention (salt) as a func-
tion of type of preservative and treating
time of spruce and pine core laminae
(vacuum 0.05 bar; pressure 8 bar)

Durch eine Nadelperforation (Abb. 44) wird die Festigkeit des Holzes bei dünnen Nadeldurchmessern (Kropf 1986) nicht nachteilig beeinflusst (Burmester 1982). Hingegen wird die Effizienz der Imprägnierung sowohl mit wasserlöslichem als auch öligem Holzschutzmittel verbessert (vgl. Abb. 43). Aus Abbildung 45 ist erkennbar, daß durch eine Perforation auch bei der schwer tränk- baren Holzart Fichte die Schutzmittelaufnahme erheblich gesteigert werden kann. Für den Einsatz im Außenbau ist bei einem Holzleimbauteil entscheidend, daß neben der langfristigen Wirkung des Schutzmittels das System Leim-Schutzmittel ebenfalls langfristig unter Klimaeinwirkung seine Funktionstüchtigkeit behält. Da Freilandversuche zur Beantwortung der hiermit zu- sammenhängenden Fragen zu langwierig sind, wurde versucht, mit- tels zeittraffender Verfahren eine Aussage zu erreichen (Deppe/Gersonde 1985).

Für die Durchführung der Versuche wurden die in Tabelle 10 aufgeführten Versuchskollektive gebildet (Holzart Fichte):

Die Imprägnierung der Fichtenholzlamellen erfolgte im Kessel- Vakuumdruckverfahren in einer Laboranlage der BAM (Fachgruppe 5.1). Die Tränkbedingungen waren: Vakuumphase: 60 min bei ca. 30 mbar; Fluten unter Vakuum; Druckphase: 120 min bei 7,5 bar; Rückfluten der Tränkflüssigkeit; Schlußvakuum: 5 min bei 0,5 bar.

Vor dem Tränken wurden das Gewicht (G1) und das Volumen sowie nach dem Tränken das Gewicht (G2) jeder Lamelle bestimmt und daraus die Holzdicke r_u (kg/m^3) und die jeweils aufgenommenen Mengen an Schutzsalz in kg/m^3 bzw. Schutzöl in l/m^3 berechnet. Nach dem Tränken wurden die mit wäßriger Lösung getränkten Lamellen zunächst für die Dauer von 14 Tagen paketweise in PVC- Folien verpackt und anschließend zum Trocknen luftig gestapelt. Die ölgetränkten Lamellen wurden sofort nach der Tränkung zum

Tab./Table 10

Probenkollektive zur Herstellung von Brettschichtholz aus verschiedenen behandelten Fichtenlamellen

Collectives of samples to produce glulam from different kind of spruce materials

Mechanische Behandlung Preparation	Schutzmittel- art Preservatives	Prüfprädi- kate*) Certificate *)	Mittlere Schutzmittel- aufnahme kg bzw.l/m ³ amount of perserv.	Rohdichte- bereiche specific gravity kg/m ³
1. Genadelt Needling	ohne without	-	-	380-545
2. Genadelt Needling	Salz Salt	PlvWE	13- 18	366-553
3. Genadelt Needling	Öl Oil	PlvStW	332-606	360-541
4. Ungenadelt Without Needling	ohne without	-	-	410-570

*) Siehe DIN 68 800, Teil 3
See DIN 68 800, Teil 3

Abdunsten luftig gestapelt. Waschbrettstrukturen traten nach einem raschen Trocknen der mit Schutzsalzlösung getränkten Hölzer bei einzelnen Lamellen mit stehenden Jahrringen auf.

Nach Tränkung und Konditionierung wurden je 3 Lamellen der Kollektive 1 bis 4 (vgl. Tabelle 10) verleimt. Für die Verleimung wurden die in Tabelle 11 aufgeführten Klebstoffe eingesetzt.

Zur Ermittlung der Festigkeit wurden 2 Prüfverfahren angewandt:

Ermittlung der Zugscherfestigkeit in Anlehnung an DIN 52 354 für die Durchführung von Kurzzeitbewitterungen (vgl. Abb. 3).

Ermittlung der Festigkeit bei einer kombinierten Scher-Querzug-Beanspruchung für Dauerstandversuche unter Last bei Wechselklimalagerung (vgl. Abb. 19).

Je Probenkollektiv standen durchschnittlich 4 Prüfkörper zur Verfügung.

Zur Ermittlung des Verhaltens der Brettschichtverleimungen bei einer zeitraffenden Beanspruchung wurden Kurzzeitbewitterungen nach dem in der BAM entwickelten XENOTEST-Verfahren (vgl. Abschn. 4.3) vorgenommen. Mit diesem Verfahren können erfahrungsgemäß bei 24 Wochen Prüfdauer rund 5 Jahre Freibewitterung simuliert werden. Das Bewitterungsprogramm wurde bereits an anderer Stelle erläutert (Deppe u. Schmidt 1979). Zur Durchführung des XENOTEST-Verfahrens mit Brettschichtproben wurden

Tab./Table 11

Klebstoffe und Verleimungsbedingungen für die Herstellung von Brettschichtholz
 Glues and conditions for gluing to produce glulam

No.	Klebstoff- ₁₎ basis glue material	Rezeptur composition	Menge Amount g/m ²	Preßzeit Pressing time	Preßdruck Compressiv N/m ²	Auftrags- art Kind of glueing	Topfzeit Potlifetime 20° h
1	PU (B4) ²⁾	N.V. ³⁾	200	70	0,4	einseitig one side	0,25
2	PVAc (B4)	mit 5 % Härter with 5 % hardener	200	70	0,7	beidseitig both sides	24,0
3	PVAc (B3)	ohne Härter without hardener	200	70	0,7	beidseitig both sides	24,0
4	PVAc (B1/B2)	N.V.		120	0,7	beidseitig both sides	0,2
5	PF/RF (B4)	N.V.	200	480	0,7	beidseitig both sides	1,2
6	PF/RF (B4)	N.V. mit Härter N.V. with hardener	200	480	0,4	einseitig one side	4,0
7	PF/RF (B4)	mit Härter + 1 % Str.M. ⁴⁾ with hardener + 1 % filler ⁴⁾	200	480	0,4	einseitig one side	8,0
8	PF/RF (B4)	mit Härter + 10 % Str.M. with hardener + 10 % filler	200	480	0,4	einseitig one side	8,0
9	PF/RF (B4)	mit Härter + 20 % Str.M. with hardener + 20 % filler	200	480	0,4	einseitig one side	8,0
10	MUF -	ungestreckt mit Härter without filler with hardener	200	480	0,4	einseitig one side	4,0
11	MUF -	mit Härter mit 100% Str.M. with hardener with 100 % filler	200	480	0,4	einseitig one side	4,0

1) Kurzzeichen in Anlehnung an DIN 4076, Teil 5, Ausg. Nov. 1981

2) B = Beanspruchungsgruppe gemäß DIN 68 602, Ausg. April 1979

3) nach Vorschrift

4) Str.M. = Streckmittel

1) Symbols according to DIN 4076, part 5, Nov. 1981

2) Classification to DIN 68 602, April 1979

3) As prescribed

4) Filling materials

spezielle Probenträger entwickelt. Je Probenträger konnten
 10 Prüfkörper eingebaut werden.

Voraussetzung zur Anwendung von Holzschutzmitteln (HSM) im
 Holzleimbau ist der Nachweis einer Verträglichkeit zwischen Leim-
 flotte und HSM. Diesbezügliche Untersuchungsergebnisse an Proben-
 material der vorstehend beschriebenen Kollektive sind in Tab. 12
 zusammengefaßt.

Aus den Resultaten in Tabelle 12 ist ableitbar, daß zwischen den
 jeweiligen Kollektiven nur zufällige Unterschiede bestehen.
 Daraus kann geschlossen werden, daß eine Leimverträglichkeit bei
 allen verwendeten Leimen und HSM gegeben war (Deppe 1986).

Zur Ermittlung des Verhaltens der vorstehend beschriebenen Brett-
 schichtverleimungen bei einer zeitraffenden Beanspruchung wurden
 Kurzzeitbewitterungen sowohl nach dem BAM-XENOTEST-Verfahren als
 auch Dauerstandversuche im Wechselklima vorgenommen.

Tab./ Table 12

Leimverträglichkeitsuntersuchungen an imprägnierten Brettschichtholzverleimungen
Investigations of compatibility by impregnated gluelam

Verleimungsart kind of glue	Festigkeiten strength properties (N/mm ²)								
	Art der Imprägnierung						kind of impregnation		
	C K B			C K A			ohne/without		
	I ¹⁾	II	III	I	II	III	I	II	III
PF/RF	4,2	7,8	2,0	4,6	9,2	2,1	4,5	10,7	2,2
	0,4	1,2	0,4	0,6	1,5	0,8	0,5	0,7	0,3
	9,5	15,6	20,0	13,1	6,1	38,0	11,1	6,6	13,6
PF	3,7	6,7	-	3,9	7,5	-	4,4	7,1	-
	0,6	1,6	-	0,7	1,5	-	0,9	2,0	-
	16,2	24,0	-	18,0	19,8	-	20,5	28,0	-
MUPF	4,4	6,9	2,5	4,7	6,2	2,5	4,2	7,7	2,5
	0,5	2,4	0,4	0,5	3,3	0,4	0,5	2,2	0,3
	11,3	25,0	16,0	10,6	56,0	16,1	11,9	28,5	12,1

1) I = Zugscherprobe nach DIN 53 254 / shear test according to DIN 53 254

2) II = Blockscherprobe nach Burmester (1982)/block shear test according to Burmester (1982)

3) III = Kombinierte Druckscher-Querzugprobe nach Deppe (1982)

Combinated compression shear and shear perpendicular to surface according to Deppe (1982)

Das Dauerstandverhalten wurde in Klimakammern bei 20°C mit wechselnder Luftfeuchte von 4 Tagen bei 85 % (= 22 ± 1 % Holzfeuchte) und 3 Tagen bei 34 % (= 8 ± 1 % Holzfeuchte) ermittelt (vgl. Abschn. 4.4). Die Dauerlast je Prüfkörper betrug 400 N/mm². Hinsichtlich Anordnung und Versuchsdurchführung wird auf Deppe (1982) verwiesen.

Beide Versuchsanordnungen, sowohl die Kurzzeitbewitterung im XENOTEST-Verfahren als auch die Bestimmung des Dauerstandverhaltens unter Last im Wechselklima, dienen der Beantwortung der Frage nach möglichen Unterschieden zwischen a) perforierten und nichtperforierten Prüfkörpern, b) nichtimprägnierten und imprägnierten Prüfkörpern und c) den einzelnen Schutzmitteln. Im Gegensatz zu Kurzprüfungen nach Normvorschrift ist bei den vorstehend beschriebenen Beanspruchungen dem Faktor Zeit besonderes Gewicht beigemessen worden. Dies erschien erforderlich, da nach den bislang vorliegenden Erfahrungen (Deppe 1982) Kurzprüfungen nur begrenzte Informationen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit von Brettschichtholzverleimungen liefern.

In Tabelle 13 sind die Ausgangsfestigkeitswerte für die Zugscherfestigkeit in Anlehnung an DIN 53 254 für die einzelnen Kollektive zusammengefaßt. Zwischen den Kollektiven mit und ohne Perforation sowie mit und ohne Schutzbehandlung zeigen sich keine gravierenden Unterschiede. In der Tendenz ist bei den Proben mit Nadelperforation eine gewisse Festigkeitszunahme zu verzeichnen. Dies erklärt sich wahrscheinlich aus einem gewissen Dübeleffekt, auf den bereits an anderer Stelle verwiesen worden ist (Deppe 1982).

Die Ergebnisse aller bislang mit imprägnierten Brettschichtverleimungen durchgeführten XENOTEST-Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. Tabelle 14):

Tab./Table 13

Mittelwerte der Zugscherfestigkeit (N/mm²) von unterschiedlich behandelten und verleimten Holzlamellen nach Konditionierung (20°C/65 % rel. Luftfeuchte) *)

Mean values of tensile strength (N/mm²) from different impregnated and glued wood elements after conditioning (20°C/65 % r.h.) *)

Klebstoff glue	Nadelperforation Needleperforation		mit Nadelperforation u n d with Needleperforation a n d	
	ohne without	mit with	wasserl. HSM waterbased preservativ	öligem HSM oilbased preservativ
PU	-	4,0	5,3	6,5
PVAc mit Härter	-	5,1	5,9	5,6
PVAc with hardener				
ohne Härter without hardener	3,3	3,7	4,1	3,8
PF/RF	3,3	4,6	4,0	4,3
MUF	3,4	3,5	4,1	3,5

*) Holzfeuchtigkeit bei der Prüfung 11 ± 1 %
wood moisture of the samples 11 ± 1 %

Tab./Table 14

Mittelwerte der Zugscherfestigkeit (N/mm²) bei unterschiedlich behandelten und verleimten Holzlamellen nach Konditionierung (20°C/65 % rel. Luftfeuchte)*) und XENOTEST-Kurzzeitbewitterung

Mean values of tensile strength (N/mm²) from different impregnated and glued wood elements after conditioning (20°C/65 % r.h.) and XENOTEST accelerated aging

Klebstoff	XENOTEST-Bewitterung aging weeks	Nadelperforation needleperforation		Mit Nadelperforation u n d with needleperforation a n d	
		ohne without	mit with	wasserl. HSM waterbased preservativ	öligem HSM oilbased preservativ
PU	0 Wochen	-	4,0	5,3	6,5
	12 "	-	3,8	4,3	3,8
	24 "	-	3,9	4,4	4,4
PVAc	0 Wochen	3,3	3,9	5,0	4,7
	12 "	-	2,6	3,0	2,0
	24 "	-	1,7	2,3	1,6
PF/RF	0 Wochen	3,3	4,6	4,0	4,3
	12 "	-	4,0	3,1	4,0
	24 "	-	3,8	2,8	3,8
MUF	0 Wochen	3,4	3,2	4,1	2,5
	12 "	-	2,5	2,6	0,6
	24 "	-	1,7	1,4	0,5

*) Holzfeuchtigkeit bei der Prüfung 11...12 %
wood moisture of the samples 11....12 %

- Bei den ungetränkten Kontrollproben wiesen die PVAc-Verleimungen nach 24 Wochen Lagerung den stärksten Festigkeitsabfall auf (ca. 50 %), gefolgt von der MUPF-Verleimung (ca. 30 % - 40 %). Den geringsten Abfall wiesen die PF/RF-Verleimungen auf (10 - 20 %).
- Bei allen Verleimungen waren die Festigkeitsverluste der Proben mit Nadelperforation geringer als bei jenen ohne Perforation. Die Differenz betrug im Mittel etwa 10 % bezogen auf den Ausgangswert.
- Erhebliche Festigkeitsverluste wiesen alle Verleimungen bei CKB-getränkten Proben auf. Der stärkste Abfall war bei PVAc-Verleimungen feststellbar (fast 70 %!). Der Festigkeitsabfall bei PF/RF- und MUPF-Verleimungen lag ungefähr in gleicher Größenordnung (rund 30 - 40 %).
- Auch bei CKA-Imprägnierung war der Festigkeitsabfall bei der PVAc-Verleimung am stärksten (ca. 80 %!). Die PF/RF- und MUPF-Verleimungen mit Perforation wiesen die gleichen relativ geringen Festigkeitsverluste auf.
- Korrespondierend zu den vorstehend genannten Ergebnissen wiesen PVAc-Verleimungen die stärksten Delaminierungen, ausgehend von den Rändern der Leimfugen, auf.
- Modifizierte PVAc- und MUPF-Verleimungen unterliegen als Brett-schichtverleimungen offenbar einem kontinuierlichen Festigkeitsabfall, während vergleichsweise dazu PF/RF-Verleimungen durch größere Stabilität ausgezeichnet sind.

Die vergleichend zu den XENOTEST-Versuchen an imprägnierten Brett-schichtverleimungen vorgenommenen Untersuchungen im Wechselklima unter Dauerlast sind in den Abb. 46 bis 51 wiedergegeben. Wie bei den XENOTEST-Versuchen zeigte sich auch bei den Wechselklimalagerungen die Überlegenheit der PF/RF-Verleimungen.

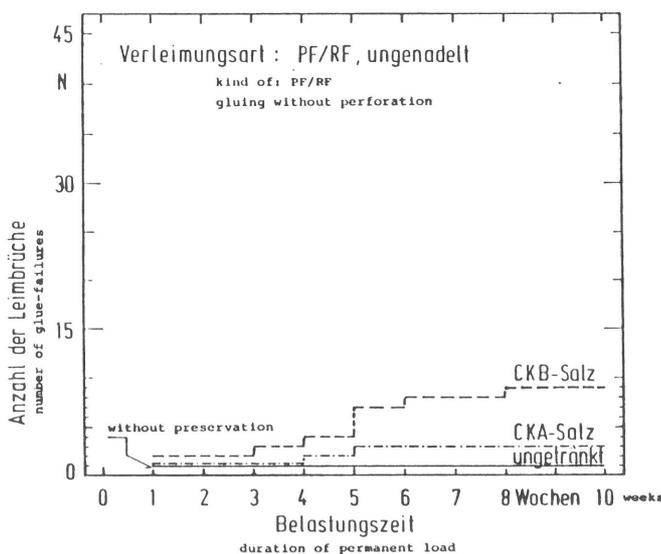


Abb./Fig. 46
"Leimbruchanteil" je Woche Versuchszeit bei ungenadelten PF-Brettschichtholzverleimungen mit unterschiedlicher Behandlung in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
Number of "glue failures" per week of PF/RF glulam without incising and treated with different types of preservative as a function of testing time under cyclic conditions

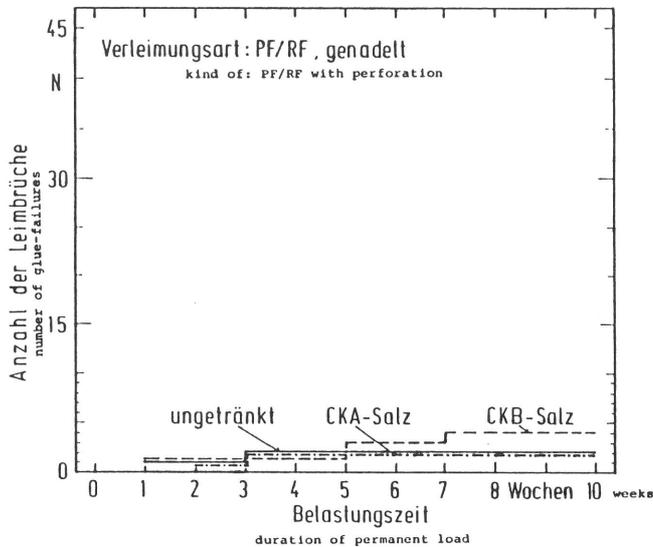


Abb./Fig. 47
"Leimbruchanteil" je Woche Versuchszeit bei genadelten PF-Brettschichtholzverleimungen mit unterschiedlicher Behandlung in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
Number of "glue failures" per week of PF/RF glulam with incising as a function of testing time under cyclic conditions

Allerdings waren bei ungenadelten Kontrollproben die Ausfälle bei CKB-Imprägnierung etwas höher (Abb. 46), so daß auch hier die Bor-Unverträglichkeit zum Vorschein kommt. Die Resultate geben ein ähnliches Bild wieder wie die Untersuchungen der BFH Hamburg (vgl. Tab. 8 und 9). Durch die Festigkeitssteigerung der Perforation ("Dübeleffekt") ist bei den Kontrollproben mit Nadelung der Abfall geringer (Abb. 47).

Bei den PVAc-Verleimungen waren die Ausfälle durch Leimbrüche wesentlich höher, wobei dies sowohl bei Proben mit als auch ohne Perforation in etwa gleicher Größenordnung der Fall war (Abb. 48 und 49). Auch hier war der Verlust bei der CKB-Imprägnierung am stärksten. Die Verluste durch Leimbrüche erreichten bei $n = 45$ etwa 42 % bis 44 %. Der festigkeitssteigernde Effekt der Perforation kam bei den PVAc-Verleimungen offenbar nicht mehr zum Tragen.

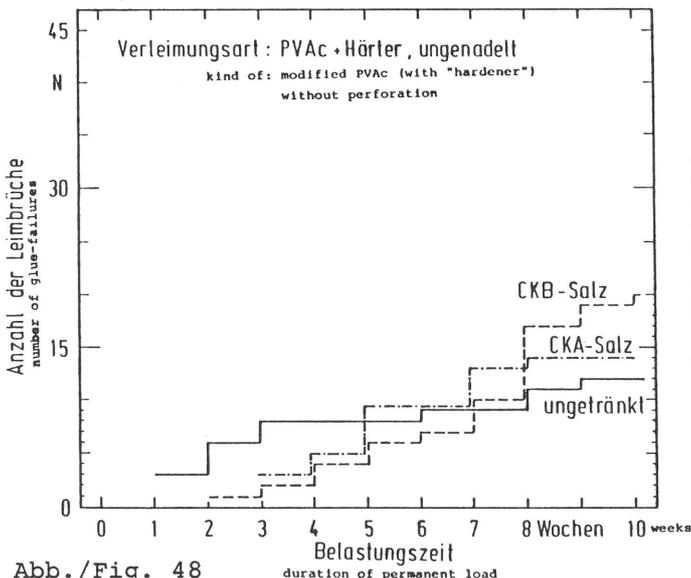


Abb./Fig. 48
"Leimbruchanteil" je Woche Versuchszeit bei ungenadelten PVAc-Brettschichtholzverleimungen mit unterschiedlicher Behandlung in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
Number of "glue failures" per week of PVAc glulam without incising and treated with different types of preservative as a function of testing time under cyclic conditions

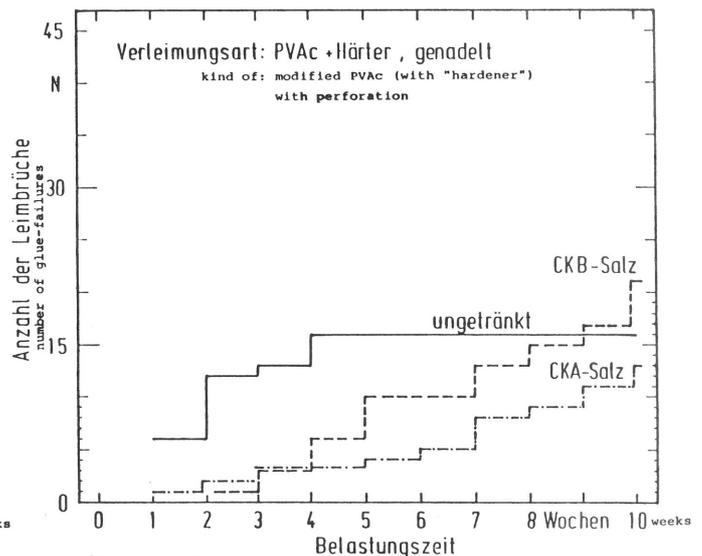


Abb./Fig. 49
"Leimbruchanteil" je Woche Versuchszeit bei genadelten PVAc-Brettschichtholzverleimungen mit unterschiedlicher Behandlung in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
Number of "glue failures" per week of PVAc glulam with incising as a function of testing time under cyclic conditions

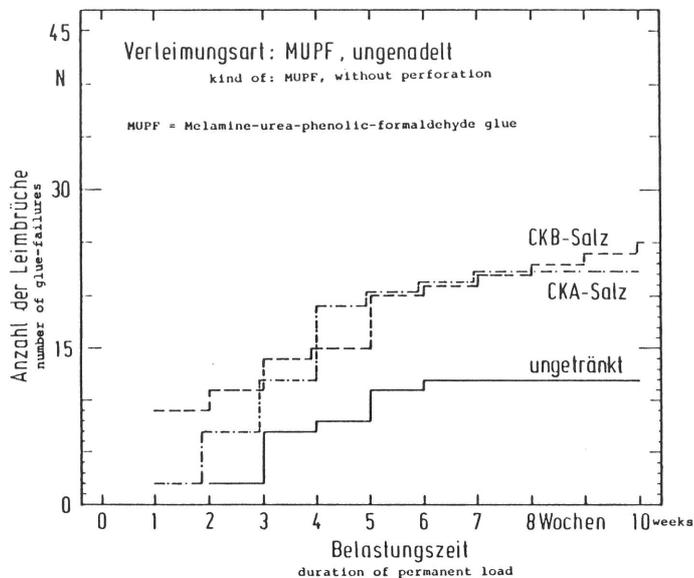


Abb./Fig. 50
"Leimbruchanteil" je Woche Versuchszeit bei ungenadelten MUPF-Brettschichtholzverleimungen mit unterschiedlicher Behandlung in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
Number of "glue failures" per week of MUPF glulam without incising with different types of preservative as a function of testing time under cyclic conditions

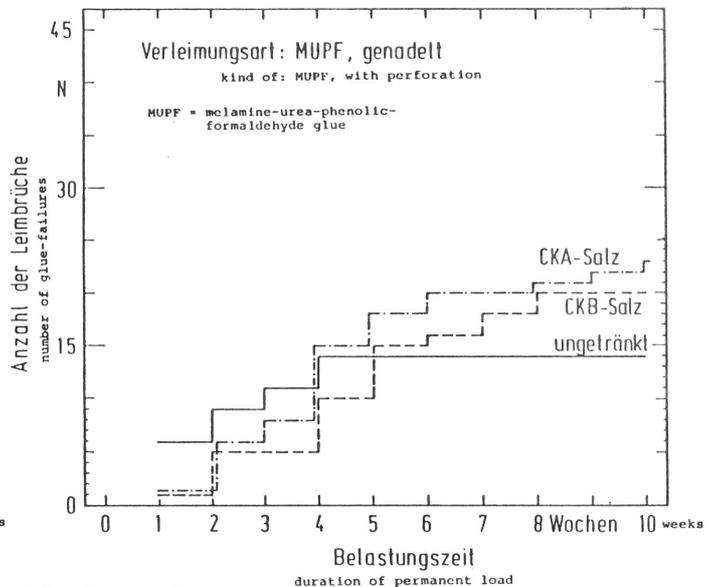


Abb./Fig. 51
"Leimbruchanteil" je Woche Versuchszeit bei genadelten MUPF-Brettschichtholzverleimungen mit unterschiedlicher Behandlung in Abhängigkeit von der Belastungszeit im Dauerstandversuch bei Wechselklimalagerung
Number of "glue failures" per week of MUPF glulam with incising as a function of testing time under cyclic conditions

Bei den MUPF-Verleimungen (Abb. 50 und 51) waren die Festigkeitsverluste, verursacht durch Schutzsalzimpregnierungen (50-60 %), denjenigen der Kontrollproben (ca. 30 %) bei weitem überlegen. Offenbar erfolgten hier Härtungsstörungen durch Schutzmittelbestandteile (Chrom). Dies traf für beide Schutzsalze gleichermaßen zu. Hier wäre zu prüfen, ob bei Aminoplastmischharzen durch Änderung der Härtereinstellung diese Schwachstelle beseitigt werden kann. Denkbar wäre es, die sauren Bestandteile der Schutzsalze gleichsam wie in einem Härtervorstrichverfahren zur Härtung bei Kaltverleimungen zumindest partiell zu nutzen.

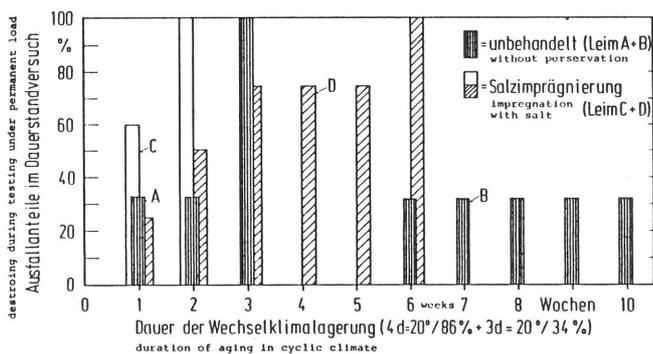


Abb./Fig. 52
Dauerstandversuch genadelter Proben mit und ohne Salzimpregnierung für die Verleimungen: A = RF B = PU, C = MUF und D = PF/RF in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer im Wechselklima unter Last Creep test of glulam with and without incising and impregnation (salt) as a function of testing time (adhesives: A = RF; B = MDI; C = MUF, D = PF/RF)

Die Ergebnisse der Dauerstandversuche im Wechselklima an imprägnierten Brettschichtverleimungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

PF/RF-Brettschichtverleimungen wiesen bei ungenadelten und genadelten Proben praktisch keine Festigkeitsverluste auf. Bei CKB-salzimpregnierten Proben ergaben sich insbesondere bei ungenadelten Proben etwas mehr Leimbrüche (ca. 19 % bezogen auf die geprüfte Probenzahl). Eine ähnliche Tendenz ergab sich bei an-

deren Versuchen mit CKB-salzimprägnierten Brettschichtverleimungen mit Leimen, die speziell zur Fenster-Verleimung verwendet werden. Zwar stellten sich auch hier Differenzierungen zwischen MUF (Leim C) und PF-Verleimungen (Leim D) ein, doch war in diesem Fall auch die PF-Verleimung noch vor Ablauf der Versuchszeit zu 100 % zerstört. Nur die Proben mit PU-Verleimung (Leim B) überstanden zu ca. 66 % die gesamte Versuchszeit. Beim Leim A (RF-Verleimung) lag bei den unbehandelten Proben möglicherweise eine Fehlverleimung vor, da bei einer Prüfung der Ausgangsfestigkeiten nach BAM-Prüfmethode gemäß Abb. 21 der Mittelwert um rund 25 % unter dem der PU-Verleimung lag, obwohl von der Qualität her zwischen beiden Verleimungsarten keine Unterschiede vorhanden sein dürften. Bei Ölimprägnierung hingegen waren diese Nachteile, wie sie bei der CKB-Salzimprägnierung eintraten, nicht zu verzeichnen. Bei CKA-salzimprägnierten Lamellen waren nur sehr geringe Leimbruchzahlen feststellbar.

Bei PVAc-verleimten Proben waren hohe Leimbruchzahlen vorhanden (bei CKB-imprägnierten Lamellen bis zu 45 %, bei ungetränkten Proben bis zu 30 %). Dieses Ergebnis traf gleichermaßen für ungenadelte als auch genadelte Proben zu. Der Abfall war bei CKB-Imprägnierung höher als bei CKA-Imprägnierung.

Praktisch das gleiche Resultat wie bei PVAc-Verleimungen stellte sich bei MUPF-Verleimungen im Dauerstandversuch ein. Hier lagen die imprägnierten Proben hinsichtlich der Leimbruchanteile deutlich über denen der Kontrollproben (Kontrollproben etwa 30 % Leimbruchanteil, imprägnierte Proben rund 45 - 50 % Leimbruchanteil).

Ein Zusammenhang zwischen Tränkungsintensität und Leimbruchanteil war visuell nicht erkennbar.

Die Untersuchungen an imprägnierten Brettschichtverleimungen erlauben nachstehende Schlußfolgerungen:

- Die Perforierung mit dünnen Nadeldurchmessern führt nicht zu Festigkeitsschwächungen.
- Die PF/RF-Verleimung erbringt das größte Maß an Sicherheit.
- Die modifizierten PVAc-Verleimungen ergaben die größten Festigkeitseinbußen.
- Den stärksten Einfluß hatten die Salzimprägnierungen bei der MUPF-Verleimung. Bei der PF/RF-Verleimung wies die CKB-Imprägnierung ungünstigere Resultate auf, vermutlich wegen der Bor-Unverträglichkeit.
- Beide angewandten Prüfverfahren, sowohl eine Kurzzeitbewitterung nach dem XENOTEST-Verfahren als auch Dauerstandversuche im Wechselklima, führten zu übereinstimmenden Resultaten. Die ermittelten Rangfolgen stimmten mit den praktischen Erfahrungen überein. Die Verfahren ermöglichen somit Rückschlüsse auf das Langzeitverhalten von Brettschichtverleimungen.

5. Überlegungen zu einem Prüfverfahren

Marktausweitung und Wettbewerbsbedingungen zwingen den Holzleimbau zu Weiterentwicklungen der Verfahrenstechnik

(Pizzi/Cameron 1984), zu einer laufenden und möglichst schnellen Anpassung an die Veränderungen des Marktes und zu einer Wahrnehmung technischer Möglichkeiten auf dem Klebstoffsektor, ohne daß es zu Einschränkungen bei der Sicherheit der Bauteile kommen darf.

Aus marktwirtschaftlichen Gründen sind Holzleimbauteile produzierende Firmen ferner an "hellen" Leimfugen interessiert. Dies bedeutet, daß modifizierte PVAc-, Epoxid- oder Isocyanatleime (Vick 1984) zukünftig an Bedeutung gewinnen könnten. Zur Abschätzung des Risikos beim Einsatz derartiger Leime in Anwendungsgebieten mit höheren Anforderungen (Feucht- oder Naßklimabereich, Außenanwendung) erscheinen Überarbeitungen bzw. Ergänzungen der den Beurteilungen zugrunde liegenden Normvorschriften bzw. Prüfverfahren unbedingt erforderlich.

Aus den vorstehenden Ausführungen wird verständlich, daß diese Aufgaben mit Kurzprüfverfahren kaum lösbar sind. Prüfungen an Zugscherproben mit Vorbehandlungen nach DIN 53 254, Lagerungsfolge 6 (7d Normalklima DIN 50 014 von 20/65; 4d Kaltwasserlagerung bei 20°C \pm 2°; 7d Normalklimalagerung (vgl. DIN 68 141, Abschn. 2.2) oder Vorbehandlungen nach DIN 68 141, Abschn. 2.52 (24 h bei 50°/100 % r.L.; 8 h bei 10°/100 % r.L. und 16 h bei 50°/20 % r.L.) dürften kaum zur Lösung derartiger Aufgaben ausreichend sein.

Ziel eines diesbezüglichen Prüfverfahrens sollte es sein, ein Vorbehandlungsschema zu finden, das einmal in seinen Bedingungen die tatsächlich zu erwartenden Beanspruchungen möglichst weitgehend realistisch simuliert und zum anderen klebstoffunabhängig anwendbar ist. Die Schwierigkeit liegt hier in der Darstellung der Belastungsparameter für Feuchtwechsel- bzw. Freilandklimate. Derartige Wechselbeanspruchungen werden als gravierend angesehen. Entsprechend den Erfahrungen mit dem BAM-XENOTEST-Verfahren (vgl. Abschn. 4.3) werden die dort angeführten Belastungsparameter als geeignet eingestuft, auch unter dem Gesichtspunkt der erforderlichen Zeitraffung. Eine Vorbehandlung für etwa 24 Wochen müßte nach dem bisherigen Stand der Kenntnisse für eine Alterung der Leimfuge ausreichend bemessen sein (vgl. Abb. 18). Eine derartige Vorbehandlung kann jedoch für sich allein genommen noch nicht als ausreichend angesehen werden. Erst eine anschließende Wechsellagerung unter Dauerlast der gleichen Proben würde zu Differenzierungen innerhalb der jeweiligen Leimgruppen führen. Klebstoffe, die über keine ausreichende Feuchte- und Fugenbeständigkeit verfügen, müßten bei einer derart kombinierten Vorbehandlung so geschwächt werden, daß ihre nicht genügende Sicherheit zutage tritt.

Für derartige Kombinationsversuche sind besondere Probenträger zu entwickeln. In Abb. 53 ist ein derartiger Probenträger mit Probenmaterial dargestellt, wie er für solche weitergehenden Versuche vorgesehen ist.

In einem XENOTEST-Kurzzeitbewitterungsversuch sollen die Proben zunächst einer Alterungsbelastung unterworfen werden. Nach Ablauf der Bewitterungszeit sind die Proben auf Delaminierungen zu prüfen. Ein eventueller Festigkeitsabfall ist festzustellen. Beläuft sich im XENOTEST-Alterungsversuch der Festigkeitsabfall bereits in Größenordnungen von \geq 50 %, so kann auf den anschließenden Dauerstandversuch im Wechselklima verzichtet werden, da eine unzureichende Feuchtebeständigkeit der Verleimung vorliegen

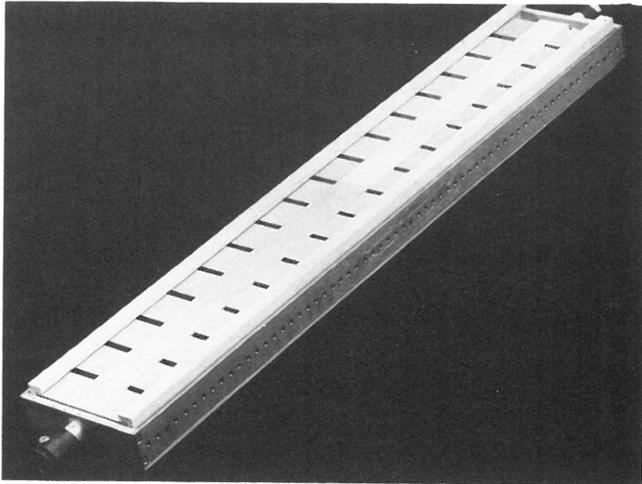


Abb./Fig. 53
Probenträger mit modifizierten Kreuz-
scherproben für kombinierte XENOTEST-
Dauerstandversuche an Brettschicht-
verleimungen
Wing assembly with modified cross-shear-
test samples for combined XENOTEST
aging and creep test

muß. Nach ausreichender XENOTEST-Bewitterung werden die Proben einem Dauerstandversuch unter Wechselklimabedingungen unterworfen. Durch eine derartige Kombination sollen zwei Aspekte überprüft werden:

- a) Durch den XENOTEST-Alterungsversuch werden nicht ausreichend feuchtfeste Verleimungen ausgesondert.
- b) Im Dauerstandversuch unter Wechselklimabedingungen zeigt sich, ob eine ausreichende Fugenbeständigkeit erhalten geblieben ist. Ferner erhält man die Möglichkeit der Differenzierung innerhalb der gleichen Leimtype. Mit diesem Versuch können auch Rezepturänderungen, Modifizierungen der Verleimungsbedingungen, der eventuelle Einfluß von Imprägnierungen u.a.m. in ihrem Langzeitverhalten abgeschätzt werden.

Darüber hinaus können auch Auskünfte über Leimverträglichkeiten bei Anwendung von Streckmitteln, Härtern oder Holzschutzmitteln gewonnen werden, wofür Kurzprüfungen nach Norm nur sehr bedingt einsetzbar sind.

Literaturverzeichnis

- Bellmann, H., 1986:
Schutz von wetterbeanspruchten Holzbauteilen durch Oberflächenbehandlung und Imprägnierung. VDI-Berichte, Düsseldorf, S. 259-286.
- Blomquist, R.F., Olzon, W.Z., 1955:
Durability of fortified urea-formaldehyd-resin glues in plywood. Forest Prod. J. 5: 50-56.
- Boehme, C., 1977:
Das Verhalten von PVAc-Klebstoffen in der Freibewitterung. Holz RuW 35 (8):289-294
- Bröker, F., 1984:
Schriftl. Mitteilung Bundesanstalt für Holz- und Forstwirtschaft (BFH) Hamburg.

- Bröker, F. u. Blaik, U., 1986:
 Untersuchungen über die Zug- und Druckscherfestigkeiten
 verklebter Hölzer.
 Holz RuW 44: 143-149.
- Burmester, A., 1982:
 Prüfung der Leimbindefestigkeit von schutzmittelgetränktem
 Holz. Vortr. 16. DGfH-Holzschutztagung, Münster.
- Burmester, A., 1985:
 Beständigkeit und Leimbindefestigkeit von resorcinharz-ver-
 leimtem Brettschichtholz. Zwischenbericht zum Forschungsvor-
 haben der Europ. Gemeinschaft. Brüssel (Vertr.No. BOS-081-D/B).
- Caster, R.W., Gillern, M.F., Howell, J.T., 1973:
 A gap-filling phenol-resorcinol adhesive for laminating.
 Forest Prod. J. 23: 55-60.
- Caster, D., Perrine, M.J., 1974:
 Screening wood adhesives with an automatic boil-test.
 Adhesiv. Age 17: 47-49.
- Caster, R., 1980:
 Correlation between exterior exposure and automatic boil test
 results. Proc. Symp "Wood Adhesives - Research, Application,
 and Needs", sponsored by U.S. Forest Products Lab. and Wash.
 State University, Madison, Wis., Sept. 23-25.
- Clad, W., 1960:
 Die Beurteilung von Harnstoffharzleimen auf Grund ihrer Prüfung.
 Holz RuW 18 (10): 391-400.
- Chow, S. a. Caster, R., 1978:
 Relationship of adhesive softening temperature to exposure
 tests for bond quality. For. Prod. J. 28 (6): 38-43
- Deppe, H.-J., 1975:
 Ermittlung der Beständigkeit von Holzmontageverleimungen
 durch Kurzprüfverfahren. Holz RuW 33: 411-414.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1979:
 Vergleichende Lang- und Kurzzeitbewitterungsprüfung
 von Holzwerkstoffen. Holz RuW 37 (8): 287-294.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1981:
 Zur Beständigkeit beschichteter Holzspanwerkstoffe.
 Holz RuW 39: 139-148.
- Deppe, H.-J., 1982: Dauerstandsversuche an Brettschicht-
 verleimungen. Bauen mit Holz 108 (12): 778-783.
- Deppe, H.-J. u. Gersonde, M., 1985:
 Zur Beständigkeit imprägnierter Brettschichtverleimungen.
 Holz RuW 43: 33-37.
- Deppe, H.-J. u. Schmidt, K., 1985:
 Beurteilung des Langzeitverhaltens von Brettschichtverlei-
 mungen. Abschlußbericht EGH-Forsch.Vorhaben, München.
- Deppe, H.-J., 1986:
 Die deutsche Holzwerkstoffindustrie zwischen ökonomischen

- Möglichkeiten und ökologischen Anforderungen.
Holz-Zbl. 112 (5): 46-48.
- Deppe, H.-J., 1986:
Untersuchungen zur Schutzbehandlung von Bausperrholz.
Holz RuW 44 (9): 333-340.
- Deppe, H.-J., 1986:
Alterungsuntersuchungen an Brettschichtholzverleimungen.
Bauen mit Holz 88(9):595-620
- Dinwoodie, J.M., 1979:
The properties and performance of particle board adhesives.
J.Inst.Wood Sci. 8 (2) 59-68 (En, 29 ref.)
Building Res. Estab., Princes Risborough Lab., Aylesbury,
Bucks., UK.
- Dix, B. u. Marutzky, R., 1985:
WKI-Kurzber. Nr. 3/85, Braunschweig.
- Dutko, P., 1969:
Grundlagen des Holzleimbaues. In: Halasz, R.v. (Hrsg.):
Bauing.-Praxis, H. 51. Berlin-München: Ernst & Sohn.
- Ebewell, R., River, B. a. Koutzky, J., 1982:
Relationship between Phenolic Adhesive Chemistry, Cure and Joint
Performance. J. Adhesion 14: 189-217.
- Egner, K., Jagdfeld, P., 1962:
Untersuchungen an Harnstoffharzleimen mit Streck- und Füll-
mitteln für die Leimung tragender Holzbauteile.
Holz-Zbl. 99 (143): Beil. Mod. Holzverarb.
- Egner, K., Kolb, H., 1966:
Untersuchungen über das Alterungsverhalten von Holzleimen
für Brettschichtkonstruktionselemente. Holz RuW 24: 439-442.
- Egner, K., Jagdfeld, P., Kolb, H., 1969:
Alterungsuntersuchungen an gestreckten Harnstoffharzleimen für
die Herstellung tragender Bauteile. Holz-Zbl. 95: 251-252.
- Egner, K., Kolb, H., 1974:
Leimbauwesen. In: Halasz, R.v. (Hrsg.): Holzbau-Taschenbuch.
Berlin-München-Düsseldorf: Ernst & Sohn.
- Egner, K., 1976:
Die Leimung tragender Holzbauteile. Holzbau 42 (4): 94-95.
- Erickson, R., 1985:
Structural adhesives in the improved use of our timber resources.
J. Adhesion. 18: 273-280.
- Gaudert, P. a. Carroll, M., 1974: Significance of tension stress on the
Res. Rep. Eastern For. Prod. Lab. Canada. durability of gluelines.
- Gibson, M. a. Kramer, R., 1980:
Interrelations of bond performance and some physical properties
of elastomeric construction adhesives. For. Prod. J. 30 (1):49-54.
- Gillespie, R., Lewis, W.C., 1972:
Evaluating adhesives for building construction.
USDA Forest Prod. Lab. Madison, FPL-Res. Pap. No. 172.

- Gillespie, R., 1978:
Adhesives in Building Construction.
Forest Service. US-Dep. of Agriculture. Handbook No. 516.
- Gillespie, R.H., 1980:
Evaluating durability of adhesive-bonded wood joints.
Proc. Symp. "Wood Adhesives - Research, Application, and Needs," sponsored by U.S. Forest Prod. Lab. and Washington State University, Madison, Wis., Sept. 23-25.
- Göldi, M., Sell, J. u. Meierhofer, U.: 1979:
Scherfestigkeit der Klebeverbindungen von vorimprägniertem Holz. Holz RuW 37 (7): 241-250.
- Hinterwaldner, R. u. Kreibisch, E., 1986:
Holzbauleime. Feasibilitystudie. Hrsg.: EGH München (BMFT-Forsch. Ber. B-1-6-800185-2).
- Homanner, A., 1974:
Neue Prüfmethode für wasserbeständige PVA-Holzleime. Mitt. Farbwerke Höchst AG, Frankfurt/Main.
- Hoyle, R., 1981:
Evaluating elastomeric adhesives used to construct wood buildings. Adhesive Age 24 (7): 15-20.
- Hüttemann, W., 1978:
Probleme der Praxis bei der Herstellung von Holzleimbaukonstruktionen. Holz RuW 36 (6): 217-220
- Kolb, H. u. Goth, F., 1982: Verleimbarkeit kesseldruckimprägnierter Bretter zu Trägern. Prüfbericht FMPA Stuttgart, Nr. I.4-34522.
- Kolb, H., Goth, H. u. Epple, A., 1985:
Zum Einfluß von Dauerbelastung, Temperatur und Klimawechsellaagerung auf die Querkzugfestigkeit von Fichtenholz. Holz RuW 43: 463-468.
- Kowaltschuk, L., 1979:
Verleimte Holzverbindungen. - Anforderungen und Prüfverfahren. Holz RuW 37 (3): 91-95
- Kreibich, R.E. a. Freeman, H.G., 1968:
Development and design of an accelerated boil machine. Forest Prod. J. 18 (12): 24-31.
- Kreibich, R.E., 1974:
High speed adhesives for the wood gluing industry. Adhesive Age 17: 26-33.
- Kreibich, R., 1980:
Structural Wood Adhesives - today and tomorrow. Proc. NATO-Conf. Ottawa, p. 53-65.
- Kropf, F., 1986:
Leimfugenfestigkeit schlitzperforierter Holzoberflächen. Holz RuW 44 (12): 474.
- Laufenberg, Th., 1982:
Exposure effects upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. For. Prod. J. 22 (5): 42-48.

- Lefeuvre, J., 1970:
Methods of testing polyvinyl acetate glues for the use in glued joints in wood. CTB Paris, 8 pp.
- Meierhofer, U. u. Sell, J., 1976:
Untersuchungen an wetterbeanspruchten Holzspanplatten. Holz RuW 33 (12): 443-450.
- Meierhofer, U., Sell, J., 1979a:
Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. 2. Mitt.: Tragende Holzbauteile im Freien unter Dach. Holz RuW 37: 227-234.
- Meierhofer, U., Sell, J., 1979b:
Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. 3. Mitt.: Träger mit direkter Wetterbeanspruchung. Holz RuW 37: 447-454.
- Meierhofer, U.A. 1982:
Bewitterungsversuche an großformatigen Holzproben. Forsch. u. Arbeitsber. Nr. 115/1, Abt. Holz, EMPA Dübendorf.
- Meierhofer, U.A., 1985a:
Bewitterungsversuche an imprägniertem Brettschichtholz. Forsch. u. Arbeitsber. Nr. 115/9, Abt. Holz, EMPA Dübendorf.
- Meierhofer, U.A., 1985b: Einfluß verschiedener Imprägnierungen auf physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchtem Brettschichtholz. Forsch. u. Arbeitsber. Nr. 115/11, Abt. Holz, EMPA Dübendorf.
- Meierhofer, U., 1986:
Witterungsverhalten von salz- und ölimprägniertem Brettschichtholz. Holz RuW 44: 173-177.
- Millett, M.A. a. Gillespie, R.H., 1978:
Precision of the rate-process method for predicting bondline durability. Prepared by Forest Products Laboratory for Dep. of Housing and Urban Development. NTID PB80-121866.
- Möhler, K., Steck, G., 1980:
Untersuchungen über die Rißbildung in Brettschichtholz infolge Klimabeanspruchung. Bauen mit Holz 82 (4): 194-200.
- Neusser, H., Schall, W., Haidinger, K., 1974:
Untersuchung der Einflußfaktoren auf das Verhalten von Konstruktionsleimen, besonders in dicken Leimfugen unter Berücksichtigung der kritischen Bedingungen für die bauliche Zulassung solcher Produkte. Holzforsch. u. Holzverwert. Teil I 24: (1972) 45-50; Teil II 26: 63-74.
- Neusser, H., Schall, W., 1977:
Verbesserungen am Holzfenster. Holzforsch. u. Holzverwert. 29 (3): 58.
- Neusser, H., 1982:
Klebstoffe für Holz. Eigenschaften und Prüfung. Österr. Holzind. 25: 10-12.
- NN, 1983:
Klimaeinflüsse auf das Quellen und Schwinden lamellierter Holzbauteile. Holz-Zbl. 109 (77): 1067.

Pizzi, A., Orovan, E. a. Cameron, F., 1984:
The development of weather- an boil-proof phenol-resorcinol-
furfural cold-setting adhesives. CSIR-Special Rep. Hout 342,
Pretoria.

Pizzi, A. a. Cameron, F., 1984:
Fast-set adhesives for glulam. For. Prod. J. 34 (9): 61-68.

Plath, E., 1965:
Prüfverfahren zur Beurteilung von Sperrholz- und Spanholz-
Verleimungen. Adhäsion 9: 446-449.

Plath, E. u. L., 1966:
Taschenbuch der Kitte und Klebstoffe, 4. Aufl., Stuttgart:
Wiss. Verl. Anst.

Raknes, E., 1981:
Langzeit-Dauerhaftigkeitsprüfung von Konstruktions-
leimen für Holz. Resultate nach 15jährig. Exposition.
Norsk Skogsind. 35 (10)

Ressel, J., 1985:
Zur aktuellen Lage der Holzleimbauindustrie in der Bundes-
republik Deutschland. Holz-Zbl. 111 (67/68): 1012-1013.

River, B.H. a. Gillespie, R.H., 1981:
Behavior of construction adhesives under long-term load.
U.S. Forest Serv. Res. Pap. FPL 400. Forest Prod. Lab.,
Madison, Wis.

River, B., 1984:
Accelerated real-time aging for 4 construction adhesives.
Adhesiv. Age 27 (2): 16-21.

Rozynek, J., 1986:

Belegarbeit an der TFH Rosenheim.

Rug, W., 1985:
Stand und Entwicklungstendenzen im Holzbau, Teil II.
Holztechnologie 25 (5): 257-262.

Sandoe, M., Keenan, F., Beall, F. a. Fox, S., 1980:
Effect of accelerated aging on tensile perpendicular-
to-glueline strength of glued-laminated beams. In ASTM
STP 691, P.J. Sereda a.G.G. Litvan (Eds.), Am. Soc. for
Test a. Mater., p. 224-234.

Scharfetter, H., 1975:
Glulam manufacturers with intermediate-temperature
setting plywood adhesives. Forest Prod. J. 25: 30-32.

Schall, W., 1978:
Montageleime für die Holzverleimung. Der Tischler 32
(8/12/14/16).

Sell, J., 1978:
Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbau-
teilen. 1. Mitteilung: Ausgangssituation, Ziel, Grund-
lagen und Methodik einer langfristigen Untersuchung.
Holz RuW 36: 461-466.

- Sell, J., Meierhofer, U., Graf, E., 1981:
Zur Dauerhaftigkeit von Holzbauteilen - bautechnische
und holztechnologische Gesichtspunkte. Bulletin der
Schweiz. Arbeitsgemeinschaft f. Holzforschung 2: 1-18.
- Slack, T.K., 1974:
Trends in the use of adhesives in construction
Adhesiv. Age 17: 17-20.
- Solar, F., 1977:
Erforschung einiger aktueller Probleme bei brettschicht-
verleimten Trägern. Teil I, Holzforsch. u. Holzverwert.
29 (1): 1-7.
- Staff, W., 1959:
Longtime tension and creep tests of plastics.
Mod. Plastics 27 (5): 93/100 a. 144/145.
- Steiner, P.R. 1973:
Durability of urea formaldehyde adhesives.
Effects of molar ratio, second urea and filler.
Forest Prod. J. 23: 32-38.
- Strickler, M., 1968:
Specimen Designs for Accelerated Tests.
Forest Prod. J. 18 (3):84-90
- Vick, C.B., 1973:
Gap filling phenol resorcinol resin adhesives
for construction. Forest Prod. J. 23: 33-59.
- Vick, C., 1984:
An emulsion polymer-isocyanate adhesive for laminating
composite lumber. Forest Prod. J. 34 (9): 27-34.
- Viitanen, M., 1984:
Preservation of wooden boards.
VTT Helsinki, Res. Report No. 327.
- White, M., 1977:
Methods for measuring resin penetration into woods.
Forest Prod. J. 27 (7): 52-54

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern
von Dr.-Ing. Götz Andraea

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile
von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren
von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972 (vergriffen)

Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren
von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14/Juli 1972

Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz
von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen
von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

Das Sprödbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung
von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen
von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

Der Elektronen-Lineargeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —
von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern
von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall
von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology
von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung
von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen
von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens
von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen
von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles
von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung
von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

- Nr. 40/Juni 1976
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren
von Dr. rer. nat. H. Hantsche
- Nr. 41/Okttober 1976
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft
von Dr.-Ing. Siegmund Dielten
- Nr. 43/Okttober 1976
Das Sprödbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung
Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Okttober 1977
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner
- Nr. 49/Dezember 1977
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Okttober 1978
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi
- Nr. 54/Okttober 1978
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979
Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmietrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 65/Februar 1980
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Steereomeßtechnik.
Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 79/Dezember 1981
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kalttribeugung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
von Dr.-Ing. Volker Neumann

- Nr. 80/Dezember 1981
Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch
- Nr. 81/Dezember 1981
Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt
- Nr. 82/April 1982
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworuski
- Nr. 83/Juli 1982
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle
- Nr. 84/Juli 1982
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Okttober 1982
Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ — Materials Research and Testing — Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme „Basic Technological Research“ —
von Prof. Dr. Horst Czichos
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Anton Erhard
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Konzeption für geregelte Versuche
Versuchseinrichtung
Vorversuche an Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
von Dr. rer. nat. Peter Städt
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983
Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
von Dr.-Ing. Manfred Römer
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Okttober 1983
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Heinz Eifler
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983
Typische Bruchflächenbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen —
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonbalken mit Biegebewehrung aus Betonstahl BSt 420/500 RK und BSt 1080/1320
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984
Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984
Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984
Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton
von Dr.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984
Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984
Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
von Dr.-Ing. Michael Gierloff
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984
Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Forberg
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Okttober 1984
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
von Dr.-Ing. Jan Lehnert
- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Okttober 1984
Korrosion von Stahlradiatoren
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Okttober 1984
Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985
Zur Wirkung der Schrumpfbehinderung auf den Schweißzugspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N
von Dr.-Ing. Mohamed Omar
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985
Wasserstoff als Energieträger
von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropp
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985
Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Analex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte
von Dr.-Ing. Kurt Ziegler
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985
Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen
von Dr.-Ing. Wolfgang Lützwow
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985
Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungsrißkorrosion von Offshore-Konstruktionen
von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NRIM, Japan)
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985
Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen
von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Daum und Andreas Szameit
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985
Farbempfindungsmerkmal Elementaruntton und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld
von Privatdozent Dr. Klaus Richter
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Okttober 1985
Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik
von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Armin Wagner
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Okttober 1985
Materials Technologies and Techno-Economic Development
A study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)
by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn

Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Oktober 1985

Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung
Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen
von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler

Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I
von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/April 1986

Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung
von Dr.-Ing. Andreas Hecht

Nr. 121/ISBN 3-88 314-530-0/Juni 1986

Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung
von Dr.-Ing. Paul Feinle und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 122/ISBN 3-88 314-521-1/Juli 1986

Entsorgung kerntechnischer Anlagen
von J. Mischke
Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste

Nr. 123/ISBN 3-88 314-531-9/Juli 1986

Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase
von Dr. rer. nat. Detlef Rennoch

Nr. 124/ISBN 3-88 314-538-6/Juli 1986

Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung
von Dr.-Ing. Hans-Martin Thomas

Nr. 125/ISBN 3-88 314-540-8/Juli 1986

Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssig-gas-Lagertanks
von Dr.-Ing. Bernhard Droste und Dipl.-Ing. Ulrich Probst

Nr. 126/ISBN 3-88 314-547-5/August 1986

Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel

Nr. 127/ISBN 3-88 314-564-5/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 128/ISBN 3-88 314-568-8/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 129/ISBN 3-88 314-569-6/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load
Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit
Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates
von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 130/ISBN 3-88 314-570-X /November 1986

Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 131/ISBN 3-88-314-585-8/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 132/ISBN 3-88-314-595-5/Januar 1987

Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen
von Dipl.-Ing. Christian Herold und Dipl.-Ing. Frank-Ulrich Vogdt

Nr. 133/ISBN 3-88 314-609-9/Januar 1987

Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe
von Dipl.-Ing. Mathias Woydt und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 134/ISBN 3-88 314-615-3/Februar 1987

Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen
von Dr. Götz Andrae und Gottfried Niessen

Nr. 135/ISBN 3-88 314-618-8/Februar 1987

Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen
von Dipl.-Ing. Jörg Ludwig, Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Mischke und Dipl.-Ing. Armin Ulrich

Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/April 1987

Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau
von Prof. Dr. rer. silv. Hans-Joachim Deppe und Klaus Schmidt

Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/Mai 1987

Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit
Projektleiter: Dr. Dietmar Aurich

Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/Mai 1987

Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.
von Dipl.-Geol. Michael Dogunke und Dr.-Ing. Frank Buchhardt