

**Untersuchungen über die Dauerfestigkeit
von Leimverbindungen zwischen anorga-
nisch gebundenen Holzwerkstoffen und
Nadelholz im Sinne der DIN 1052**

T 2983

T 2983

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2002, ISBN 3-8167-6486-X

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail info@irb.fhg.de

URL <http://www.IRBbuch.de>



WKI · FRAUNHOFER-INSTITUT · Bienroder Weg 54 E · D-38108 Braunschweig

Deutsches Institut
für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 L

10829 Berlin

Institutsleiter:
Prof. Dr. Rainer Marutzky

Bienroder Weg 54 E
D-38108 Braunschweig

Telefon +49 (0) 531/2155-0
Telefax +49 (0) 531/351587
<http://www.wki.fhg.de>

Dipl.-Ing. P. Buchholzer
Durchwahl +49 (0) 531/2155-319
Telefax +49 (0) 531/351587
e-mail: bu@wki.fhg.de

Abschlußbericht

zum DIBt-Forschungsvorhaben

Untersuchungen über die Dauerfestigkeit von Leimverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen und Nadelholz im Sinne der DIN 1052

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik- DIBt
Aktenzeichen: IV 12-5-13.126-875.98
Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft über
Fraunhofer-Institut für Holzforschung - WKI - Braunschweig
Institutsleiter: Prof. Dr. R. Marutzky
Projektleiter: Dipl.-Ing. P. Buchholzer
Förderung: DIBt, Industrie und WKI
Datum: März 2002

Der Abschlußbericht umfaßt 34 Seiten und 34 Anlagen

Meßstelle nach § 26
Bundesimmissionsschutzgesetz

Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult.
Hans-Jürgen Warnecke, Präsident
Dr. jur. Dirk-Meints Polter
Dr. rer. pol. Hans-Ulrich Wiese

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e. V., München

Bankverbindung: Deutsche Bank, München
Konto 75-21 933 BLZ 700 700 10



Inhaltsverzeichnis

1. Literaturlauswertung
2. Ermittlung der grundlegenden Eignung der Verleimung (1. Teil)
 - 2.1 Arbeitsablauf und Versuchsdurchführung
 - 2.2 Ergebnisse
3. Bestimmung der Dauerhaftigkeit der Verklebung bei Feuchte- und Temperaturänderung (2. Teil)
 - 3.1 Arbeitsablauf und Versuchsdurchführung
 - 3.2 Ergebnisse
4. Ergänzende Untersuchungen an Plattenmaterial, an Wandelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung für besonders geeignete Systeme sowie an Wandelementproben (3. Teil)
 - 4.1 Arbeitsablauf und Versuchsdurchführung
 - 4.2 Ergebnisse
5. Zusammenfassung
6. Literaturzusammenstellung
7. Kurzfassung in deutscher Sprache
8. Kurzfassung in englischer Sprache
9. Kurzfassung in französischer Sprache
10. Anlagen



1. Literaturlauswertung

Das vom Industrieverband Klebstoffe initiierte Expertengespräch zum Thema " Welche Zukunft hat die Klebtechnik ?" (Anonymus 1998) macht deutlich, daß der Klebtechnik ein großes Zukunftspotential vorbehalten ist. "Klebstoffe gehören mit Sicherheit zu den "hidden Champions" und sind mit Grundlage und Garant der zukünftigen der zukünftigen technologische Entwicklung". Über Beispiele von bedeutsamen Erfolgen in der Medizin- und Elektrotechnik, Luft- und Raumfahrt sowie Automobil- und Papierindustrie wird berichtet. Da diese Schlüsseltechnologie derzeit unterschätzt wird, haben die Experten folgende zentralen Forderungen gestellt:

- Verstärkte Darstellung des Leistungsprofils der Hochtechnologie "Kleben" in Werkstätten und Fertigung
- Die Prozeßsicherheit durch "Kleben" in Schlüsseltechnologien muß Standard werden
- Stärkere Einbindung der Klebtechnik in der Ausbildung
- Übergreifende Ausbildung und Schulung von Mitarbeitern
- Forschung und Entwicklung muß verstärkt auf die hohen, strukturellen Anforderungen des "Klebens im System" fokussiert werden
- Konsequentes Weiterentwickeln von neuen Produkten mit neuen Anwendungsspektren
- Verdeutlichung der häufig eindeutig positiven Ökobilanz im Vergleich zu anderen Verbindungstechnologien in der Gesamtbetrachtung
- Etablieren eines interdisziplinären Dialogs zwischen Werkstoffherstellern oder Klebstoffproduzenten, Ingenieurwissenschaften, Anwendern, Konstrukteuren und Ökologen

Auch der Holzbau hat in den letzten Jahrzehnten einen steten Aufschwung erlebt, der einerseits im gestiegenen ökologischen Bewußtsein der Gesellschaft begründet ist, andererseits auch auf Entwicklungen beruht, die Holzkonstruktionen immer wirtschaftlicher, zuverlässiger und ästhetisch ansprechender gemacht haben. Diese Entwicklung im Bereich Holzkonstruktion ist sehr diversifiziert und beinhaltet u.a. auch neue und verbesserte Holzverbindungen bis zu Verbundbauteilen zwischen Holz und anderen Baustoffen wie Beton oder Kunststoff. Auf dem Gebiet der geklebten Verbindungen wird die Anwendung bestehender Verbundmörtel für Befestigungen an Beton oder Mauerwerk auch für Stahl-Holz-Verklebungen vorgeschlagen. Im Bereich Verbundbauteile ist das Kurzzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundbauteilen durch eine Reihe von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten so gut dokumentiert, daß keine grundsätzlichen Probleme für die Anwendung mehr bestehen. Die Verklebung faserverstärkter Kunststoffe (Aramide bzw. Kohlenstofffasern) mit vorgefertigten Lammellen ermöglicht die Herstellung weitgespannter Bauteile mit vergleichsweise sehr hohen Elastizitätsmoduln. Sie werden bereits als Verstärkung bestehender Bauteile aus Stahlbeton eingesetzt und sind für diesen Anwendungsbereich bauaufsichtlich zugelassen (Blaß 1998).

Zementgebundene Span- und Faserplatten sind Plattenwerkstoffe mit besonderen Anwendungseigenschaften wie günstiges Brandverhalten, hohe Feuchtebeständigkeit und hoher Widerstand gegen biologische Schädlinge, die sich für bestimmte Einsatzbereiche im Bauwesen vorteilhaft nutzen lassen. Bedeutsam sind außerdem Werkstoffe auf der Basis von Gips, eine geringere Bedeutung hat Magnesia (Kossatz, Lempfer, Sattler 1983, Kraemer 1985). In jüngerer Zeit gewinnen auch mit Kalziumsilikat gebundene Plattentypen an Bedeutung (Soroushian et al. 1997). Eine Übersicht der neuesten Entwicklungen bei den anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen findet sich bei Moslemi (1997).

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für anorganisch gebundene Holzwerkstoffe ist die Bepunktung von Wandtafeln nach DIN 1052. Die Zulassungsbescheide sehen für diese Anwendung ausschließlich die mechanische Verbindung (Nägeln, Schrauben und Klammern) der Platten mit der Holztragkonstruktion vor. Dagegen dürfen organisch gebundene Holzwerkstoffplatten mit dem Holzrahmenwerk auch verleimt werden. Voraussetzung hierfür ist, daß die Gebrauchstauglichkeit (Zulassung) des Leimes bzw. Klebstoffes zum Leimen tragender Holzbauteile im Sinne von

DIN 1052 nachgewiesen wurde. Der Hersteller der Wandtafeln muß weiterhin den Nachweis über die Eignung zur Herstellung von tragenden Holzbauteilen gemäß DIN 1052 führen.

Über die Verleimung von Zement- oder Gipsplatten mit Holz ist keine Literatur bekannt. Hier kann nur auf einige Anwendungsempfehlungen der Hersteller von anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen zurückgegriffen werden. Diesen ist zu entnehmen, dass Verleimungen möglich sind, jedoch mit Einschränkungen. Dies gilt insbesondere für zementgebundene Span- und Faserplatten, die auf Grund der Alkalität des Zements einen hohen pH-Wert aufweisen.

Dem Technischen Merkblatt der Fa. Eternit über die Planung und Anwendung von Duripanel (zementgebundene Holzspanplatte) können z. B. folgende allgemeine Hinweise für die Verklebung entnommen werden:

- „Duripanel läßt sich in vielfältiger Weise konstruktiv, flächig oder dekorativ verkleben, jedoch sind die besonderen Eigenschaften einer zementgebundenen Holzspanplatte als Trägerplatte und der mit ihr zu verbindenden Oberfläche zu berücksichtigen.“
- „Kleber und Leime müssen ausreichend alkalibeständig (zementverträglich) sein, denn Duripanel hat einen pH-Wert >12.“
- „Der Feuchtigkeitsgehalt muß je nach gewählter Oberflächenveredlung zwischen 6% und 9% liegen, d.h. bei sehr dichten Kaschierungen oder bei Verwendung von Heizpressen müssen die Duripanel-Tafeln getrocknet bzw. durch geeignete Maßnahmen auf den richtigen Feuchtegehalt gebracht werden.“
- „Für hochwertige flächige Verklebungen sind unbedingt geschliffene Tafeln zu verwenden, um einen gleichmäßigen Anpreßdruck in der Presse zu erzielen.“
- „Eine Vorbehandlung der Duripanel-Oberfläche zur Erzielung einer gleichmäßigen Saugfähigkeit kann verfahrenstechnisch notwendig sein oder da, wo der Klebertyp es zuläßt, sind werkseitig epoxidharzgrundierte Tafeln zu verwenden.“
- „Der ausgewählte Kleber/Leim sollte im ausgehärteten Zustand stets etwas elastischer als das zu verklebende Material sein.“
- „Großflächige Verklebungen für den Einsatz im Außenbereich sind nicht zu empfehlen !“

Diese allgemeinen Hinweise, die für die Verklebung von

- Duripanel mit Duripanel,
- Duripanel mit dekorativen Deckschichten,
- Bodenbelägen auf Duripanel,
- keramischen Belägen auf Duripanel und
- Parkett auf Duripanel

empfohlen werden, müssen auch bei der Herstellung von Wandtafeln mit verleimten Bepunktungen aus mineralisch gebundenen Holzwerkstoffen berücksichtigt bzw. ergänzt werden.

Für die Verklebung von Duripanel entsprechend o.g. Einsatzbereiche werden folgende Leime bzw. Klebstoffe empfohlen:



- Dispersionsklebstoff (z.B. PVAc)
- Vinylacetat-Copolymerisat
- Harnstoffharzleim
- Phenol-Resorcinharzleim
- 1-Komponenten-Reaktionsharze (z.B. PU)
- 2-Komponenten-Reaktionsharze (z.B. Epoxidharz; PU)
- elastifizierte, zementäre Dünnbettmörtel

Für die Verklebung von Agepan-Zementspanplatten empfiehlt die Fa. Glunz den

- Montagekleber Assil D der Fa. Henkel auf der Basis von Acrylat-Copolymer-Dispersionen,
- Jowaton der Fa. Jowat auf der Basis von Polyurethan (PU) und
- Duro Lok 206 der Fa. National Starch auf der Basis von Polyvinylacetat (PVAc),

ohne jedoch Einsatzbereiche zu nennen.

Die Anwendungsempfehlung der Firma Sasmox für gipsgebundene Holzspanplatten führt als Befestigungsmöglichkeiten lediglich die Verschraubung oder Verdübelung auf, obgleich die Gipsmatrix den hohen pH-Wert des Zementsteins nicht aufweist und daher von der Verleimung her einfacher zu handhaben sein sollte.

Die für zementgebundene Platten genannten Empfehlungen beruhen auf orientierenden Untersuchungen und auf Konsultationsgesprächen mit den Leimherstellern. Keiner der o. g. Leime wurde von einer Materialprüfanstalt geprüft und als geeignet zum Leimen tragender Holzbauteile im Sinne von DIN 1052 befunden.

Hinweise bezüglich des Einflusses der Alkalität der Platten auf die Dauerfestigkeit der Klebverbindung sowie der Verbesserung der Adhäsion durch mechanische oder chemische Oberflächenbehandlung der Platten (wegen "Kreidung") wurden in der Literatur nicht gefunden.

2. Ermittlung der grundlegenden Eignung der Verleimung (1. Teil)

2.1 Arbeitsablauf und Versuchsdurchführung

Tabelle 1: Versuchsplan zur Herstellung von Zugscherproben aus Klebverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen und Fichtenholz

Plattentyp	Variante	Abschliff	Primer	Klebstoff	Zeichenerklärung	
B1	1	-	-	K1	B1 B1-Zementspanplatte 25 mm Hersteller: Schwörer Zulassung: Z-91-328	
	2	-	-	K2		
	3	-	-	K3		
	4	-	-	K4		
	B2	5	-	P1	K1	B2 A2-Zementspanplatte 25 mm Hersteller: Schwörer Zulassung: Z-9.1-340
		6	-	P2	K2	
		7	-	P2	K3	
		8	-	P2	K4	
B2	9	-	P1	K1	C B1-Zementspanplatte 16 mm Hersteller: Amroc Zulassung: Z-9.1-285	
	10	-	P2	K2		
	11	-	P2	K3		
	12	-	P2	K4		
C	1	-	-	K1	E A2-Zementfaserplatte 10 mm (kalziumsilikatgebunden) Hersteller: Fulgurit Zulassung: Z 9.1-358	
	2	-	-	K2		
	3	-	-	K3		
	4	+	-	K1		
	5	+	-	K2	P1 Vernetzer 195 40 Hersteller: Jowat	
	6	+	-	K3		
	7	+	-	K4		
	8	-	P1	K1		
	9	-	P2	K2		
	10	-	P2	K3		
	11	-	P1	K5		
	12	+	P1	K5		
D	1	+	-	K1	K1 PU-Leim 501 (Polyurethan) Hersteller: Kleiberit Zulassung: beantragt	
	2	+	-	K5		
	3	+	-	K2		
	4	+	-	K4		
	5	+	P1	K1	K2 Jawaton 485 32 (Polyurethan) Hersteller: Jowat Zulassung: keine; beabsichtigt	
	6	+	P1	K5		
	7	+	P2	K2		
	8	+	P2	K4		
E	1	-	-	K1	K3 Plastic-Mastic 528 (Epoxid) Hersteller: Kleiberit Zulassung: keine	
	2	-	-	K2		
	3	-	-	K3		
	4	-	-	K4		
	5	-	P1	K1	K4 Kauresin 460 (Phenol-Resorcin) Hersteller: BASF Zulassung: liegt vor	
	6	-	P2	K2		
	7	-	P2	K3		
	8	-	P2	K4		
					K5 Jowacoll 102 70 (Polyvinylacetat) Hersteller: Jowat Zulassung: keine bzw. D3/D4	

Der Versuchsplan (Tabelle 1) zeigt, daß in die Untersuchungen diverse mineralisch gebundene Plattentypen einbezogen wurden, um den Einfluß der Alkalität auf die Dauerfestigkeit der Leimverbindung beurteilen zu können.

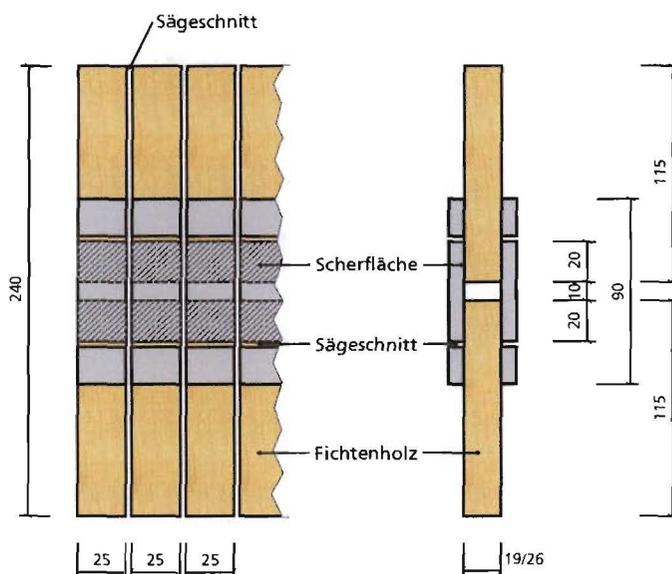
Auch der Einfluß des Plattenabschliffes und des Auftrages von haftungsverbessernden Polymeren auf das Adhäsionsverhalten des Klebstoffes wurde näher untersucht, indem sowohl ungeschliffene als auch geschliffenen Platten sowie unterschiedliche Plattenprimer (Grundierungen) geprüft wurden. Als Klebstoffsysteme kamen sowohl von der FMPA Baden-Württemberg geprüfte und als geeignet befundene als auch nicht zugelassene Klebstoffe zum Einsatz.

Auf Wunsch der Fa. Amroc wurden in die Untersuchungen auch Klebverbindungen zwischen Zementspanplatten (Plattentyp C + Plattentyp C) aufgenommen. Hierbei kamen ausschließlich ungeschliffene Platten zum Einsatz, die zum Teil grundiert (Primer P1 und P2) wurden. Als Klebstoffe wurden K1 (PU), K2 (PU) und K5 (EP) eingesetzt.

An den eingesetzten Plattentypen wurden die Feuchten nach der Darmmethode bei 103°C (Gipsspanplatten auch bei 40°C) und die pH-Werte mittels elektronischen pH-Meter ermittelt, wobei jeweils 2 g des jeweils aufgemahlene Materials in 60 ml dest. Wasser gegeben und 24 h bei 20 °C geschüttelt wurde. Auch die Holzfeuchten wurden nach der Darmmethode bei 103°C bestimmt.

Die Ermittlung der grundlegenden Eignung der Verleimung erfolgte in Anlehnung an DIN EN 302-1 (Klebstoffe für tragende Holzbauteile, Prüfverfahren. Bestimmung der Klebfestigkeit durch Längszugscherprüfung) unter Berücksichtigung folgender Arbeitsschritte:

a.) Herstellung von Zugscherproben entsprechend nachfolgender Abbildung



$$\sigma = F_{\max} / (2 \times \text{Scherfläche})$$

Um einheitliche Herstellungsbedingungen für alle Zugscherproben einer Verklebungsvariante zu gewährleisten, wurden Verleimungsvorrichtungen gebaut, in die alle Teile der Klebverbindung derart eingelegt wurden, daß eine Verschiebung während des Preßvorganges vermieden werden konnte (Abb. 1).

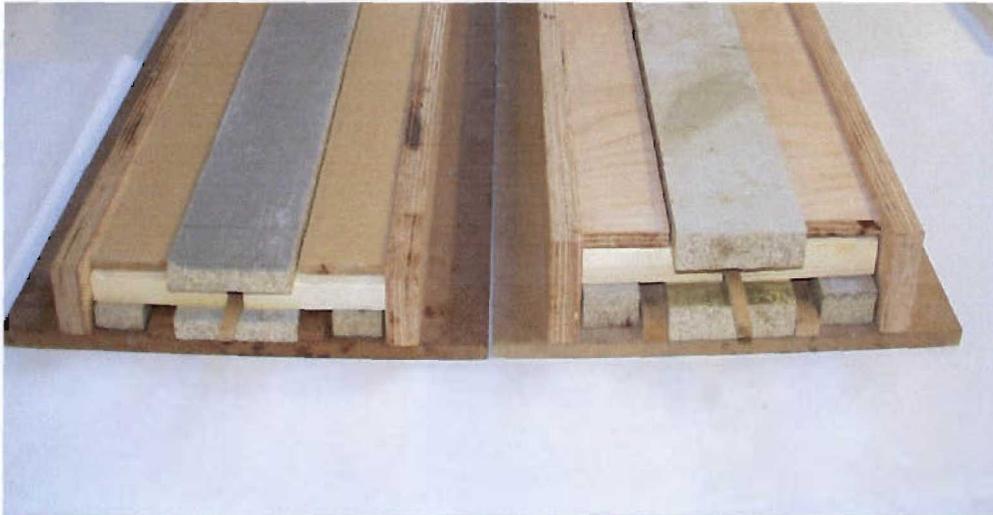


Abb. 1: Verleimungsvorrichtungen mit eingelegten Teilen für die Herstellung von Klebverbindungen zwischen Fichtenholz sowie dünnen (links) und dicken (rechts) Platten

Je Variante wurden zwei Klebverbindungen in einem Preßzyklus hergestellt, die anschließend in 40-50 Zugscherproben aufgetrennt wurden (Abb. 2).

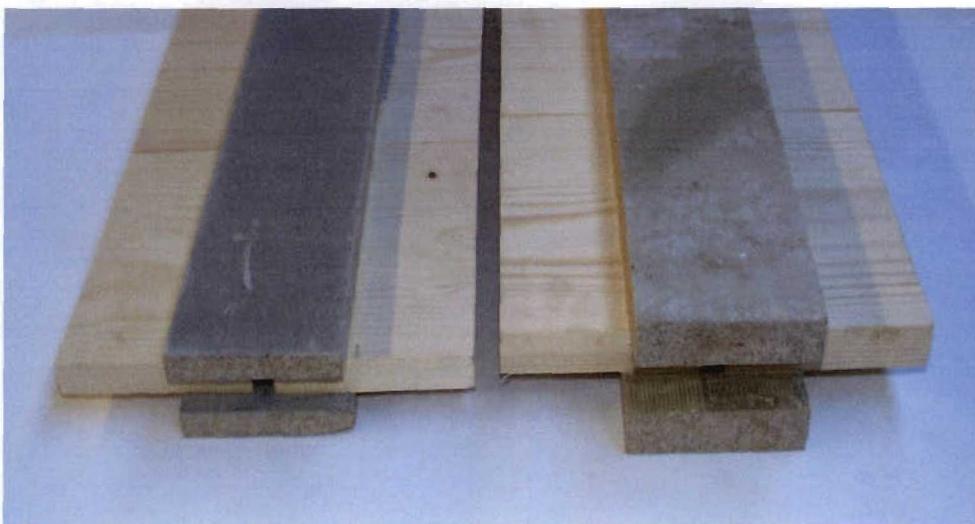


Abb. 2: Klebverbindungen von dünnen (links) und dicken (rechts) Platten mit Fichtenholz für die Herstellung von Zugscherproben

Als Presse kam ein Preßrahmen mit manuell steuerbaren Preßdrücken zum Einsatz, so daß ein Preßdruck von $0,35 \text{ N/mm}^2$ eingestellt und gehalten werden konnte (Abb. 3).



Abb. 3: Preßrahmen mit manueller Steuerung des Preßdruckes und eingelegten Verleimungsvorrichtungen

Derartige Preßdrücke sind in der Fertighauserstellung üblich (Auskunft der Fa. Lux-Haus) und für konventionelle Laborpressen aber zu niedrig, um genau eingestellt werden zu können. Für die vorliegenden Untersuchungen mußten neue hydraulische Zylinder eingebaut werden, um die lichte Höhe des Preßbereiches zu vergrößern. Der Auftrag der Leime/Kleber erfolgte bei Raumtemperatur mittels Zahnpachtel (ca. 2 mm Steghöhe). Die Auftragsmengen betragen ca. 180 g/m^2 für K1 und K4, ca. 190 g/m^2 für K2, ca. 700 g/m^2 für K3 und ca. 170 g/m^2 für K5. Bei der Verarbeitung des Epoxidharzes (K3) erfolgte der Auftrag in ca. doppelter Schichtdicke bei einem Preßdruck von $0,2 \text{ N/mm}^2$, um die drucklose Verklebung von 25 mm dicken zementgebundenen Spanplatten mit einem Flächengewicht von ca. 40 kg/m^2 zu simulieren.

b.) Behandlung und Prüfung der Zugscherproben wie nachfolgend beschrieben:

Lagerungsfolge	Behandlung
A1	7 Tage Normalklima (20/65)
A4	7 Tage Normalklima (20/65) 6 Stunden untergetaucht in kochendem Wasser 2 Stunden untergetaucht in Wasser bei 20°C Prüfkörper geprüft im nassen Zustand
A5	7 Tage Normalklima (20/65) 6 Stunden untergetaucht in kochendem Wasser 2 Stunden untergetaucht in Wasser bei 20°C 7 Tage Trocknung im Normalklima (20/65)

c.) Bestimmung der Verleimungsqualität durch mechanische Prüfung

Die Prüfung der Proben auf Zugscherfestigkeit erfolgte an einer Universalprüfmaschine (Abb. 4)

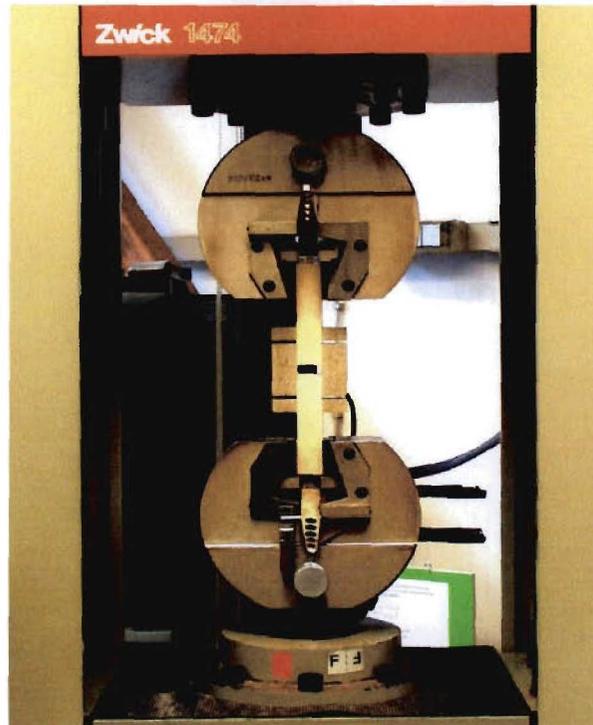


Abb. 4: Universalprüfmaschine mit eingespanntem Zugscherprüfkörper

d.) Makroskopische Untersuchungen an den Bruchflächen und Beurteilung der Bruchbilder

Im Anschluß an die Prüfung der jeweiligen Proben erfolgte die Beurteilung der Bruchbilder, die im Prüfprotokoll in Zahlenform registriert wurden. Im Endergebnis wurden die Bruchbilder als Plattenbruch (Materialriß) bzw. als Bruch im Bereich der Klebfuge (Leimriß) klassifiziert und dargestellt.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Materialfeuchten und pH-Werte der Platten

Folgende Feuchten und pH-Werte wurden ermittelt:

Material	Feuchte (%)	pH-Wert
Zementspanplatte (Platte B1)	11,1	12,1
Zementspanplatte (Platte B2)	9,7	12,1
Zementspanplatte (Platte C)	10,4	12,2
Gipsspanplatte (Platte D)	17,1 (0,9 bei 40°C)	6,4
Zementfaserplatte (Platte E)	5,1	10,9
Fichtenholz	11,2	5,7

2.2.2 Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen den Plattentypen B1 bzw. B2 und Fichtenholz

Die 25 mm dicken Zementspanplatten B1 und B2 wurden auf Wunsch des Herstellers ausschließlich im ungeschliffenen Zustand geprüft. Daher konnte bezüglich der Plattenbehandlung lediglich der Einfluß der Plattengrundierung auf die Festigkeit der Klebverbindung untersucht werden. Die ermittelten Klebfestigkeiten (Tabelle 2, Anlage 1) zeigen, daß zwischen den unbehandelten und grundierten Platten keine Unterschiede vorliegen, so daß bei diesen Plattentypen auf eine Grundierung verzichtet werden kann.

Die Zugscherfestigkeiten der Klebverbindungen nach Lagerungsfolge "A1" sind höher als die Zug- bzw. Abscherfestigkeiten der Platten in Plattenebene, d.h. es kam mit wenigen Ausnahmen stets zu Plattenbrüchen nach Beanspruchung der Proben, obwohl im Rahmen von Vorversuchen die Prüfkörperabmessungen optimiert wurden. Die ermittelten Zugscherfestigkeiten liegen um den Faktor 7,9 bis 9,8 über der nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene von 0,2 N/mm² für Plattentyp B1. Die Festigkeiten der hier geprüften Platten liegen möglicherweise über den Festigkeiten der Platten, die anlässlich der Zulassungsprüfung ermittelt wurden. Für Plattentyp B2 liegt der Faktor bei ca. 7 bei einer zulässigen Spannung von 0,3 N/mm². Die Lagerungsfolge "A4" führte sowohl zur Schwächung der Klebverbindung als auch der Plattenfestigkeiten, da auch hier fast ausschließlich Plattenbrüche zu verzeichnen waren, wobei die Faktoren auf 4 bis 6,5 bzw. 3,9 bis 4,3 sinken. Nach Lagerungsfolge "A5" wurden die Ausgangsfestigkeiten annähernd wieder erreicht, so daß die Faktoren nunmehr zwischen 6,4 und 9 bzw. 5,4 bis 6 liegen.

Aufgrund höherer Festigkeiten des Plattentyps B2 im Vergleich zum Plattentyp B1 lagen auch die Festigkeiten der Klebverbindungen B2 entsprechend höher.

Mit Ausnahme des Klebstoffes K4 (PFR) ist eine Differenzierung zwischen den eingesetzten Klebstoffen nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht möglich. Die Festigkeiten der Klebverbindungen mit K4 liegen zwar auf dem Niveau der anderen Verbindungen, jedoch traten neben Plattenbrüchen auch Brüche in der Klebfuge auf.

2.2.3 Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen dem Plattentyp C und Fichtenholz

Die 16 mm dicke zementgebundene Spanplatte wurde ungeschliffen, geschliffen und grundiert in die Untersuchungen einbezogen. Sowohl der Plattenabschliff als auch die Plattengrundierung führten zu vergleichsweise höheren Zugfestigkeiten (Tabelle 3, Anlage 2), so daß diese Maßnahmen wahlweise für diesen Plattentyp empfohlen werden. Hierdurch werden die relativ porösen Deckschichten z.T. beseitigt bzw. verfestigt.

Die Zugfestigkeiten der Klebverbindungen nach Lagerungsfolge "A1" liegen unabhängig von der Behandlungsart der Platten um den Faktor 4,7 bis 6,9 über der nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene von 0,4 N/mm². Nach Lagerungsfolge "A4" sinkt der Faktor auf 2,3 bis 4, um nach Lagerungsfolge "A5" wieder auf 3,9 bis 5,2 zu steigen.

Mit dem Klebstoff K4 (PFR) kam es bei den ungeschliffenen sowie grundierten Platten zu Fehlverleimungen, so daß hier keine Festigkeitswerte aufgeführt wurden. Lediglich mit geschliffenen Platten wurden zufriedenstellende Festigkeiten erreicht, wobei nach Lagerungsfolge "A1" 10%

der Brüche in der Klebfuge auftraten. Nach Lagerungsfolge "A4" und "A5" waren 100% bzw. 90% der Brüche im Fugenbereich zu verzeichnen.

Klebstoff K3 (EP) führte zu beachtlichen Zugscherfestigkeiten, wobei die Brüche nach den drei Lagerungsfolgen zu 10% bis 100% in der Klebfuge lagen, also recht häufig auftraten.

Klebstoff K5 (PVAc) führte nach Lagerungsfolge "A4" zu den niedrigsten Festigkeiten. Die Dauerhaftigkeit der Klebverbindung ist daher in Frage zu stellen. Die Festigkeiten nach den Lagerungsfolgen "A1" und "A5" sind hingegen sehr hoch. Variante 12 (geschliffene und grundierte Platte) führte nur nach Lagerungsfolge "A1" zu höheren Festigkeiten als Variante 11 (ausschließlich grundierte Platte).

Die Klebstoffe K1 (PU) und K2 (PU) unterscheiden sich hinsichtlich der erzielten Festigkeiten insofern, daß die Rangfolge je nach Behandlungsart der Platte alterniert, wobei beim Einsatz des Klebstoffes K1 vergleichsweise mehr Brüche in der Klebfuge auftraten.

Auch beim Plattentyp C ist mit Ausnahme des Klebstofftyps K4 (PFR) eine Differenzierung zwischen den eingesetzten Klebstoffen nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht möglich.

2.2.4 Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen dem Plattentyp D und Fichtenholz

Die Gipsspanplatte D (12 mm) wurde auf Wunsch des Herstellers ausschließlich im geschliffenen Zustand geprüft. Aus Tabelle 4 (Anlage 3) ist ersichtlich, daß die Grundierung der Platte bei allen Klebstoffen zu höheren Festigkeiten führt und daher bei diesem Plattentyp unerlässlich ist.

Bei den geschliffenen und grundierten Platten ist eine Differenzierung zwischen den eingesetzten Klebstoffen nicht möglich, weil die Festigkeiten auf annähernd gleichem Niveau liegen und kaum Brüche in der Klebfuge auftraten. Die Zugfestigkeiten der grundierten Platten nach Lagerungsfolge "A1" liegen um den Faktor 5,3 bis 7,7 über der nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene von 0,2 N/mm². Der Faktor sinkt lagerungsbedingt auf ca. 0,6 bis 3 nach Lagerungsfolge "A4" und steigt nach Lagerungsfolge "A5" auf ca. 2,1 bis 5,5.

Von den untersuchten Plattentypen weist Platte D die niedrigsten Festigkeiten auf. Aufgrund der nach Lagerungsfolge "A4" erreichten Festigkeiten, sollte diese Platte ausschließlich im Innenbereich zum Einsatz kommen.

2.2.5 Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen dem Plattentyp E und Fichtenholz

Auf Wunsch des Herstellers kam die calciumsilikatgebundene Faserplatte E (10mm) ausschließlich im ungeschliffenen Zustand zum Einsatz. Wie aus Tabelle 5 (Anlage 4) ersichtlich, führt die Plattengrundierung nicht zu besseren Klebverbindungen, so daß im vorliegenden Fall auf eine Grundierung verzichtet werden kann.

Von den untersuchten Plattentypen weisen die Klebverbindungen mit den Platten E die höchsten Zugfestigkeiten auf. Sie liegen nach Lagerungsfolge "A1" um den Faktor 7 bis 8,3 über



der nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene von $0,4 \text{ N/mm}^2$. Der Faktor sinkt auf 4,9 bis 5,8 nach Lagerungsfolge "A4" und steigt anschließend nach Lagerungsfolge "A5" auf 6,4 bis 8,0.

Die niedrigsten Festigkeiten und meisten Klebfugenbrüche traten bei der Verbindung mit Klebstoff K4 (PFR) auf. Die Klebstoffe K1 (PU), K2 (PU) und K3 (EP) können als gleichwertig eingestuft werden, wobei beim Klebstoff K2 die wenigsten Klebfugenbrüche auftraten.

2.2.6 Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen den Plattentypen C

Die 16 mm dicken Zementspanplatten kamen ausschließlich ungeschliffen zum Einsatz. Ein Teil der Platten wurde grundiert. Von den untersuchten Varianten (Tabelle 6, Anlage 5) erzielten nach den drei Lagerungsfolgen die Varianten 1 (Primer P1/ Klebstoff K1) und 3 (kein Primer/ Klebstoff K1) sowie die Varianten 4 (Primer P2/Klebstoff K2) und 5 (kein Primer/Klebstoff K2) die besten Ergebnisse, da hier kaum Leimfugenbrüche zu verzeichnen waren. Die erzielten Zugfestigkeiten nach Lagerungsfolge "A1" liegen um den Faktor 4,1 bis 4,8 über der nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene von $0,4 \text{ N/mm}^2$. Die hier geprüften Platten haben möglicherweise niedrigere Festigkeiten als die Platten zum Zeitpunkt der Zulassungsprüfung. Nach Lagerungsfolge "A4" sinkt der Faktor auf 2,3 bis 2,9 und steigt nach Lagerungsfolge "A5" auf 2,7 bis 3,7.

3. Bestimmung der Dauerhaftigkeit der Verklebung bei Feuchte- und Temperaturänderung (2. Teil)

3.1 Arbeitsablauf und Versuchsdurchführung

Aufgrund der aus Teil 1 des Vorhabens resultierten Ergebnisse wurden für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit der Verklebung bei Feuchte- und Temperaturänderung (Schwindung) zwischen anorganisch gebundenen Platten und Fichtenholz die in Tabelle 7 aufgeführten Varianten ausgewählt.

Tabelle 7: Versuchsplan zur Herstellung von Proben für die Bestimmung des Einflusses von Schwindung auf die Scherfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Platten und Fichtenholz

Variante	Plattentyp	Abschliff	Primer	Klebstoff	Zeichenerklärung
1	Plattentyp D	+	+	K2	B1 - Zementspanplatte (25 mm)
2		+	+	K5	
2		+	+	K1	
4		+	+	K4	
5	Plattentyp E	-	-	K2	C - Zementspanplatte (16 mm)
6		-	-	K1	
7		-	-	K3	
8		-	-	K4	
9	Plattentyp C	-	+	K2	D - Gipsspanplatte (12 mm)
10		-	+	K1	
11		-	+	K3	
12		-	+	K4	
13	Plattentyp B1	-	-	K2	E - Zementfaserplatte (10 mm)
14		-	-	K1	
15		-	-	K3	
16		-	-	K4	

Primer: Kleiberit K555.0

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, daß 4 Plattentypen und 5 Klebstoffe zum Einsatz gekommen sind. Insgesamt wurden 16 Varianten von Klebverbindungen hergestellt und geprüft.

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte in Anlehnung an DIN EN 302-4 wie folgt:

- Mittelhölzer (Abb. 5) aus geradfaserigem, astfreien Fichtenholz mit Jahrringen, die mit einem Winkel von 30° bis 60° zur Oberfläche verlaufen, wurden im Klima 20°C/75% rel. Luftfeuchte über 3 Wochen gelagert und unmittelbar vor Verklebung mit den Laschen aus anorganisch gebundenen Platten endbearbeitet (Länge: 400 mm; Breite: 140 mm; Dicke: 40 mm).
- Die Laschen, zugeschnitten auf das Format 200 mm x 140 mm, wurden gleichfalls im Klima 20°C/75% rel. Luftfeuchte über 3 Wochen gelagert.

- Vor Lagerung der Mittelhölzer und der Laschen im Klima 20°C/75% rel. Luftfeuchte ist eine mehrwöchige Lagerung im Normalklima 20/65 vorausgegangen.
- Zur Herstellung der Klebverbindungen wurden 3 Vorrichtungen gebaut (Abb. 5), damit die zu verklebenden Teile während der Verpressung fixiert bleiben. Jeweils 3 Vorrichtungen wurden in einen Preßrahmen (Abb. 6) eingelegt, so daß 9 Klebverbindungen in einem Arbeitsgang hergestellt werden konnten. Mit den Aluminium-Distanz-Rahmen auf jeder Seite des Mittelholzes wurde stets eine definierte Klebstofffläche (100 mm x 100 mm) und Klebfugendicke (0,5 mm) gewährleistet. Der Gesamtdruck betrug 69,3 kN (7,7 kN/Klebverbindung).

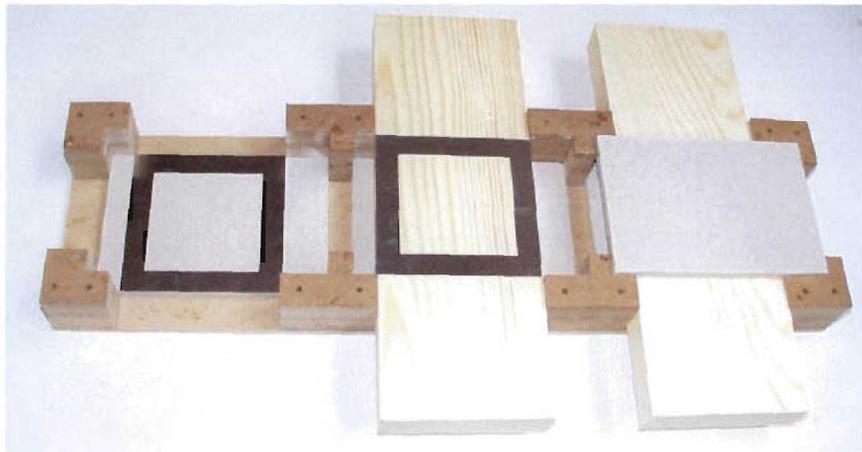


Abb. 5: Vorrichtung zur Herstellung von Klebverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Platten und Fichtenholz (Links: Lasche mit aufgelegtem Aluminium-Rahmen; Mitte: Mittelholz mit aufgelegtem Aluminium-Rahmem; Rechts: Klebverbindung)

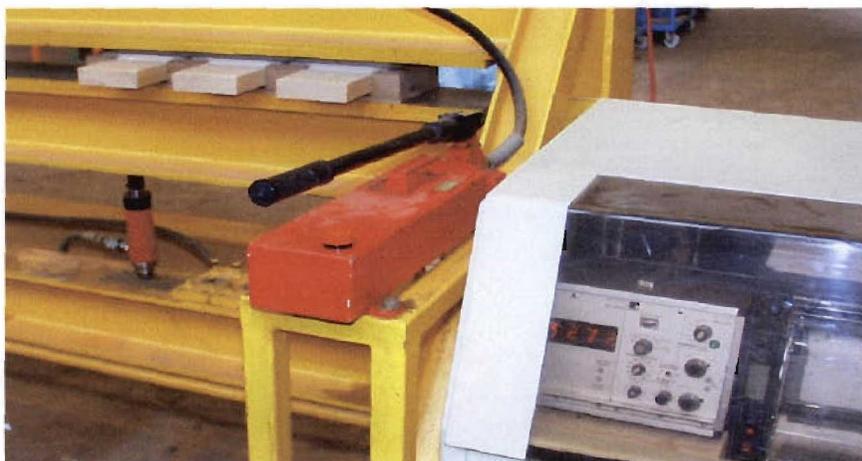


Abb. 6: Preßrahmen mit manueller Drucksteuerung sowie Kontroll- und Aufzeichnungseinheit.

- Nach einer Preß- und Aushärtezeit von 24 Stunden erfolgte die Trocknung der Teile im Klima 40°C/30% rel. Luftfeuchte über 3 Wochen. Hierbei kam es zu ersten Klebfugenbrüchen, so daß einige der verklebten Teile auseinanderfielen.

- Nach der Trocknung der verklebten Teile wurden auf die Mittelhölzer jeweils 4 Hilfhölzer (200 mm lang und 30 mm dick) geklebt und verschraubt, unter Freilassung einer Fuge, um eine freie Bewegung bei der Druckbelastung zu gewährleisten. Anschließend wurden die Oberkanten der Laschen und die Unterkanten der Hilfhölzer parallel besäumt, so daß eine senkrechte Kraftbelastung der Prüfkörper über eine Druckverteilerplatte gegeben war.

Vor Prüfung der Scherfestigkeiten wurden die Klebverbindungen in Gruppen aufgeteilt und folgenden klimatischen Beanspruchungen unterzogen:

Gruppe 1 (jeweils die 1. Proben aus den 3 Vorrichtung; Proben 1, 4 und 7):

- Lagerung im Normalklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte über 3 Wochen

Gruppe 2 (jeweils die 2. Proben aus den 3 Vorrichtung; Proben 2, 5 und 8):

- Lagerung im Normalklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte über 1 Woche
- Lagerung im Wechselklima über 5 Zyklen á 14 Tage (7d 20/30 + 7d 20/85)
- Lagerung im Normalklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte über 1 Woche

Gruppe 3 (jeweils die 3. Proben aus den 3 Vorrichtung; Proben 3, 6 und 9):

- Lagerung im Normalklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte über 1 Woche
- Lagerung im Wechselklima über 5 Zyklen á 14 Tage (7d 20/65 + 7d -10/85)
- Lagerung im Normalklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte über 1 Woche

An den eingesetzten Materialien wurden die Feuchten nach der Darmmethode bei 103°C (Gipsspanplatten auch bei 40°C) in folgenden Klimata ermittelt:

- Klima 20°C/65% rel. Luftfeuchte
- Klima 20°C/75% rel. Luftfeuchte
- Klima 40°C/30% rel. Luftfeuchte

Die Ermittlung der Dauerhaftigkeit der Verklebung erfolgte durch Prüfung der Proben auf Scherfestigkeit in einer Universalprüfmaschine (Abb. 7)

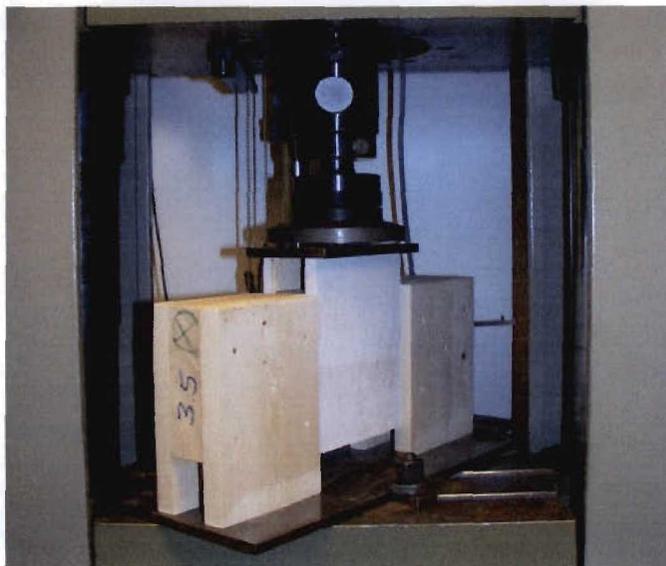


Abb. 7: Universalprüfmaschine mit eingelegetem Scherfestigkeitsprüfkörper

Im Anschluß an die Prüfung der jeweiligen Proben erfolgte die Beurteilung der Bruchbilder, die im Prüfprotokoll registriert (PA = Plattenausriß; PR = Plattenbruch durch Stauchung; LF = Leimfugenbruch und HA = Holz ausriß) sowie in Bildform dokumentiert wurden.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Materialfeuchten

Folgende Materialfeuchten wurden ermittelt:

Material	Feuchte		
	u (%) in 20/75	u (%) in 40/30	u (%) in 20/65
Fichtenholz 40 mm	16,1	6,5	12,0
Gipsspanplatte 12 mm (Typ D)	20,2 (1,6*)	18,6 (0,7*)	20,0 (1,3*)
Zementfaserplatte 10 mm (Typ E)	7,1	2,5	5,3
Zementspanplatte 16 mm (Typ C)	11,7	6,5	9,1
Zementspanplatte 25 mm (Typ B1)	12,5	10,2	11,6

* Feuchte bei 40° C bestimmt

Aus der Aufstellung der Ergebnisse wird ersichtlich, daß die erforderlichen Mittelholzfeuchten (nach DIN EN 302-4) von 16 - 18% bzw. von 8% nach 3wöchiger Lagerung im Klima 20°C/75% rel. Luftfeuchte bzw. 40°C/30% rel. Luftfeuchte mit 16,1% bzw. 6,5% erreicht wurden.

3.2.2 Scherfestigkeiten der Klebverbindungen "Plattentyp D/Fichtenholz"

Die gipsgebundene Spanplatte (12 mm) wurde geschliffen und grundiert in die Untersuchungen einbezogen. Die Ergebnisse der Scherfestigkeitsprüfungen sind in Tabelle 8 (Anlage 6) aufgeführt. Die Klebstoffe K1 (PU), K2 (PU) und K5 (PVAc) führen zu annähernd gleichen Festigkeiten, die zwischen 1,71 und 2,33 N/mm² liegen. Bei diesen Klebstoffen kam es ausschließlich zu Plattenausrisen sowie zu Plattenbrüchen durch Stauchung. Die Schwachstelle der Klebverbindung ist demnach die Platte. Klebstoff K4 (PRF) hat hingegen versagt. Hier wurden Festigkeiten von lediglich 0 - 0,80 N/mm² erreicht, wobei neben Plattenausrisen vorwiegend Leimfugenbrüche zu verzeichnen waren.

Die Wechselklimabeanspruchungen der Klebverbindungen haben nicht zur Verschlechterung der Scherfestigkeiten geführt. Die Bruchbilder aller Proben sind in Abbildungsfolge 8 -11 dokumentiert (Anlagen 7-10).

3.2.3 Scherfestigkeiten der Klebverbindungen "Plattentyp E/Fichtenholz"

Die kalziumsilikatgebundene Zementfaserplatte (10 mm) kam ungeschliffen und nicht grundiert zum Einsatz. Die Scherfestigkeiten der mit den Klebstoffen K1 (PU) und K2 (PU) hergestellten Klebverbindungen liegen auf annähernd gleichem Niveau zwischen 2,13 und 2,63 N/mm² (Tabelle 9, Anlage 11). Hierbei waren neben Plattenausrisen kombiniert mit Leimfugenrissen sowie Plattenausrisen verbunden mit Holz ausrisen vorwiegend Plattenausrisse zu verzeichnen.

Niedriger lagen die Festigkeiten der mit Klebstoff K3 (EP) hergestellten Verbindungen mit Werten zwischen 0,95 und 2,36 N/mm², wobei die Ursache hierfür in der Plattenfestigkeit lag, da vorwiegend Plattenausrisse zu verzeichnen waren. Auch hier versagte Klebstoff K4 (PRF), da Scherfestigkeiten von lediglich 0 - 1,46 N/mm² ermittelt wurden.

Ein Einfluß der Klimabeanspruchung auf die Dauerfestigkeit der Klebverbindungen konnte auch hier nicht festgestellt werden. Die Dokumentation der Bruchbilder ist aus Abbildungsfolge 12 - 15 (Anlagen 12-15) ersichtlich.

3.2.4 Scherfestigkeiten der Klebverbindungen "Plattentyp C/Fichtenholz"

Die 16 mm dicke zementgebundene Spanplatte wurde ungeschliffen und grundiert verarbeitet. Die Klebverbindung mit Klebstoff K4 (PFR) ging bereits während der Trocknung im Klima 40°C/30% rel. Luftfeuchte zu Bruch (Tabelle 10; Anlage 16). Die Klebfugenfestigkeiten waren niedriger als die durch das Holz und die Platte eingeleiteten Schwindspannungen. Die Proben konnten daher nicht mehr geprüft werden. Einige der Bruchbilder sind in den nachfolgenden Bildfolgen 16 -17 und 18 -19 dargestellt.

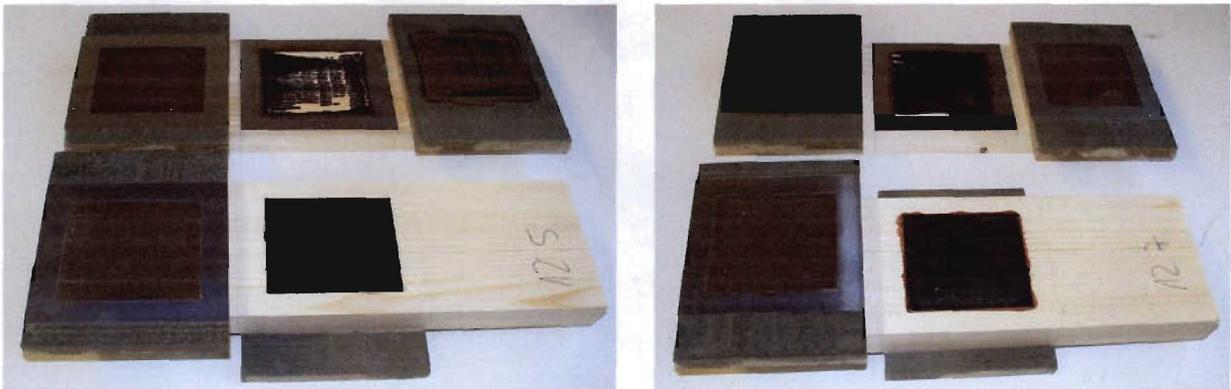


Abb. 16 -17: Bruchbilder von Klebverbindungen mit Klebstoff K4

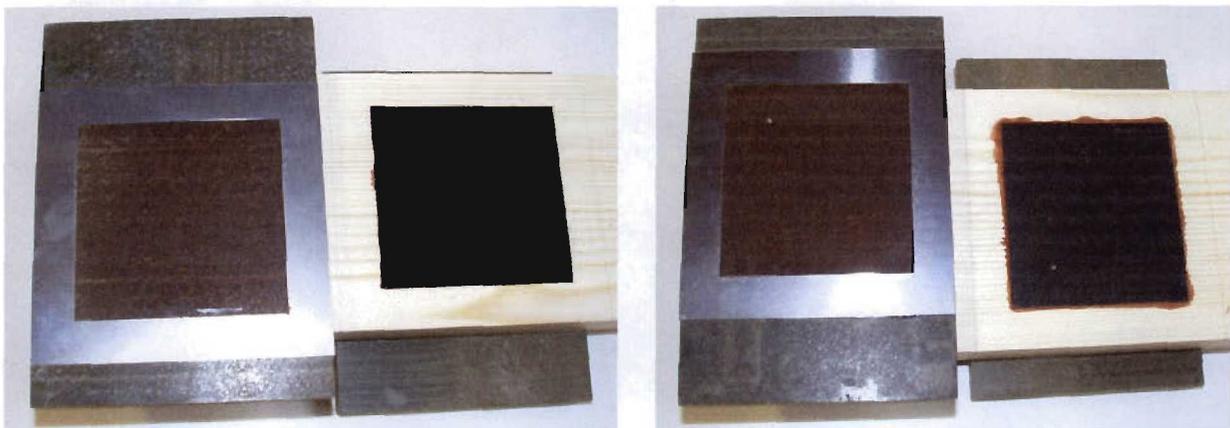


Abb. 18 -19: Detailaufnahmen der Bruchbilder von Klebverbindungen mit Klebstoff K4

Eine Differenzierung zwischen den Scherfestigkeiten der Klebverbindungen mit den Klebstoffen K1 (PU), K2 (PU) und K3 (EP) ist kaum möglich, da die Werte (Tabelle 10; Anlage 16) beachtlich streuen ($1,72 - 3,39 \text{ N/mm}^2$) und die Brüche nicht ausschließlich in den Leimfugen stattfanden. Es lagen folgende Bruchbilder vor (Bildfolge 20-22; Anlage 17-19): Leimfugenbrüche mit Holz- bzw. Plattenaustrissen, Plattenaustrisse sowie Holzaustrisse und Leimfugenbrüche.

Eine Beanspruchung und damit eine Beeinträchtigung der Klebfugenfestigkeiten durch die unterschiedlichen Klimalagerungsfolgen wurde nicht festgestellt.

3.2.5 Scherfestigkeiten der Klebverbindungen "Plattentyp B1/Fichtenholz"

Die 25mm dicke zementgebundene Spanplatte wurde ungeschliffen und ohne Grundierung in die Untersuchungen einbezogen. Von den insgesamt 9 mit Klebstoff D (PFR) hergestellten Klebverbindungen konnten lediglich an 5 Proben die Scherfestigkeiten ermittelt werden, da 4 Proben während der Trocknung im Klima $40^\circ\text{C}/30\%\text{rel. Luftfeuchte}$ zerfallen sind. Die Scherfestigkeiten der geprüften Proben lagen zwischen $1,17$ und $1,80 \text{ N/mm}^2$ (Tabelle 11; Anlage 20), wobei ausschließlich Plattenaustrisse zu verzeichnen waren (Bild 26; Anlage 24).

Die Festigkeiten, der mit den Klebstoffen K (PU), K2 (PU) und K3 (EP) hergestellten Verbindungen streuen auch hier beachtlich zwischen $0,97 - 2,79 \text{ N/mm}^2$. Es traten neben Leimfugenrissen mit Holz- bzw. Plattenaustrissen vorwiegend Plattenaustrisse auf (Bildfolge 23, 24 und 25; Anlage 21, 22 und 23).

Daß einige der Scherfestigkeiten nach Wechselklimalagerung höher lagen als vorher ist auf die schwankenden Plattenfestigkeiten zurückzuführen. Diese Feststellung gilt auch für viele Klebverbindungen unter Pkt. 3.2.2 - 3.2.4.

Wegen der beachtlichen Streuung der Werte kann man auch hier nicht auf einen festigkeitsmindernden Einfluß der Wechselklimalagerungen auf die Klebverbindungen schließen.

4. Ergänzende Untersuchungen am Plattenmaterial, an Wandelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung für besonders geeignete Systeme sowie an Wandelementproben (3. Teil)

4.1 Arbeitsablauf und Versuchsdurchführung

a.) Ergänzende Untersuchungen am Plattenmaterial

An Rückstellmustern der eingesetzten anorganisch gebundenen Holzwerkstoffe wurden die Zugfestigkeiten \parallel und \perp zur Herstellrichtung sowie der Scherfestigkeiten entsprechend nachfolgender Bildern geprüft (Abb. 27 und 28). Dies war erforderlich, um festzustellen, inwieweit die Platten den nach Zulassungsbescheid erforderlichen Anforderungen genügen, da die unter Teil 1 und 2 ermittelten Festigkeiten relativ niedrige Werte aufwiesen.

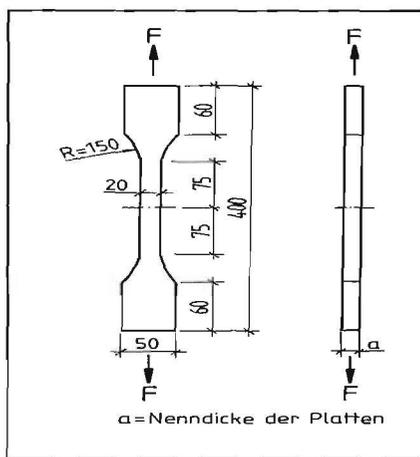


Abb. 27: Zugfestigkeitsprüfkörper

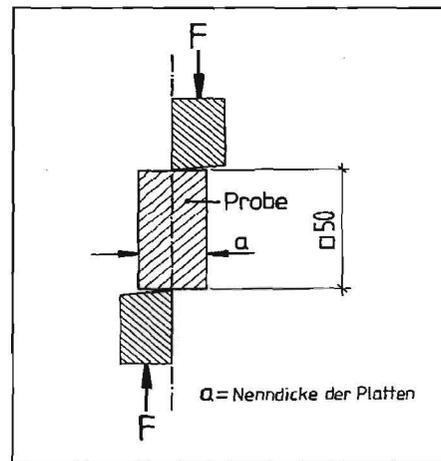


Abb. 28: Scherfestigkeitsprüfkörper

b.) Ergänzende Untersuchungen an Wandelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung für besonders geeignete Systeme

Aufgrund der aus Teil 2 der Untersuchung resultierten Ergebnisse wurden für die ergänzenden Untersuchungen an Wandelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung folgende Systeme ausgesucht:

System	Plattentyp	Abschliff	Grundierung	Klebstoff
Wandtafel 1	Typ D	+	+	K5 - Jowacoll 10270 (PVAc)
Wandtafel 2	Typ D	+	+	K2 - Jowaton 48532 (PU)
Wandtafel 3	Typ E	-	-	K2 - Jowaton 48532 (PU)
Wandtafel 4	Typ E	-	-	K1 - Kleberit 501 (PU)
Wandtafel 5	Typ C	-	+	K2 - Jowaton 48532 (PU)
Wandtafel 6	Typ C	-	+	K1 - Kleberit 501 (PU)
Wandtafel 7	Typ B1	-	-	K1 - Kleberit 501 (PU)
Wandtafel 8	Typ B1	-	-	K3 - Kleberit 528 (EP)

Um die Dauerhaftigkeit der Verklebung unter Nutzungsbedingungen zu prüfen, wurden 50 cm x 50 cm große Wandelemente hergestellt (Abb. 29).

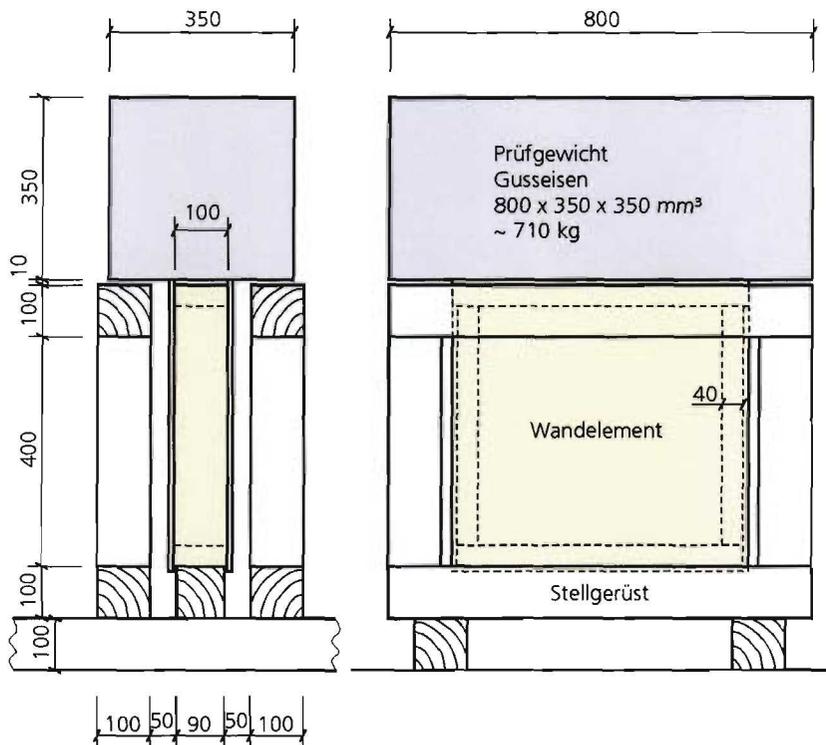


Abb. 29: Wandelement mit Stellgerüst und Prüfgewicht

Hierfür wurden astfreie Hölzer (Querschnitt: 100 mm x 40 mm) ausgesucht und zu Ständerwerken verarbeitet. Die Verpressung der Platten mit dem Ständerwerk erfolgte in einer Furnierpresse bei einem spezifische Preßdruck von $0,35 \text{ N/mm}^2$ über einen Zeitraum von 6 Stunden. In der Presse wurde jeweils nur ein Wandelement verpresst, um einheitliche Pressbedingungen zu gewährleisten.

Die Prüfung der Wandelemente unter Dauerlast erfolgte in einem Stellgerüst (Abb. 30-31). Dieses wurde als Auffangvorrichtung für die Prüfgewichte im Fall der Ablösung von Platten vom Ständerwerk gebaut. Die Prüfgewichte wären in solchen Fällen von einer Höhe von 1 cm auf das auf das Stellgerüst gefallen (Abb. 31), ohne dass weitere Wandelemente beschädigt worden wären.

Die Dauerlast lag bei 25 % der zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene der anorganisch gebundenen Holzwerkstoffe (nach Zulassungsbescheid meist $\tau_{ZK} = 0,2 \text{ MN/m}^2 = 0,2 \text{ N/mm}^2$). Bei einer verleimten Fläche von ca. 147.000 mm^2 für ein beidseitig beplanktes Wandelement der Größe 50 cm x 50 cm (Ständerwerksquerschnitt: 100 mm x 40 mm) war demnach eine Dauerlast von 7.360 N (722 kg) erforderlich. Die aus Gußeisen hergestellten Gewichte haben bei einer Abmessung von 800 mm x 350 mm x 350 mm ein Gewicht von ca. 710 kg. Um den Druck beim Auflegen der Gewichte auf die Wandelemente gleichmäßig zu verteilen, wur-

den 18 kg schwere Druckverteilerplatten (Abb. 32) auf die Wandelemente aufgelegt, so dass das Gesamtgewicht eines Prüfgewichtes bei 728 kg lag. Die Prüfung der Wandelemente unter Dauerlast erfolgte in Südwest Exposition über einen Zeitraum von 2 Jahren vom 12.09.1999 bis zum 15.09. 2001. Die Abbildungen 28-31 zeigen Wandelemente im Stellgerüst mit Prüfgewichten nach Untersuchungsabschluß.



Abb. 30-31: Wandelemente im Stellgerüst unter Dauerlast

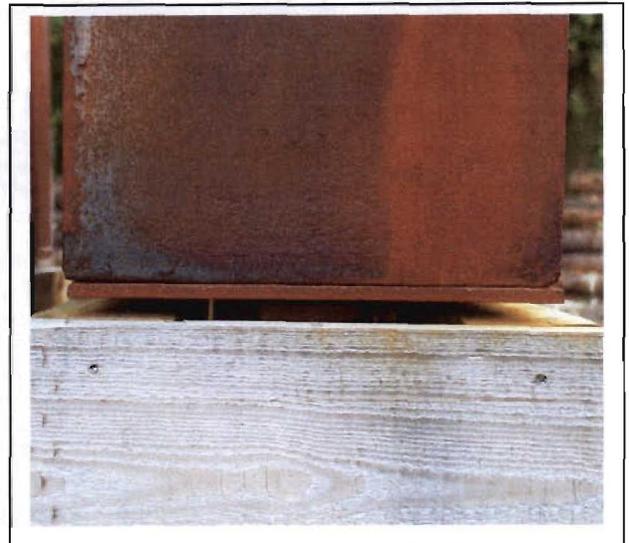


Abb. 32-33: Positionierung des Wandelementes im Stellgerüst sowie des Prüfgewichtes auf dem Wandelement zum Stellgerüst

c.) Ergänzende Untersuchungen an Wandelementproben

Aus den zwei Jahre unter Dauerlast freibewitterten Wandelementen wurden entsprechend nachfolgender Skizze (Abb. 34), 10 cm breite Proben für die Prüfung der Zugscherfestigkeiten sowie 50 mm x 40 mm große Proben für die Bestimmung der Scherfestigkeiten zugeschnitten und geprüft.

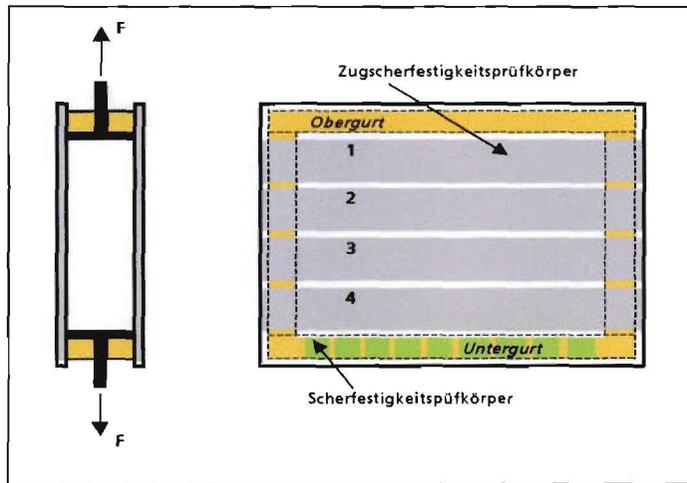


Abb. 34: Zuschnittplan für ergänzende Untersuchungen an Wandelementproben

Der Versuchsaufbau mit kardanisch gelagerten Probehaltern für die Prüfung der Zugscherfestigkeiten an den 10 cm breiten Wandelementproben ist aus Abb. 35 ersichtlich.

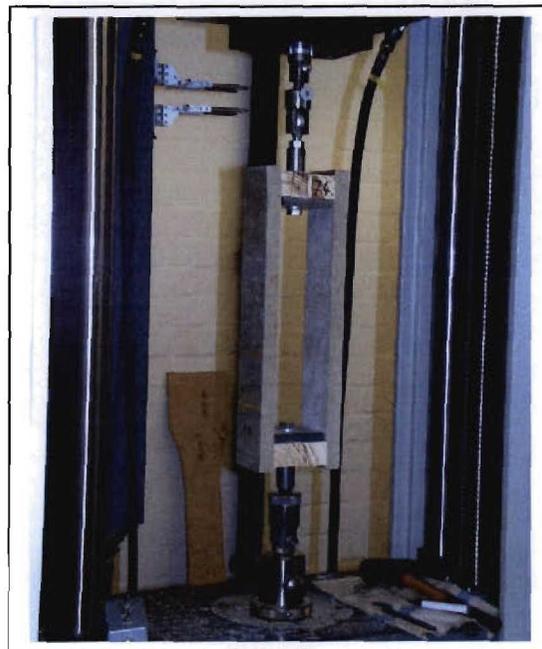


Abb. 35: Prüfmaschine mit eingelegtem Prüfkörper zur Bestimmung der Zugscherfestigkeiten von Wandelementproben

Den Zustand der Obergurte nach Zuschnitt der 10 cm breiten Wandelementproben zeigt Abb. 36 (Anlage 25).

Die Bestimmung der Scherfestigkeiten an 50 mm x 40 mm großen Wandelementproben, die aus dem Untergurt zugeschnitten wurden, erfolgte entsprechend Abb. 36

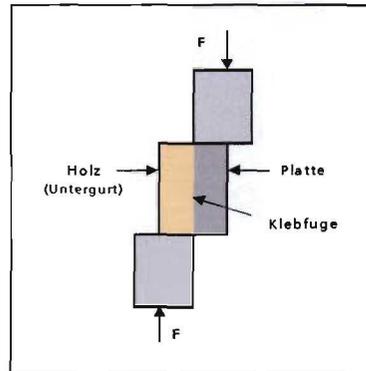


Abb. 36: Wandelement-Scherfestigkeitsprüfkörper

4.2 Ergebnisse

a.) Ergänzende Untersuchungen am Plattenmaterial

Die ermittelten Zug- und Scherfestigkeiten gibt nachfolgende Tabelle 12 wieder.

Tabelle 12: Zug- und Scherfestigkeiten der anorganisch gebundenen Platten sowie die zulässigen Zug- und Scherspannungen in Plattenebene nach Zulassungsbescheid

Eigenschaft	Symbol	Plattentyp B1 Z-9.1-328 Schwörer B1-Zement- spanplatte	Plattentyp B2 Z-9.1-340 Schwörer A2-Zement- spanplatte	Plattentyp C Z-9.1-285 Amroc B1-Zement- spanplatte	Plattentyp D Z-9.1-336 Sasmox A2-Gips- spanplatte	Plattentyp E Z-9.1-358 Fulgurit (F140) A2-Zement- faserplatte
Dicke	(mm)	25	25	16	12	10
Zugfestigkeit längs zur Herstellrichtung	x (N/mm ²)	3,65 (3,16)	4,42 (3,43)	4,51(3,43)	2,94(1,84)	13,37*(11,72)
	s (N/mm ²)	0,27	0,59	0,59	0,60	0,90
	V (%)	7,3	13,3	13,2	20,5	6,7
Zugfestigkeit quer zur Herstellrichtung	x (N/mm ²)	3,51(3,0)	4,24(3,56)	3,48(1,10)	2,57(1,87)	7,14*(6,17)
	s (N/mm ²)	0,28	0,37	1,30	0,38	0,53
	V (%)	8,1	8,7	37,3	14,7	7,4
Scherfestigkeit	x (N/mm ²)	3 (2,38)	3,61(2,38)	4,11(3,26)	1,69(1,16)	3,87(2,82)
	s (N/mm ²)	0,34	0,67	0,46	0,29	0,57
	V (%)	11,3	18,5	11,3	17,3	14,7
zul. Zugspannung in Plattenebene nach Zulassungsbescheid	(N/mm ²)	0,7	0,7	0,5	0,5	2,4/0,9
zul. Scherspannung in Plattenebene nach Zulassungsbescheid	(N/mm ²)	0,2	0,3	0,4	0,2	0,4
Plattenfeuchte	(%)	11,3	9,9	11,7	19,2 (1,3 bei 40°C)	3,6

* Die Zugfestigkeiten wurden an 2 cm breiten Streifen ermittelt, da die erforderliche Prüfkörperform aufgrund der Materialhärte nicht gefräst werden konnte. Die meisten Brüche traten erwartungsgemäß im Einspannbereich der Proben auf.
(3,16) = 5%-Quantile nicht erreicht / (2,38) = 5%-Quantile erreicht
n = jeweils 10 Proben

Bezüglich der Scherfestigkeiten erreichen alle eingesetzten Platten die 5%- Quantile, die erforderlich sind, um die Anforderungen der Zulassungsbescheide bei einem 5fachen der zulässigen Scherspannung zu erreichen. Hinsichtlich der Zugfestigkeiten \parallel und \perp zur Herstellrichtung in Plattenebene wird diese Anforderung nicht von allen Platten erfüllt.

b.) Ergänzende Untersuchungen an Wandelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung für besonders geeignete Systeme

Während des Untersuchungszeitraumes kam es zu keinen Ablösungen von Platten von dem Ständerwerk. Gegen Ende des zweiten Bewitterungsjahres setzte sich das Gewicht des Wandelementes Nr. 2 auf das Stellgerüst, da das Gefüge der Gipsspanplatte aufgrund von Stauchung und Feuchteeinwirkung zerstört worden war. Ein Einfluß der Plattenalkalität auf die Dauerhaftigkeit der ausgewählten Klebverbindungen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung wurde somit nicht festgestellt. Die während des 1. Untersuchungsjahres aufgezeichneten Wetterdaten auf dem Versuchsgelände des WKI sind aus Anlage 26 ersichtlich.

c.) Ergänzende Untersuchungen an Wandelementproben

Aus den Ergebnissen der Prüfung von 10 cm breiten Wandelementproben (Tabellen 13 bis 20; Anlagen 27 bis 34) ist ersichtlich, dass:

- in keinem Fall die Klebfuge versagt hat, d.h. es traten keine Brüche in der Klebstofffuge auf,
- neben Brüchen in den Plattendeckschichten und -querschnitten undefinierbare Brüche aufgetreten sind und
- während der Prüfung auftretende Biegemomente die Ergebnisse erheblich beeinflußt haben.

Die Ergebnisse dieser Prüfung werden daher nicht in die Gesamtbeurteilung einbezogen.

Die an 50 mm x 40 mm großen Verbundproben aus dem Untergurt ermittelten Scherfestigkeiten sind in nachfolgender Tabelle 21 wiedergegeben und den ermittelten Plattenscherfestigkeiten aus eigener Prüfung und zulässigen Scherspannungen in Plattenebene (nach Zulassungsbescheid) gegenübergestellt. In allen Fällen kam es ausschließlich zu Bruchstellen in der Plattendeckschicht.

Tabelle 21: Scherfestigkeiten von 50 mm x 40 mm großen Verbundproben aus dem Untergurt, Plattenscherfestigkeiten aus eigener Prüfung sowie zulässige Scherspannungen in Plattenebene (nach Zulassungsbescheid)

Probe	Aufbau	Symbol	Scherfestigkeit der Verbundproben aus dem Untergurt	Plattenscherfestig- keit aus eigener Prüfung	zul. Scherspannung nach Zulassung
Wandtafel 1	Plattentyp D (Gipsspanplatte) Klebstoff K5 (PVAc)	x (N/mm ²)	3,15	1,69	0,2
		s (N/mm ²)	0,34	0,29	
		V (%)	10,1	17,3	
Wandtafel 2	Plattentyp D (Gipsspanplatte) Klebstoff K2 (PU)	x (N/mm ²)	2,96		
		s (N/mm ²)	0,28		
		V (%)	9,6		
Wandtafel 3	Plattentyp E (Zementfaserplatte) Klebstoff K2 (PU)	x (N/mm ²)	6,00	3,87	0,4
		s (N/mm ²)	0,98	0,57	
		V (%)	16,4	14,7	
Wandtafel 4	Plattentyp E (Zementfaserplatte) Klebstoff K1 (PU)	x (N/mm ²)	5,94		
		s (N/mm ²)	1,18		
		V (%)	19,9		
Wandtafel 5	Plattentyp C (Zementspanplatte) Klebstoff K2 (PU)	x (N/mm ²)	6,83	4,11	0,4
		s (N/mm ²)	0,56	0,46	
		V (%)	8,2	11,3	
Wandtafel 6	Plattentyp C (Zementspanplatte) Klebstoff K1 (PU)	x (N/mm ²)	7,17		
		s (N/mm ²)	6,00		
		V (%)	8,3		
Wandtafel 7	Plattentyp B1 (Zementspanplatte) Klebstoff K1 (PU)	x (N/mm ²)	6,74	3,0	0,2
		s (N/mm ²)	0,59	0,34	
		V (%)	8,6	11,3	
Wandtafel 8	Plattentyp B1 (Zementspanplatte) Klebstoff K3 (EP)	x (N/mm ²)	6,56		
		s (N/mm ²)	0,90		
		V (%)	13,7		

Probenanzahl jeweils 10 Stück
Bruchstelle ausschließlich in der Plattendeckschicht

Diese Festigkeiten stellen die Deckschichtfestigkeiten der eingesetzten Platten dar, da die festgestellten Brüche ausschließlich in der Plattendeckschicht aufgetreten sind. Sie liegen in allen Fällen um den Faktor 1,6 bis 2,2 höher als die ermittelten Plattenmittelschichtschersfestigkeiten. Die hier ermittelten Festigkeiten stellen demnach die "Mindestfestigkeiten der Klebverbindungen" dar. Die nach dieser Methode ermittelten Festigkeiten erbringen die zuverlässigsten Werte, da definierte Bruchflächen vorliegen. Die ist bei den Prüfmethode nach Pkt. 2 (Prüfung in Anlehnung an DIN EN 302-1) und Pkt. 4 (Prüfung an 10 cm breiten Wandelementproben) nicht immer der Fall.

5. Zusammenfassung

Über die Dauerfestigkeit von Leimverbindungen zwischen anorganisch gebundene Holzwerkstoffen und Nadelholz gab es bislang keinerlei Erfahrungen. Fragen bezüglich des Einflusses der Pattenalkalität und -kredung sowie des Plattenabschliffes oder der -grundierung auf die Dauerhaftigkeit der Klebverbindung waren ungeklärt.

Bereits nach Abschluß des 1. Untersuchungsabschnittes "Ermittlung der grundlegenden Eignung der Verleimung" konnten die meisten der o.g. Fragen über Prüfung der Zugscherfestigkeiten von Klebverbindungen nach unterschiedlichen Lagerungsfolgen geklärt werden. Zusammenfassend wird festgestellt, daß:

- über eine Plattenbehandlung (Grundierung oder Abschiff) fallweise entschieden werden muß, d.h. daß für jeden Plattentyp stets Voruntersuchungen erforderlich sind.
- die ermittelten Zugscherfestigkeiten der Klebverbindungen erheblich über den nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannung für Abscheren in Plattenebene liegen.
- die Brüche in den Klebverbindungen vorwiegend in der Platte (hier meistens Deckschichtbrüche) und nicht in der Klebfuge auftraten, d.h. der Schwachpunkt der Klebverbindung in der Platte und nicht in der Klebstofffuge liegt.
- bei der Verarbeitung des Klebstoffes K4 (Phenol-Resorcin-Harz) mit Zementspanplatten Probleme auftreten können, die zu Fehlverleimungen führen, wobei die eindeutige Ursache hierfür nicht festgestellt werden konnte.
- eine Differenzierung zwischen den untersuchten Klebstofftypen hinsichtlich Verbindungsfestigkeiten nicht möglich ist, bezüglich der Dauerhaftigkeit hingegen Kleber K5 (modifizierter PVAc-Leim) weniger für Klebverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Platten und Fichtenholz im Außenbereich geeignet ist.
- hochfeste und dauerhafte Klebverbindungen auch zwischen Zementspanplatten untereinander realisiert werden können (Plattentyp C).

Der 2. Untersuchungsabschnitt " Bestimmung der Dauerhaftigkeit bei Feuchte- und Temperaturänderungen" erbrachte folgende Erkenntnisse, daß:

- die ermittelten Scherfestigkeiten der Klebverbindungen erheblich über den nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannungen für Abscheren in Plattenebene liegen.
- die Brüche in den Klebverbindungen vorwiegend durch Plattenaurisse gekennzeichnet waren, wobei auch im geringeren Umfang Plattenbrüche durch Stauchung (Plattentyp D), Leimfugenbrüche mit Platten- bzw. Holzausrissen sowie ausschließlich Leimfugenbrüche bzw. Holzausrisse zu verzeichnen waren, d.h. der Schwachpunkt der Klebverbindung vorwiegend in der Platte lag.
- eine Differenzierung zwischen den Klebstoffen K1 (PU), K2 (PU) und K3 (EP) hinsichtlich Scherfestigkeiten aufgrund der beachtlichen Streuung der Plattenfestigkeiten nicht möglich ist.

- Klebstoff K4 (PRF) für die Verklebung von Zementspanplatten mit Fichtenholz nicht geeignet ist, da fast alle Klebverbindungen bereits nach Trocknung der Proben im Klima 40°C/30% rel. Luftfeuchte zerbrachen und daher nicht mehr geprüft werden konnten. Die Ursache hierfür ist mit möglicherweise in der hohen Alkalität der Platten (pH-Werte von 12,1 bzw. 12,2) sehen, obwohl ein Teil der Platten (Plattentyp C) grundiert war. Die Fehlverleimungen traten bei den Zementfaserplatten (pH-Wert von 10,9) und den Gipsanplatten (pH-Wert von 6,4) nicht auf. Daher ist nicht auszuschließen, dass die hohe Alkalität der Platten in das Aushärtungsverhalten der alkalisch aushärtenden Phenol-Resorcin-Harze eingreift. Zur eindeutigen Klärung des Sachverhaltes bedarf es weitergehenden Untersuchungen.
- die ausgesuchten Wechselklimalagerungen keinen Einfluß auf die Scherfestigkeiten der Klebverbindungen haben. Die feuchte- und temperaturbedingten Dimensionsänderungen des Fichtenholzes und der Platten beeinträchtigen somit kaum die Dauerhaftigkeit der Klebverbindungen.

Abschnitt 3 "Ergänzende Untersuchungen am Plattenmaterial, an Wandelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung für besonders geeignete Systeme sowie an Wandelementproben" zeigt u.a., dass:

- die im Rahmen der Untersuchungen eingesetzten anorganisch gebundenen Holzwerkstoffe hinsichtlich Zugfestigkeiten \parallel und \perp zur Herstellrichtung in Plattenebene nicht immer die erforderlichen 5%-Quantile erreichten, die beim 5fachen der zulässigen Spannung nach Zulassungsbescheid liegen. Die Scherfestigkeiten aller Platten erfüllen hingegen diese Anforderung.
- die Alkalität der Platten keinen Einfluß auf die Dauerfestigkeit der ausgesuchten Klebverbindungen hat, wobei das Phenol-Resorcin-Harz von den Untersuchungen ausgeschlossen wurde. Nach 2jähriger Bewitterung der Wandtafeln unter Dauerlast waren keine Plattenablösungen vom Holzständerwerk zu verzeichnen.
- die an 50 mm x 40 mm großen Wandelementproben ermittelten Scherfestigkeiten stellen die "Mindestfestigkeiten der Klebverbindung" dar.

Für Klebverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen und Nadelholz sollte der vom DIBt geforderte "Nachweis der Verträglichkeit des Leimes mit dem alkalischen Plattenwerkstoff" für jeden Anwendungsfall erbracht werden, da über diesen Nachweis auch Hinweise und Empfehlungen über die erforderliche Plattenvorbehandlung ausgearbeitet werden müssen.

Der Nachweis sollte über folgende Prüfungen erbracht werden:

- Prüfung in Anlehnung an DIN EN 302-4 (Klebstoffe für tragende Holzbauteile; Prüfverfahren; Bestimmung des Einflusses von Holzschwindung auf die Scherfestigkeit) entsprechend Pkt. 3.1
- Prüfung der Klebverbindung über Scherfestigkeitsprüfungen von Verbundproben aus Holz und Plattenwerkstoff entsprechend Pkt. 4.1.c an 50 mm x 50 mm großen Proben.

Den Nachweis über die Eignung zur Herstellung von Leimverbindungen zwischen anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen und Nadelholz im Sinne der DIN 1052 haben im Rahmen vorliegender Untersuchung folgende Systeme erbracht:

Plattentyp	Plattenoberfläche	Klebstoff	Grundierung
<i>Zementspanplatte</i>			
Schwörer (B1 und A2)	ungeschliffen	Kleiberit PU 501 Jowaton PU 48532 Kleiberit Plastic -Mastic 528	Jowat 19540 Kleiberit K 555.0
Amroc	geschliffen oder grundiert	Kleiberit PU 501 Jowaton PU 48532 Kleiberit Plastic -Mastic 528 Jowacoll 10270 (im Innenbereich)	Jowat 19540 Kleiberit K 555.0
<i>Zemenfaserplatte (kalziumsiliatgebunden)</i>			
Fulgurit	ungeschliffen	Kleiberit PU 501 Jowaton PU 48532 Kleiberit Plastic -Mastic 528 BASF Kauresin 460	Jowat 19540 Kleiberit K 555.0
<i>Gipsspanplatte</i>			
Sasmox (im Innenbereich)	geschliffen und grundiert	Kleiberit PU 501 Jowaton PU 48532 Jowacoll 10270 (im Innenbereich) BASF Kauresin 460	Jowat 19540 Kleiberit K 555.0

Als ergänzende Prüfung wurde auf Wunsch der Fa. Amroc auch die Klebverbindung von Zementspanplatten untereinander in die Untersuchungen einbezogen. Den Eignungsnachweis hierfür haben die gleichen Systeme wie die Klebverbindungen zwischen Zementplatte und Fichtenholz erbracht, wobei der modifizierte PVAc-Leim nicht in die Untersuchungen einbezogen wurde.

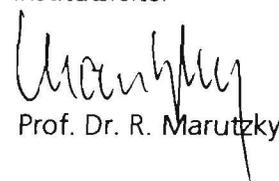
Abschließend ist festzustellen, dass o.g. Systeme in die Zulassungsbescheide der untersuchten anorganisch gebundenen Holzwerkstoffe aufgenommen werden können, ohne dass weitere Untersuchungen erforderlich wären, da sich auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen gezeigt hat, dass die Schwachstelle der Verbindung nicht der Klebstoff sondern die Platte ist. Als Bemessungswerte für die Scheibenbeanspruchung bei Klebverbindungen sollten die in den Zulassungsbescheiden der Platten aufgeführten zulässigen Spannungen aufgeführt werden.

Projektleiter



Dipl.-Ing. P. Buchholzer

Institutsleiter



Prof. Dr. R. Marutzky

6. Literaturzusammenstellung

Anonymus 1998: Welche Zukunft hat die Klebtechnik ? Adhäsion 11, S. 12-15

Fowler, D.W., DePuy, G.W. (1986): Guide for the Use of Polymers in Concrete. ACI Journal, S. 798-829

Großkurth, K.P., Konietzko, A. 1989: Polymermodifizierter zementgebundener Beton als Konstruktionswerkstoff. Bauingenieur 64, S. 173-179

Kraemer, E.F. (1985): Gipsgebundene Plattenwerkstoffe: Herstellung, Merkmale, Eigenschaften und Anwendung von Platten mit verschiedenen Armierungsmaterialien. TIZ-Fachberichte 109, S. 323-334

Kossatz, G., Lempfer, K., Sattler, H. (1983): Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe. Geschäftsbericht der FESYP, Giessen

Mayer, H., Roth, M. (1990): Silicon-Microemulsions-Konzentrate. Bautenschutz + Bausanierung 13, S. 1-4

Moslemi, A.A. 1997 (Hrsg.) : Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Tagungsbericht Nr. 5 ohne weitere Angaben

Nägele, E. (1986): Polymerdispersionen – Eigenschaften und Anwendungen im Bautenschutz. Bautenschutz- und Bausanierung 9, S. 121-129

P. Soroushian, J.-P. Won, S. Ravanbakhsh, J.-W. Hsu, K. Ostowari (1997): Enhanced Processing of Cellulose Fiber-Reinforced Cement Composites,. In Moslemi S. 3-7

Schröder, M. (1984): Instandsetzung von Sichtbeton mit Reaktionsharz und kunststoffvergüteten Zement-Mörteln. Kunststoffe im Bau 19, S. 112-115

Thole, V. (1999): Festigkeit und Hafteigenschaften von polymermodifizierten Gipsstein. ZKG International 7, S. 400-409

Wesener, J., Knöfel, D. 1989: Neue Steinersatzmassen auf Polyurethanbasis. Bautenschutz + Bausanierung 12, S. 45-52

7. Kurzfassung in deutscher Sprache

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für anorganisch gebundene Holzwerkstoffe ist die Beplankung von Wandtafeln nach DIN 1052. Die Zulassungsbescheide sehen für diese Anwendung ausschließlich die mechanische Verbindung (Nägeln, Schrauben und Klammern) der Platten mit der Holztragkonstruktion vor. Dagegen dürfen organisch gebundene Holzwerkstoffplatten mit dem Holzrahmenwerk auch verleimt werden

Es gibt Bestrebungen, Holzrahmen mit anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen mittels Klebverbindungen zu beplanken. Für diese Vorgehensweise liegen insbesondere über die Dauerhaftigkeit der Klebverbindungen zwischen den meist alkalischen Bauplatten und dem Holzrahmen keine Erfahrungen vor. Ferner fehlt es auch an festigkeitsrelevanten Grundlagen.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens konnten die Fragen bezüglich des Einflusses der Plattenalkalität und -kredung sowie der Plattenvorbehandlung auf die Dauerhaftigkeit der Klebverbindung geklärt werden.

Klebverbindungen zwischen unterschiedlich vorbehandelten und unbehandelten Zementspanplatten, Zementfaserplatten und Gipsplatten mit Polyurethan-Klebstoffen, Epoxyd-Harz, Phenol-Resorcin-Harz und modifiziertem PVAc-Leim wurden hergestellt und hinsichtlich ihrer Dauerfestigkeit überprüft.

Ermittelt wurde

- die grundlegenden Eignung der Verleimung durch Prüfungen in Anlehnung an DIN EN 302-1 (Klebstoffe für tragende Holzbauteile, Prüfverfahren, Bestimmung der Klebfestigkeit durch Längszugscherprüfung),
- die Dauerhaftigkeit der Verklebung bei Feuchte- und Temperaturänderung durch Prüfung in Anlehnung an DIN EN 302-4 (Klebstoffe für tragende Holzbauteile, Prüfverfahren, Bestimmung des Einflusses von Holzschwindung auf die Scherfestigkeit) und
- die Dauerhaftigkeit der Klebverbindung von besonders geeigneten Systemen durch ergänzende Untersuchungen an kleinen Wanelementen unter Dauerlast bei natürlicher Bewitterung über einen Zeitraum von zwei Jahren sowie an Proben, die aus den Wanelementen entnommen und anschließend geprüft wurden.

Dabei zeigte sich, dass nicht alle Systeme hierfür geeignet sind und nur ein Teil der Verbindungen den Nachweis der Verträglichkeit des Leimes mit dem alkalischen Plattenwerkstoff erbracht hat. Somit tragen vorliegende Ergebnisse dazu bei, das Risiko für Plattenhersteller und -anwender zu minimieren.

Die ermittelten Scherfestigkeiten der Klebverbindungen lagen meistens erheblich über den nach Zulassungsbescheid zulässigen Spannungen für Abscheren in Plattenebene. Die Brüche in den Klebverbindungen waren vorwiegend durch Plattenausrisse gekennzeichnet, d.h. der Schwachpunkt der Klebverbindung lag in der Platte und nicht in der Klebstoffuge

8. Kurzfassung in englischer Sprache

An important field of application for inorganically bonded wood-based materials is the planking of wall panels according to DIN 1052. The approval certificates for this application exclusively allow a mechanical fixing (nails, screws and clamps) of the boards to the wooden supporting structure. In contrast, organically bonded wood-based boards may be glued to the wooden framework.

Efforts are made to plank wooden frames with inorganically bonded wood-based materials via glued joints. Regarding this procedure there exist no experiences concerning particularly the durability of the glued joints between the mostly alkaline structural panels and the wooden frame. Moreover, there is a lack in strength-relevant fundamentals.

Within the framework of the present research project it was possible to answer questions regarding the influence of the board alkalinity and board chalking as well the board pre-treatment on the durability of the glued joint.

Glued joints between differently pre-treated and untreated cement-bonded particle boards, cement-bonded fibre boards and gypsum-bonded particle boards with polyurethane glues, epoxy resin, phenolic resin and modified PVAc glue were prepared and tested regarding their durability.

Following parameters were determined:

- the fundamental suitability of the gluing applying tests in accordance with DIN EN 302-1 (adhesives for load-bearing wooden structural elements, test methods, determination of the holding power by longitudinal tension shear test)
- the durability of the glued joints at moisture and temperature changes using tests in accordance with DIN EN 302-4 (adhesives for load-bearing wooden structural elements, test methods, determination of the influence of wood shrinkage on the shearing strength)
- the durability of the glued joints of particularly suitable systems by complementary investigations on small wall elements under continuous load at natural weathering over a period of two years.

These investigations showed that not all systems are suitable for this purpose and only a part of the joints proved the compatibility of the adhesive with the alkaline board. Thus, the present results contribute to minimising the risk for the board manufacturers and end users.

The determined shearing strength values of the glued joints mostly were considerably higher than the tension values for shearing over the board surface stipulated in the approval certificates. The cracks in the glued joints were mainly characterised by torn out boards, i.e. the weak point of the glued joint was mainly in the board.

9. Kurzfassung in französischer Sprache

Un champ d'application important pour les matériaux dérivés du bois liés chimiquement de façon inorganique est le revêtement de tableaux muraux selon DIN 1052. Les homologations pour cette application permettent exclusivement un attachement à la charpente avec des clous, des vis et des happes. Par contre, des panneaux dérivés du bois liés chimiquement des façon organique peuvent être collés au cadre en bois.

Il existe des efforts de planchéier des cadres en bois avec des matériaux dérivés du bois liés chimiquement de façon inorganique par des joints collés. Malheureusement, il n'existe pas d'expériences relatives à ce procédé, particulièrement en ce qui concerne la durabilité des joints collés entre les panneaux muraux - le plus souvent alcalins - et le cadre en bois. De plus, il manque des fondements relatifs à la résistance mécanique.

Dans le cadre du présent projet de recherche il était possible de répondre à des questions portant sur l'influence de l'alcalinité et le farinage des panneaux ainsi que sur leur traitement préparatoire à la durabilité des joints collés.

Après la préparation de panneaux en ciment et en plâtre liés chimiquement avec des colles en polyuréthane, en résine epoxy, en résine résorcine-phénolique et en PVAc modifié, leur durabilité était vérifiée.

- La qualité fondamentale des joints collés par des essais selon DIN EN 302-1 (colles pour des éléments de construction en bois porteurs, méthodes d'essai, détermination de la résistance adhésive par des essais de ou au cisaillement),
- la durabilité des joints collés soumis aux changements d'humidité et de température par des essais selon DIN EN 302-4 (colles pour des éléments de construction en bois porteurs, méthodes d'essai, détermination de l'influence du retrait du bois sur la résistance contre le cisaillement) et
- la durabilité des joints collés de systèmes particulièrement propres à cette application par des essais complémentaires sur des petits tableaux muraux sous charge continue à exposition aux intempéries naturelle pendant une période de deux ans.

étaient déterminées.

Il en ressort que pas tous les systèmes sont propres à cette application et que seulement un part des joint donnait la preuve que la colle est compatible avec le panneau alcalin. Par conséquent, les présents résultats contribuent à la minimalisation du risque pour les producteurs et les consommateurs de ces systèmes.

Les résistances contre le cisaillement des joints collés dans la plupart des cas étaient considérablement supérieures aux tensions admissibles relatives au cisaillement stipulées dans les homologations. Les ruptures dans les joints collés étaient caractérisées principalement par des déchirures dans le panneau, c'est à dire le point faible était surtout dans le panneau.



10. Anlagen

Tabelle 2: Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen den Plattentypen B1 bzw. B2 und Fichtenholz

Variante	x	s	Materialriß (%)	Leimriß (%)*	Abschliff	Primer	Kleber	Bezeichnung
A1-Prüfung								
1	1,70	0,16	100	0	-	-	J PU - 48532	SB1/U/PU1
2	1,96	0,08	100	0	-	-	K PU - 501	SB1/U/PU2
3	1,68	0,10	100	0	-	-	K E - 528	SB1/U/EP
4	1,68	0,16	100	0	-	-	B K - 440	SB1/U/PH
5	1,84	0,14	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	SB1/U/P1/PU1
6	1,84	0,12	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	SB1/U/P2/PU2
7	1,76	0,08	100	0	-	K 555.0	K E - 528	SB1/U/P2/EP
8	1,58	0,18	90	10	-	K 555.0	B K - 440	SB1/U/P2/PH
9	2,20	0,08	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	SA2/U/P1/PU1
10	2,16	0,16	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	SA2/U/P2/PU2
11	2,10	0,12	100	0	-	K 555.0	K E - 528	SA2/U/P2/EP
12	2,10	0,16	100	0	-	K 555.0	B K - 440	SA2/U/P2/PH
A4-Prüfung								
1	0,84	0,10	100	0	-	-	J PU - 48532	SB1/U/PU1
2	1,06	0,04	100	0	-	-	K PU - 501	SB1/U/PU2
3	1,08	0,06	100	0	-	-	K E - 528	SB1/U/EP
4	0,94	0,12	100	0	-	-	B K - 440	SB1/U/PH
5	1,02	0,10	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	SB1/U/P1/PU1
6	1,02	0,06	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	SB1/U/P2/PU2
7	1,10	0,12	100	0	-	K 555.0	K E - 528	SB1/U/P2/EP
8	1,04	0,06	80	20	-	K 555.0	B K - 440	SB1/U/P2/PH
9	1,24	0,06	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	SA2/U/P1/PU1
10	1,30	0,10	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	SA2/U/P2/PU2
11	1,30	0,08	100	0	-	K 555.0	K E - 528	SA2/U/P2/EP
12	1,18	0,06	90	10	-	K 555.0	B K - 440	SA2/U/P2/PH
A5-Prüfung								
1	1,40	0,16	100	0	-	-	J PU - 48532	SB1/U/PU1
2	1,40	0,10	100	0	-	-	K PU - 501	SB1/U/PU2
3	1,48	0,10	100	0	-	-	K E - 528	SB1/U/EP
4	1,34	0,14	100	0	-	-	B K - 440	SB1/U/PH
5	1,38	0,08	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	SB1/U/P1/PU1
6	1,28	0,08	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	SB1/U/P2/PU2
7	1,46	0,06	100	0	-	K 555.0	K E - 528	SB1/U/P2/EP
8	1,34	0,14	60	40	-	K 555.0	B K - 440	SB1/U/P2/PH
9	1,78	0,10	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	SA2/U/P1/PU1
10	1,80	0,06	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	SA2/U/P2/PU2
11	1,66	0,08	100	0	-	K 555.0	K E - 528	SA2/U/P2/EP
12	1,62	0,10	70	30	-	K 555.0	B K - 440	SA2/U/P2/PH

x = Mittelwert; s = Standardabweichung; * = Riß im Bereich der Klebfuge

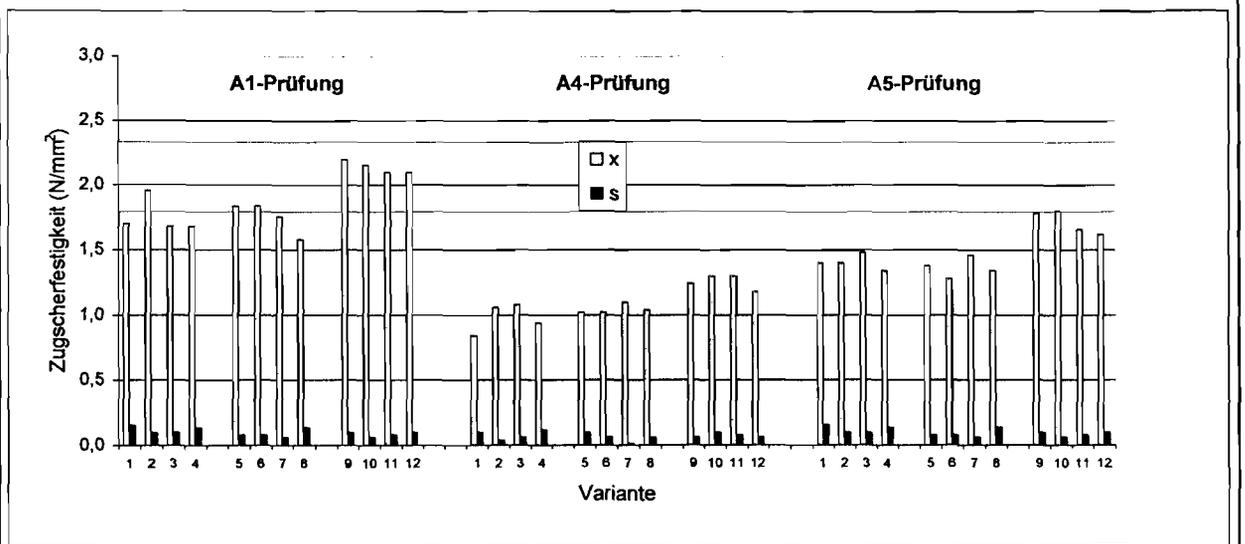


Tabelle 3: Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen dem Plattentyp C und Fichtenholz

Variante	x	s	Materialriß (%)	Leimriß (%)*	Abschliff	Primer	Kleber	Bezeichnung
A1-Prüfung								
1	1,88	0,24	100	0	-	-	J PU - 48532	A/U/PU1
2	2,06	0,14	100	0	-	-	K PU - 501	A/U/PU2
3	2,10	0,30	90	10	-	-	K E - 528	A/U/PH
4	2,42	0,14	100	0	+	-	J PU - 48532	A/G/PU1
5	2,28	0,68	100	0	+	-	K PU - 501	A/G/PU2
6	2,62	0,20	90	10	+	-	K E - 528	A/G/EP
7	2,04	0,38	90	10	+	-	B K - 440	A/G/PH
8	2,12	0,24	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	A/U/P1/PU1
9	2,58	0,08	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	A/U/P2/PU2
10	2,20	0,38	80	20	-	K 555.0	K E - 528	A/U/P2/EP
11	2,40	0,36	90	10	-	J 19540	J PVAc - 10270	A/U/P1/PVAc
12	2,76	0,18	90	10	+	J 19540	J PVAc - 10270	A/G/P1/PVAc
A4-Prüfung								
1	1,28	0,26	60	40	-	-	J PU - 48532	A/U/PU1
2	1,46	0,16	90	10	-	-	K PU - 501	A/U/PU2
3	1,42	0,08	80	20	-	-	K E - 528	A/U/PH
4	1,58	0,08	0	100	+	-	J PU - 48532	A/G/PU1
5	1,34	0,32	10	90	+	-	K PU - 501	A/G/PU2
6	1,56	0,26	80	20	+	-	K E - 528	A/G/EP
7	1,18	0,26	0	100	+	-	B K - 440	A/G/PH
8	1,48	0,14	80	20	-	J 19540	J PU - 48532	A/U/P1/PU1
9	1,44	0,10	50	50	-	K 555.0	K PU - 501	A/U/P2/PU2
10	1,54	0,08	40	60	-	K 555.0	K E - 528	A/U/P2/EP
11	0,92	0,38	0	100	-	J 19540	J PVAc - 10270	A/U/P1/PVAc
12	0,98	0,26	0	100	+	J 19540	J PVAc - 10270	A/G/P1/PVAc
A5-Prüfung								
1	1,72	0,24	40	60	-	-	J PU - 48532	A/U/P1/11
2	1,82	0,36	80	20	-	-	K PU - 501	A/U/PU2
3	1,66	0,12	50	50	-	-	K E - 528	A/U/PH
4	1,96	0,06	100	0	+	-	J PU - 48532	A/G/PU1
5	1,80	0,20	60	40	+	-	K PU - 501	A/G/PU2
6	1,90	0,12	90	10	+	-	K E - 528	A/G/EP
7	1,56	0,72	10	90	+	-	B K - 440	A/G/PH
8	2,00	0,24	70	30	-	J 19540	J PU - 48532	A/U/P1/PU1
9	1,84	0,10	50	50	-	K 555.0	K PU - 501	A/U/P2/PU2
10	1,84	0,10	0	100	-	K 555.0	K E - 528	A/U/P2/EP
11	2,08	0,12	60	40	-	J 19540	J PVAc - 10270	A/U/P1/PVAc
12	1,56	0,82	20	80	+	J 19540	J PVAc - 10270	A/G/P1/PVAc

x = Mittelwert; s = Standardabweichung; * = Riß im Bereich der Klebfuge

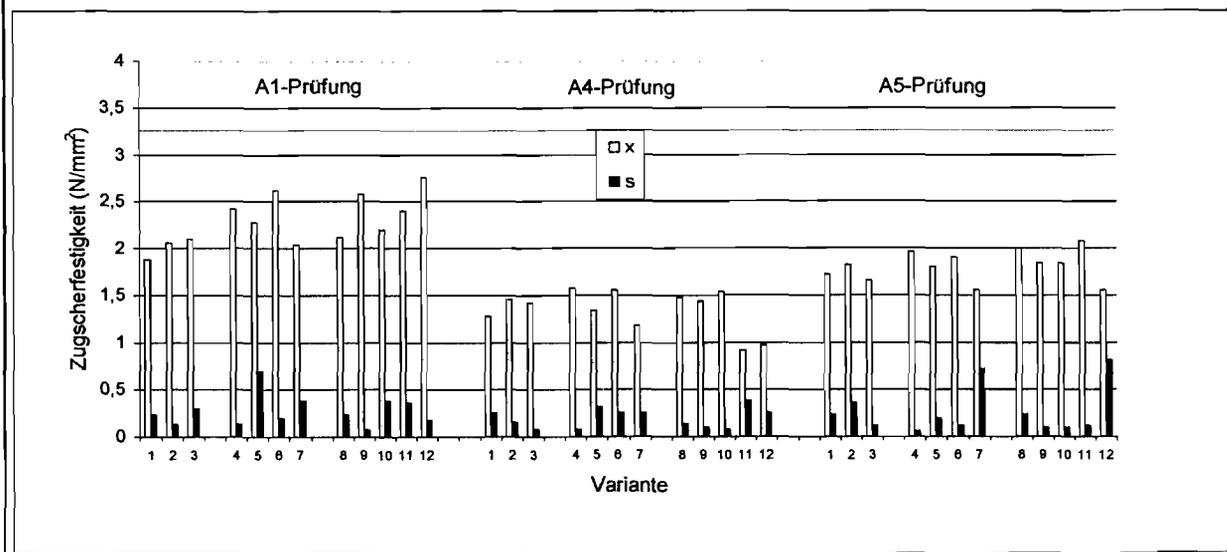


Tabelle 4: Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen Plattentyp D und Fichtenholz

Variante	x	s	Materialriß (%)	Leimriß (%)*	Abschliff	Primer	Kleber	Bezeichnung
A1-Prüfung								
1	1,06	0,08	100	0	+	-	J PU - 48532	S/G/PU1
2	1,08	0,08	60	40	+	-	J PVAc - 10270	S/G/PVAc
3	1,26	0,08	100	0	+	-	K PU - 501	S/G/PU2
4	1,16	0,06	90	10	+	-	B K - 440	S/G/PH
5	1,48	0,08	100	0	+	J 19540	J PU - 48532	S/G/P1/PU1
6	1,52	0,08	100	0	+	J 19540	J PVAc - 10270	S/G/P1/PVAc
7	1,54	0,08	100	0	+	K 555.0	K PU - 501	S/G/P2/PU2
8	1,54	0,10	100	0	+	K 555.0	B K - 440	S/G/P2/PH
A4-Prüfung								
1	0,18	0,08	20	80	+	-	J PU - 48532	S/G/PU1
2	0,12	0,08	0	100	+	-	J PVAc - 10270	S/G/PVAc
3	0,34	0,08	100	0	+	-	K PU - 501	S/G/PU2
4	0,32	0,06	40	60	+	-	B K - 440	S/G/PH
5	0,50	0,08	100	0	+	J 19540	J PU - 48532	S/G/P1/PU1
6	0,46	0,08	80	20	+	J 19540	J PVAc - 10270	S/G/P1/PVAc
7	0,60	0,06	80	20	+	K 555.0	K PU - 501	S/G/P2/PU2
8	0,60	0,04	80	20	+	K 555.0	B K - 440	S/G/P2/PH
A5-Prüfung								
1	0,42	0,12	100	0	+	-	J PU - 48532	S/G/PU1
2	0,78	0,10	60	40	+	-	J PVAc - 10270	S/G/PVAc
3	0,64	0,08	100	0	+	-	K PU - 501	S/G/PU2
4	0,56	0,10	100	0	+	-	B K - 440	S/G/PH
5	1,02	0,08	100	0	+	J 19540	J PU - 48532	S/G/P1/PU1
6	1,10	0,10	100	0	+	J 19540	J PVAc - 10270	S/G/P1/PVAc
7	1,02	0,10	100	0	+	K 555.0	K PU - 501	S/G/P2/PU2
8	0,98	0,16	100	0	+	K 555.0	B K - 440	S/G/P2/PH

x = Mittelwert; s = Standardabweichung; * = Riß im Bereich der Klebfuge

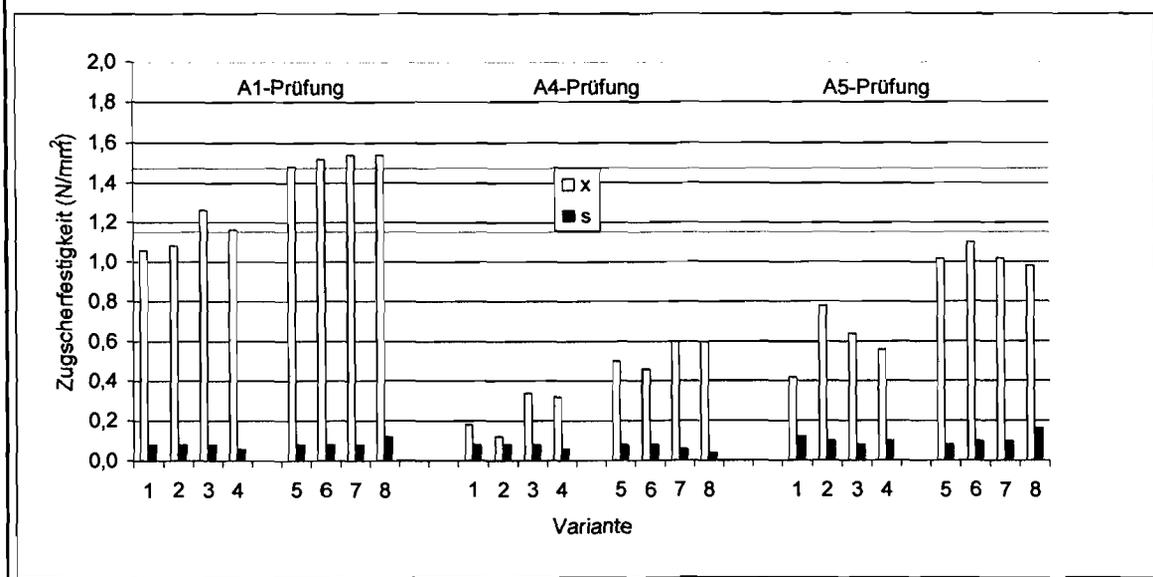


Tabelle 5: Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen Plattentyp E und Fichtenholz

Variante	x	s	Materialriß (%)	Leimriß (%)*	Abschliff	Primer	Kleber	Bezeichnung
A1-Prüfung								
1	3,10	0,20	50	50	-	-	J PU - 48532	F/U/PU1
2	3,32	0,16	100	0	-	-	K PU - 501	F/U/PU2
3	3,22	0,26	70	30	-	-	K E - 528	F/U/EP
4	3,04	0,28	70	30	-	-	B K - 440	F/U/PH
5	3,08	0,36	50	50	-	J 19540	J PU - 48532	F/U/P1/PU1
6	3,08	0,20	80	20	-	K 555.0	K PU - 501	F/U/P2/PU2
7	3,32	0,22	90	10	-	K 555.0	K E - 528	F/U/P2/EP
8	2,82	0,30	60	40	-	K 555.0	B K - 440	F/U/P2/PH
A4-Prüfung								
1	2,10	0,10	50	50	-	-	J PU - 48532	F/U/PU1
2	2,35	0,08	100	0	-	-	K PU - 501	F/U/PU2
3	2,32	0,12	90	10	-	-	K E - 528	F/U/EP
4	1,96	0,46	20	80	-	-	B K - 440	F/U/PH
5	2,00	0,18	70	30	-	J 19540	J PU - 48532	F/U/P1/PU1
6	2,12	0,26	70	30	-	K 555.0	K PU - 501	F/U/P2/PU2
7	1,98	0,10	100	0	-	K 555.0	K E - 528	F/U/P2/EP
8	2,00	0,36	50	50	-	K 555.0	B K - 440	F/U/P2/PH
A5-Prüfung								
1	2,90	0,34	90	10	-	-	J PU - 48532	F/U/PU1
2	2,92	0,14	100	0	-	-	K PU - 501	F/U/PU2
3	3,18	0,14	90	10	-	-	K E - 528	F/U/EP
4	2,58	0,68	50	50	-	-	B K - 440	F/U/PH
5	3,16	0,40	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	F/U/P1/PU1
6	2,98	0,72	80	20	-	K 555.0	K PU - 501	F/U/P2/PU2
7	2,68	0,18	100	0	-	K 555.0	K E - 528	F/U/P2/EP
8	2,58	0,60	50	50	-	K 555.0	B K - 440	F/U/P2/PH

x = Mittelwert; s = Standardabweichung; * = Riß im Bereich der Klebfuge

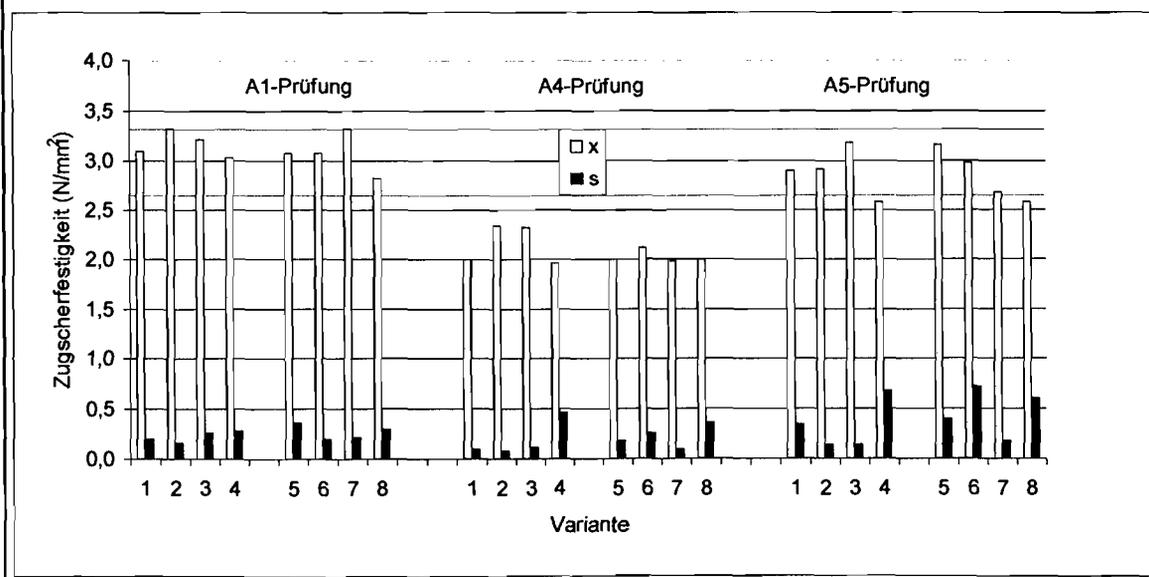


Tabelle 6: Zugfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen den Plattentypen C

Variante	x	s	Materialriß (%)	Leimriß (%)*	Abschliff	Primer	Kleber	Bezeichnung
A1-Prüfung								
1	1,64	0,08	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	A/U/P1/PU1
2	1,68	0,26	100	0	-	K 555.0	J PU - 48532	A/U/P2/PU1
3	1,78	0,10	100	0	-	-	J PU - 48532	A/U/PU1
4	1,88	0,20	100	0	-	K 555.0	K PU - 501	A/U/P2/PU2
5	1,80	0,22	100	0	-	-	K PU - 501	A/U/PU2
6	1,92	0,20	90	10	-	K 555.0	K E - 528	A/U/P2/EP
A4-Prüfung								
1	1,14	0,06	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	A/U/P1/PU1
2	0,80	0,32	60	40	-	K 555.0	J PU - 48532	A/U/P2/PU1
3	1,04	0,06	90	10	-	-	J PU - 48532	A/U/PU1
4	1,00	0,22	90	10	-	K 555.0	K PU - 501	A/U/P2/PU2
5	1,08	0,08	100	0	-	-	K PU - 501	A/U/PU2
6	0,92	0,32	60	40	-	K 555.0	K E - 528	A/U/P2/EP
A5-Prüfung								
1	1,46	0,14	100	0	-	J 19540	J PU - 48532	A/U/P1/PU1
2	1,08	0,12	90	10	-	K 555.0	J PU - 48532	A/U/P2/PU1
3	1,48	0,12	100	0	-	-	J PU - 48532	A/U/PU1
4	1,18	0,14	80	20	-	K 555.0	K PU - 501	A/U/P2/PU2
5	1,32	0,10	90	10	-	-	K PU - 501	A/U/PU2
6	1,18	0,56	80	20	-	K 555.0	K E - 528	A/U/P2/EP

x = Mittelwert; s = Standardabweichung; * = Riß im Bereich der Klebfuge

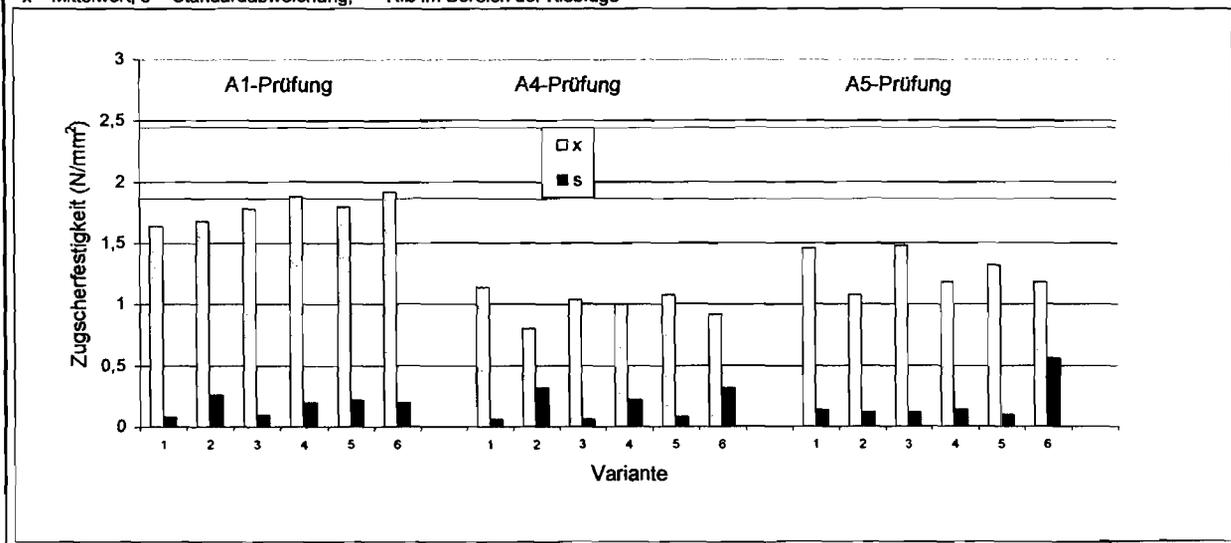
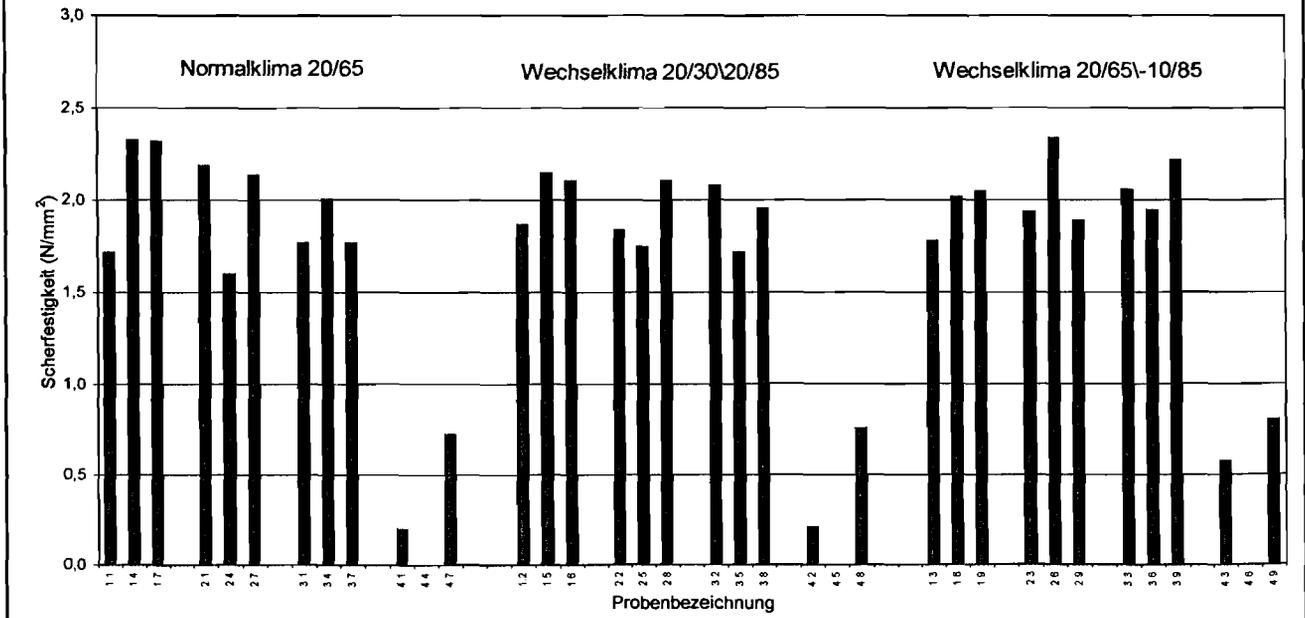


Tabelle 8: Scherfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen Plattentyp D und Fichtenholz

Probe	Normalklima (20/65)		Probe	Wechselklima (20/30\20/85)		Probe	Wechselklima (20/65 \-10/85)	
	SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild
1.1	1,71	PA	1.2	1,86	PR	1.3	1,77	PR
1.4	2,32	PA	1.5	2,14	PA	1.6	2,01	PR
1.7	2,31	PR	1.8	2,10	PR	1.9	2,04	PR
2.1	2,18	PR	2.2	1,83	PR	2.3	1,93	PR
2.4	1,59	PR	2.5	1,74	PR	2.6	2,33	PA
2.7	2,13	PR	2.8	2,10	PR	2.9	1,88	PA
3.1	1,76	PA	3.2	2,07	PR	3.3	2,05	PR
3.4	2,00	PA	3.5	1,71	PR	3.6	1,94	PR
3.7	1,76	PR	3.8	1,95	PR	3.9	2,21	PR
4.1	0,19	30% PA + 70% LF	4.2	0,20	5% PA +95% LF	4.3	0,57	PA
4.4	0,00	LF	4.5	0,00	LF	4.6	0,00	LF
4.7	0,72	50% PA + 50% LF	4.8	0,75	PA	4.9	0,80	PA

SF - Scherfestigkeit; PA - Plattenausriß; PR - Plattenriß durch Stauchung; LF - Leimfugenriß; HA - Holzausriß



Die Platten wurden mit einem Primer grundiert

Proben 1.1-1.9 Klebstoff K2

Proben 2.1-2.9 Klebstoff K5

Proben 3.1-2.9 Klebstoff K1

Proben 4.1-4.9 Klebstoff K4

Die Bruchbilder sind in den nachfolgenden Bildfolgen dokumentiert

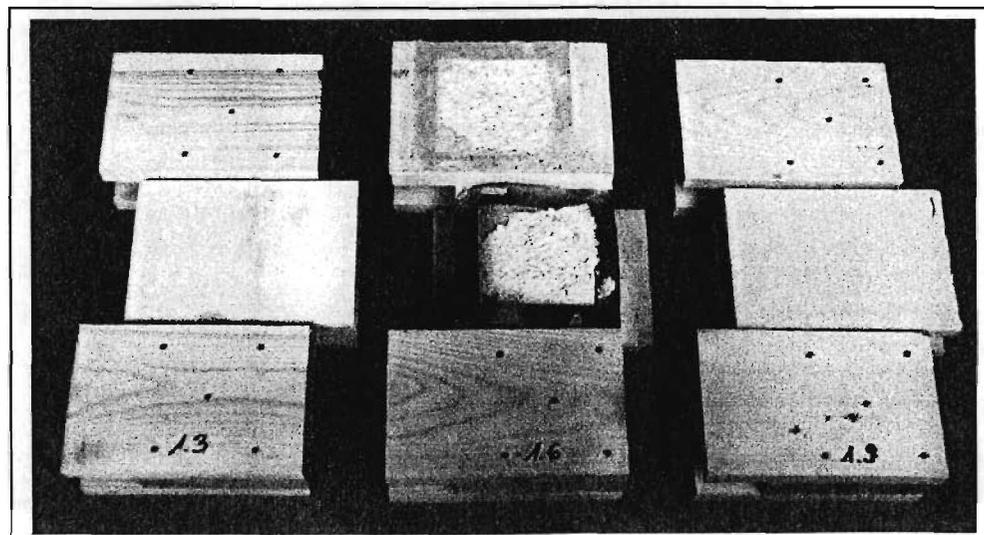
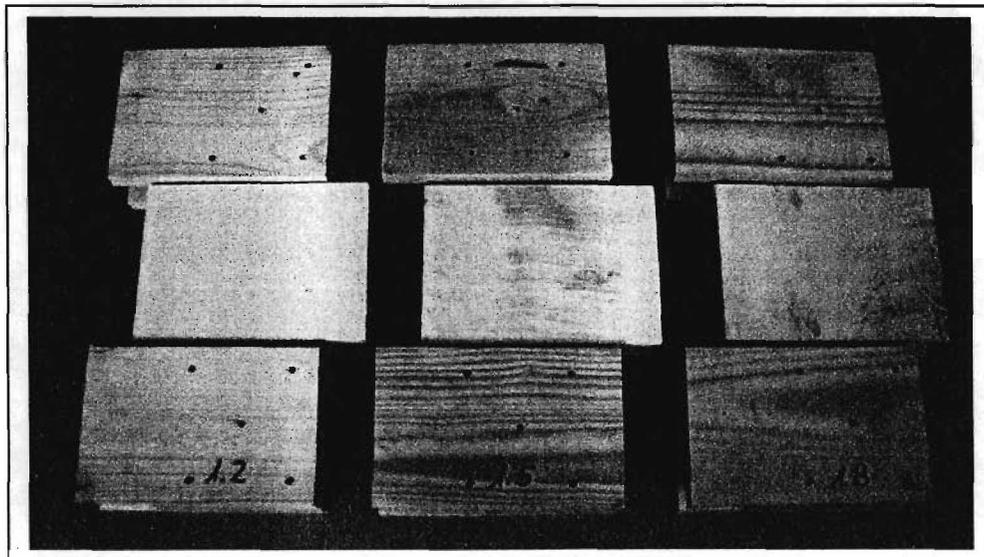
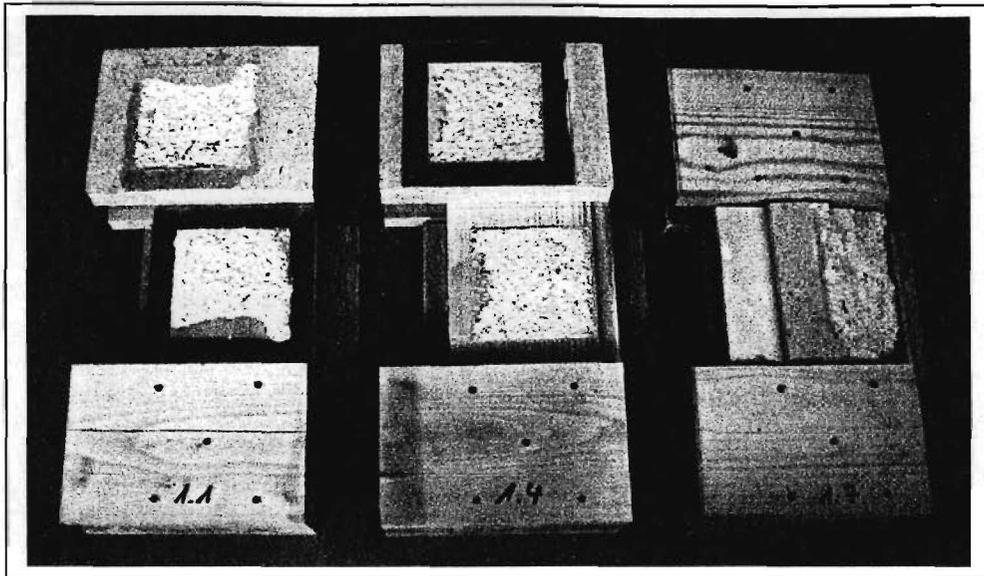


Abb. 8: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K2 - Plattentyp D - Fichtenholz"

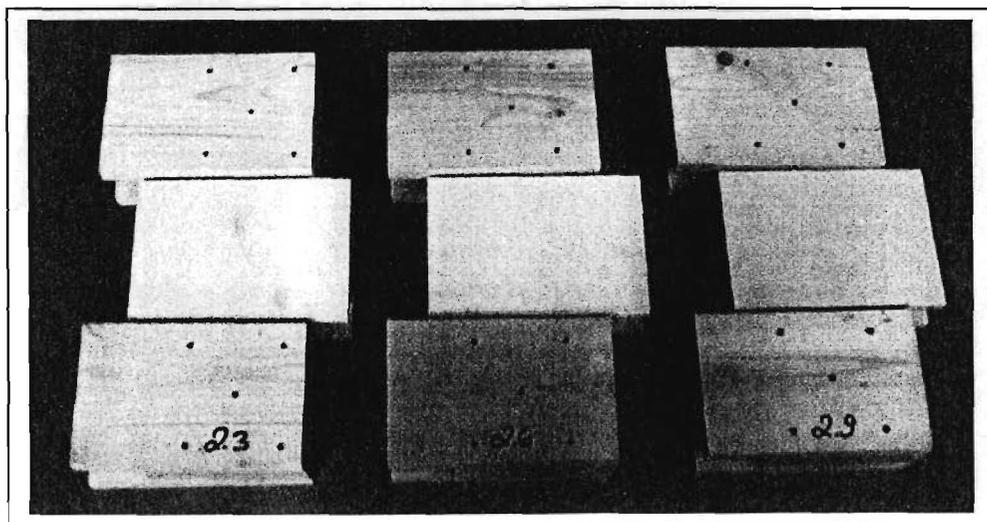
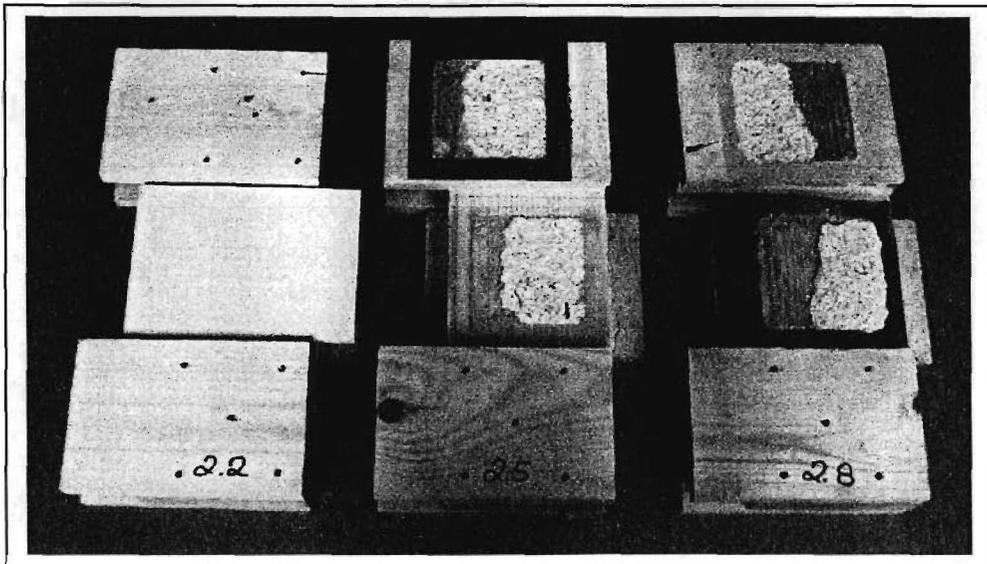
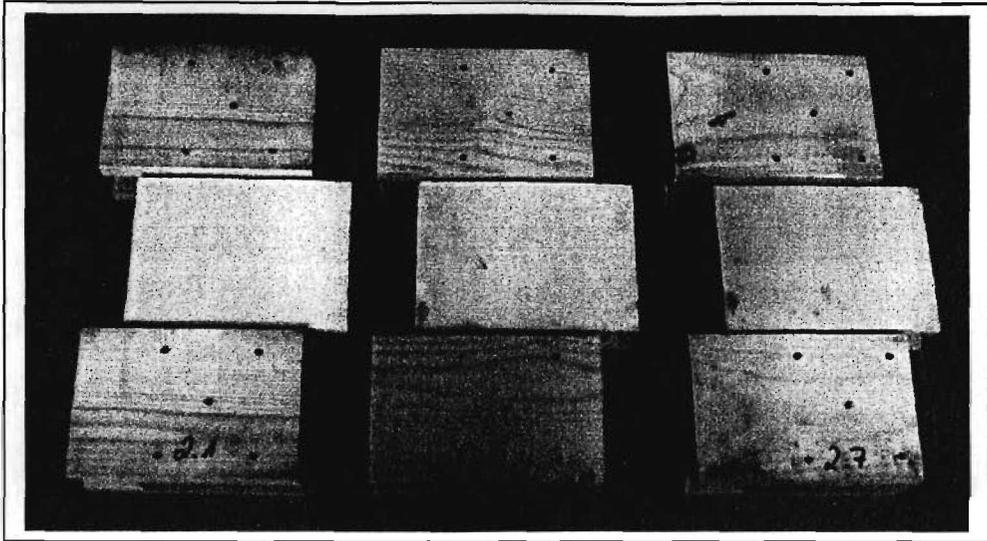


Abb. 9: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K5 - Plattentyp D - Fichtenholz"

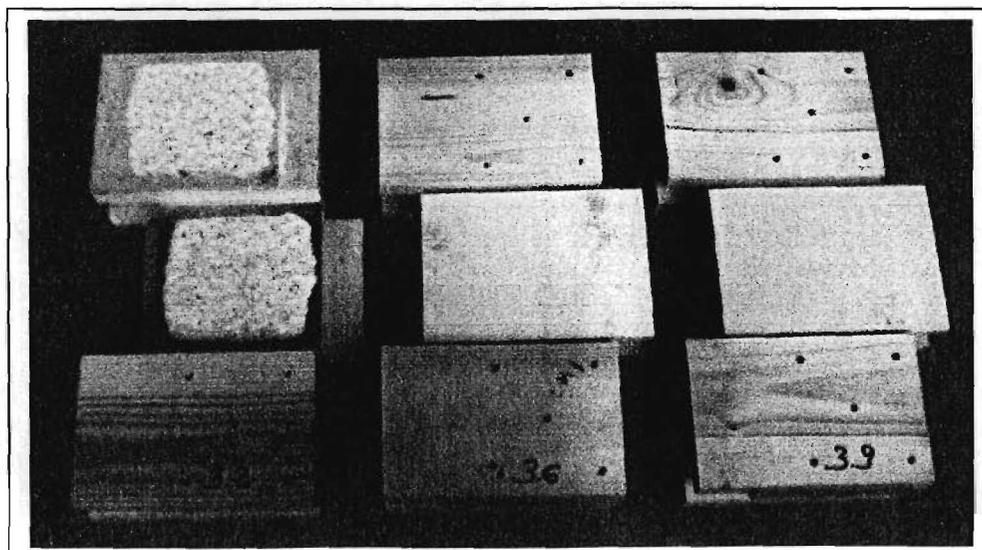
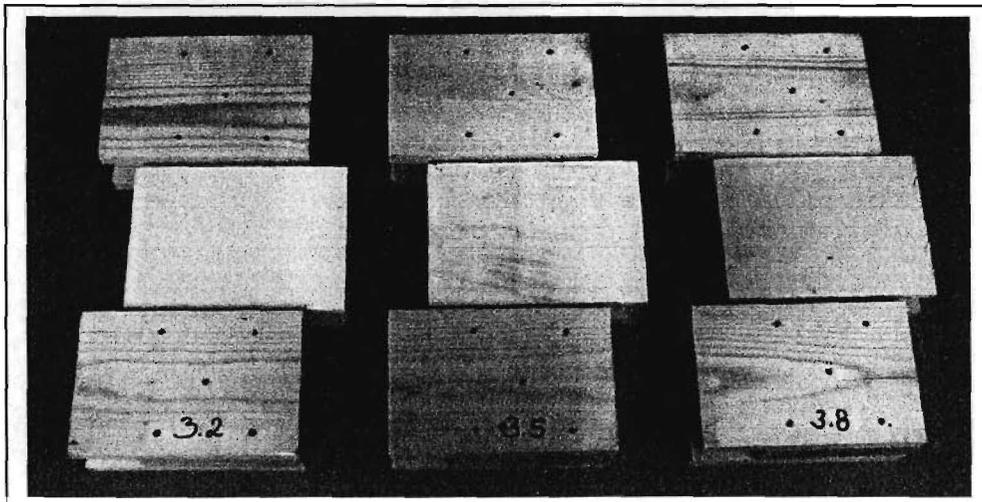
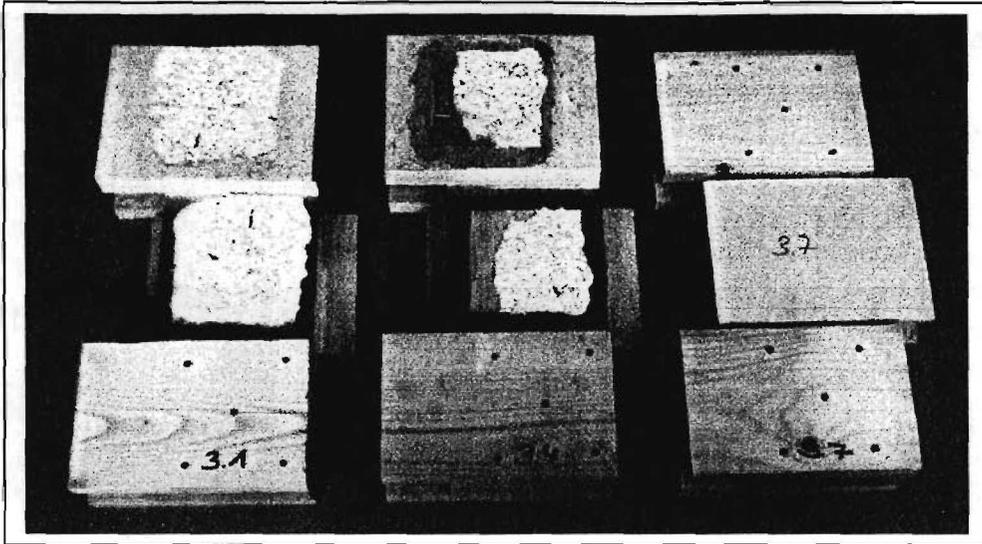


Abb. 10: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K1 - Plattentyp D - Fichtenholz"

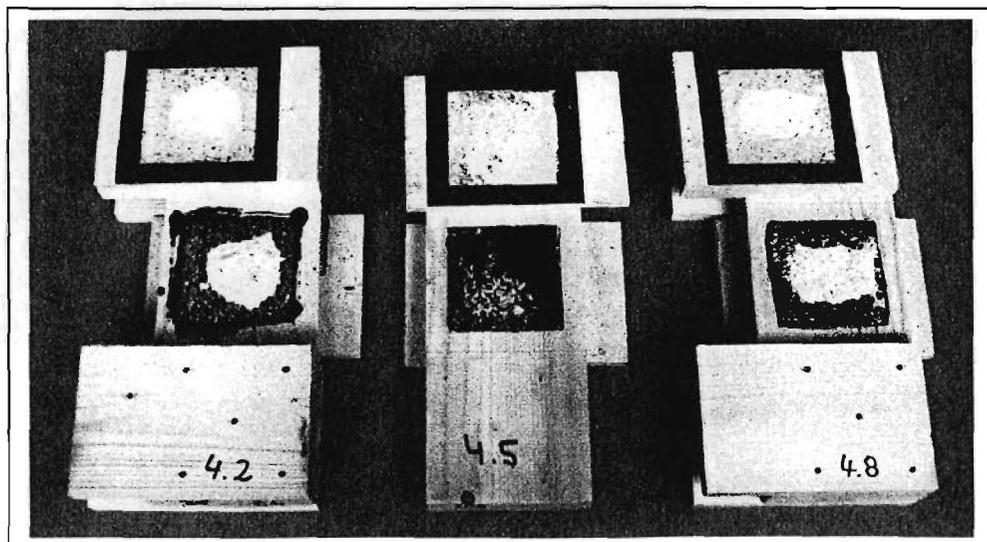
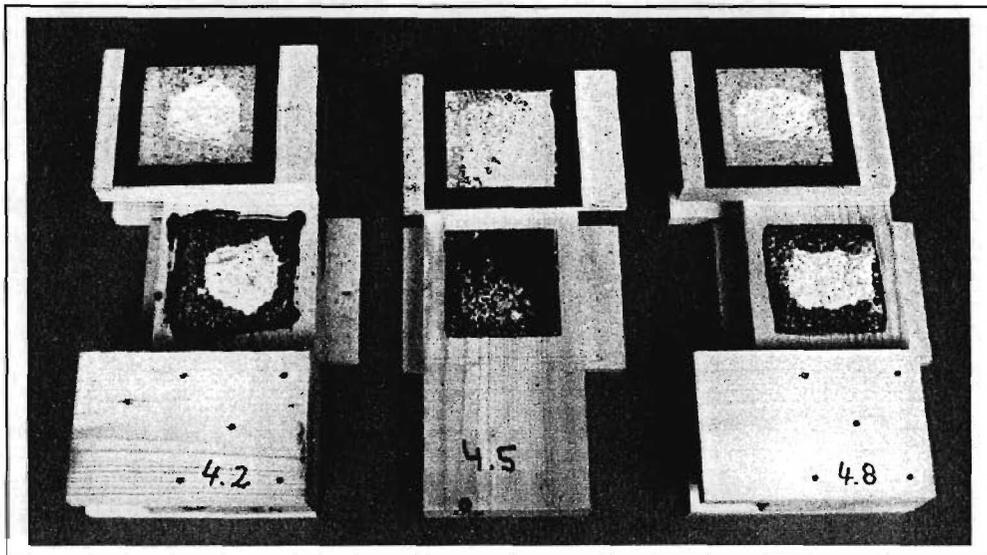
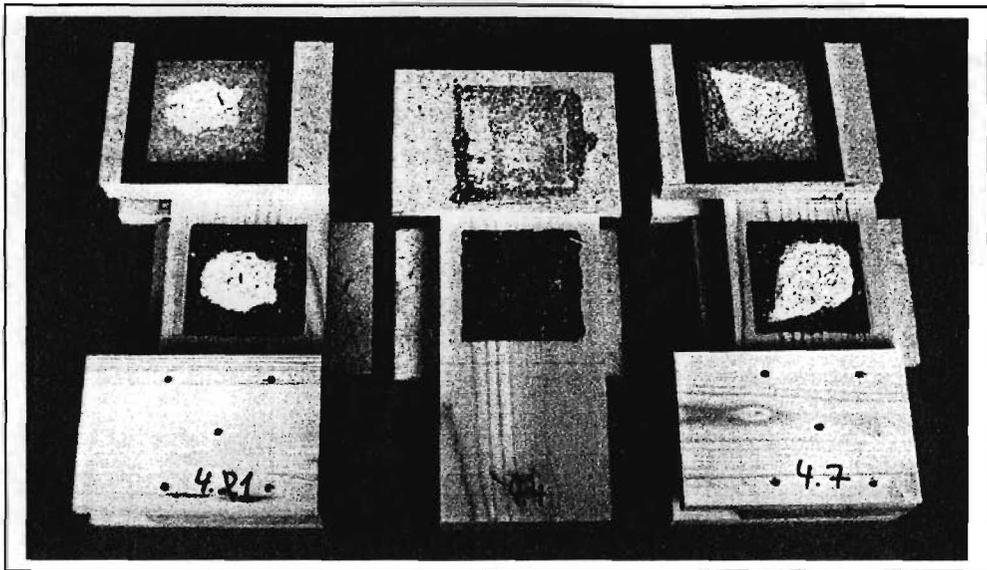
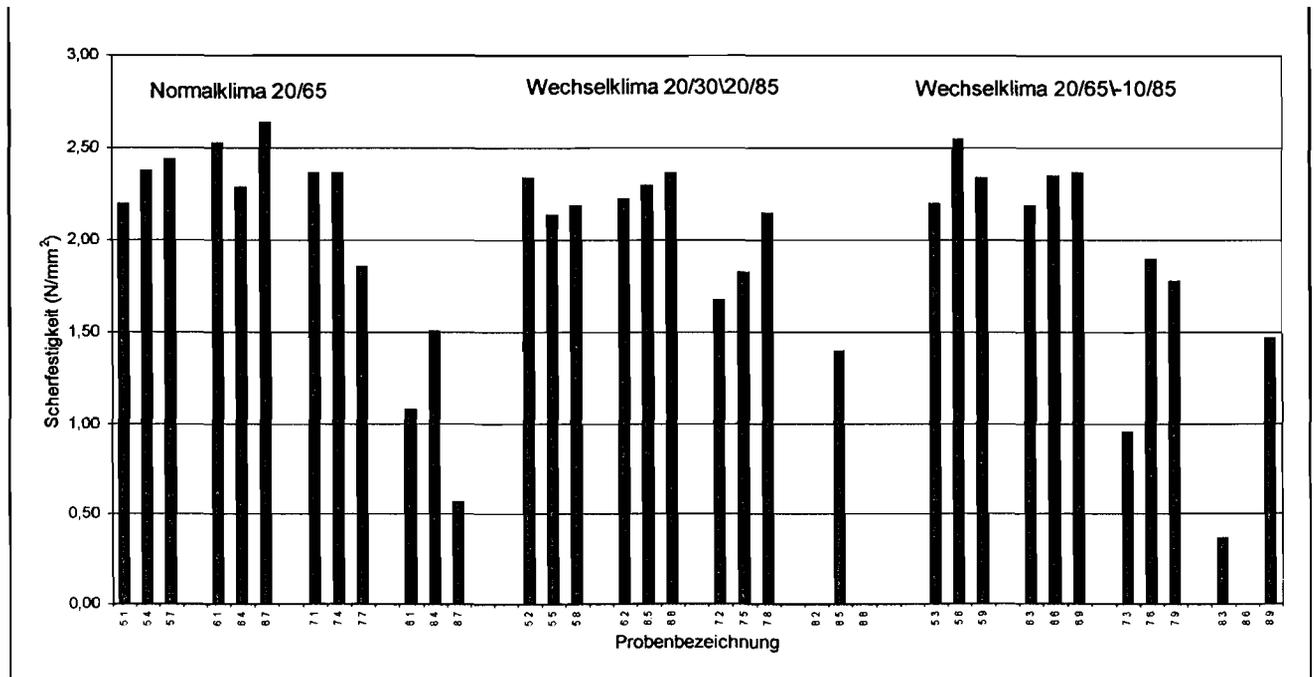


Abb. 11: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K4 - Plattentyp D - Fichtenholz"

Tabelle 9: Scherfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen Plattentyp E und Fichtenholz

Probe	Normalklima (20/65)		Probe	Wechselklima (20/30/20/85)		Probe	Wechselklima (20/65/-10/85)	
	SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild
5.1	2,19	PA	5.2	2,33	PA	5.3	2,19	50% PA + 50% LF
5.4	2,37	10% PA + 90% LF	5.5	2,13	PA	5.6	2,54	PA
5.7	2,43	PA	5.8	2,18	PA	5.9	2,33	PA
6.1	2,52	HA	6.2	2,22	LF	6.3	2,18	90% HA + 10% PA
6.4	2,28	40% PA + 60% HA	6.5	2,29	HA	6.6	2,34	PA
6.7	2,63	50% PA + 50% HA	6.8	2,36	50% HA + 50% PA	6.9	2,36	PA
7.1	2,36	PA	7.2	1,67	PA	7.3	0,95	PA
7.4	2,36	PA	7.5	1,82	20% HA + 80% PA	7.6	1,89	70% PA + 30% LF
7.7	1,85	PA	7.8	2,14	PA	7.9	1,77	PA
8.1	1,07	PA	8.2	0,00	LF	8.3	0,36	PA
8.4	1,50	PA	8.5	1,39	55% PA + 45% LA	8.6	0,00	LF
8.7	0,56	50% PA + 50% LF	8.8	0,00	LF	8.9	1,46	95% PA + 5% LF

SF - Scherfestigkeit: PA - Plattenausriß: PR - Plattenbruch durch Stauchung: LF - Leimfugenriß: HA - Holz ausriß



Die Platten wurden nicht grundiert
 Proben 5.1-5.9 Klebstofftyp K2
 Proben 6.1-6.9 Klebstofftyp K1
 Proben 7.1-7.9 Klebstofftyp K3
 Proben 8.1-8.9 Klebstofftyp K4
 Die Bruchbilder sind in den nachfolgenden Bildfolgen dokumentiert

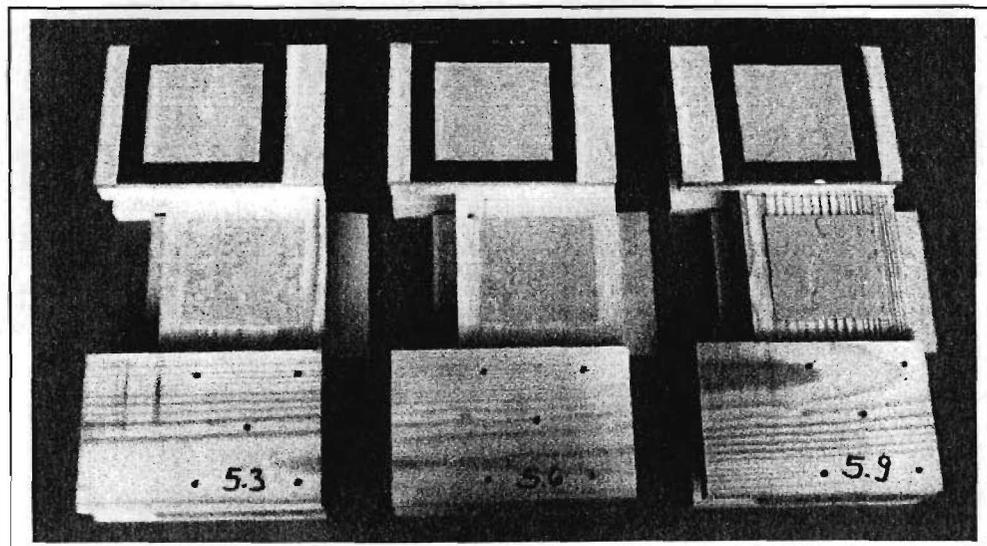
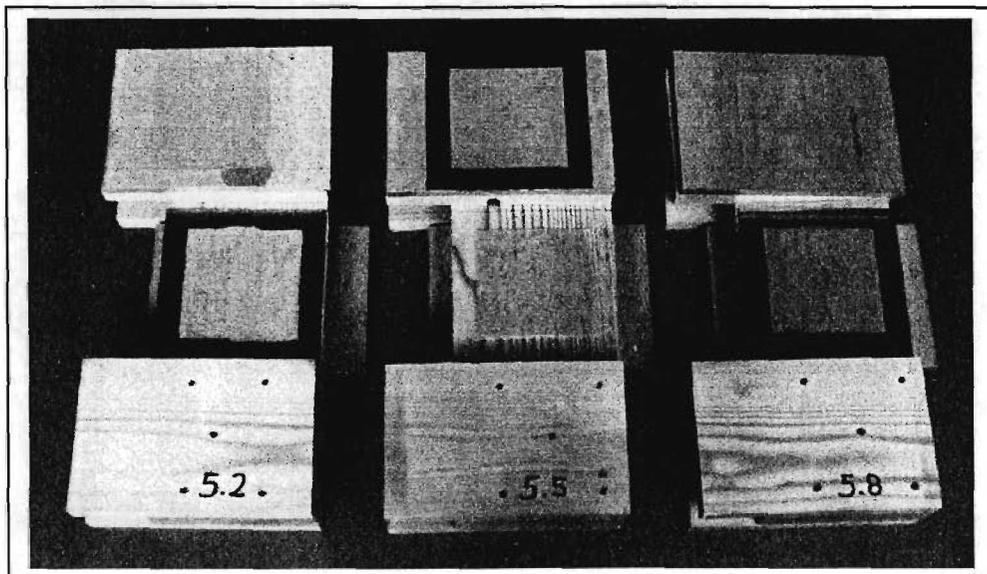
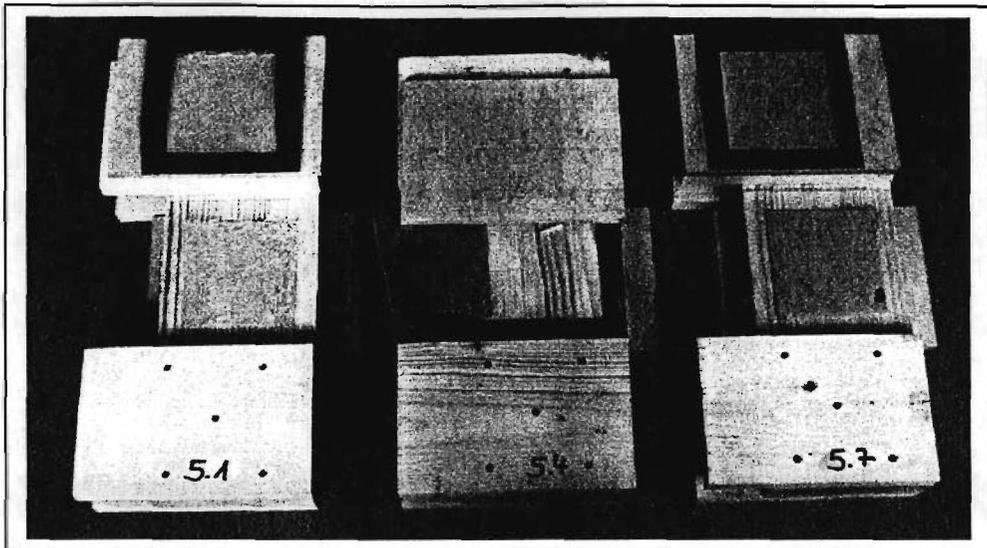


Abb. 12: Bruchbilder von Klebverbindungen " Klebstoff K2 - Plattentyp E - Fichtenholz "

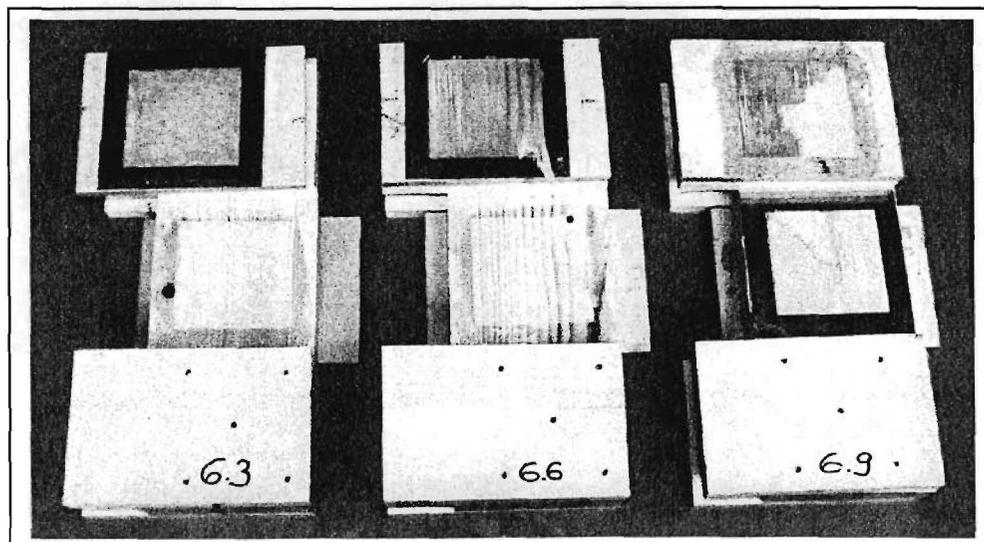
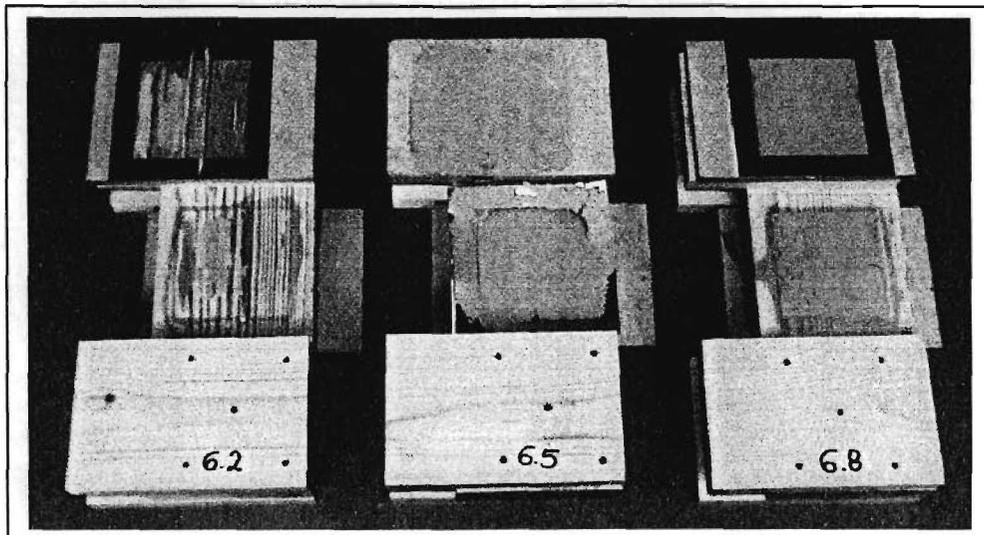
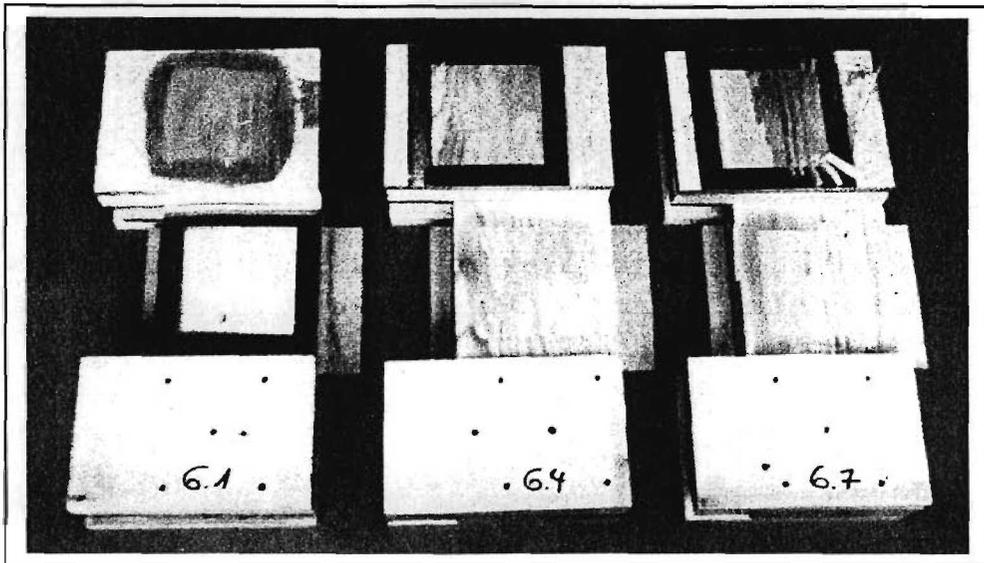


Abb. 13: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K1 - Plattentyp E - Fichtenholz"

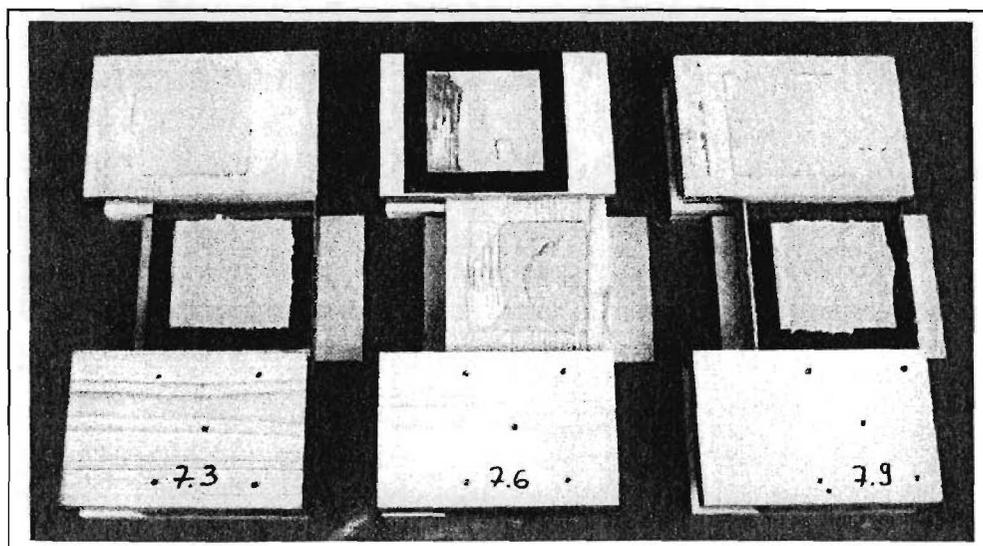
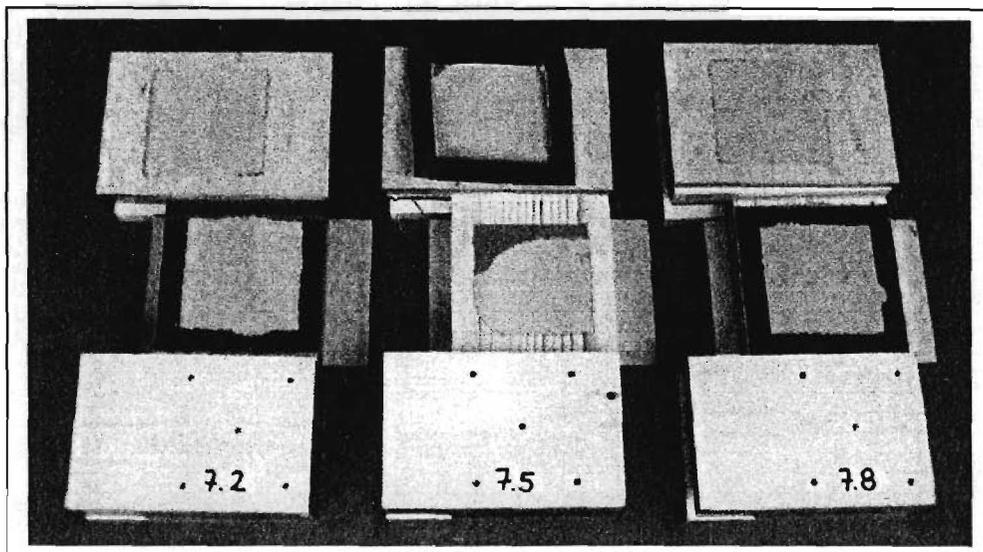
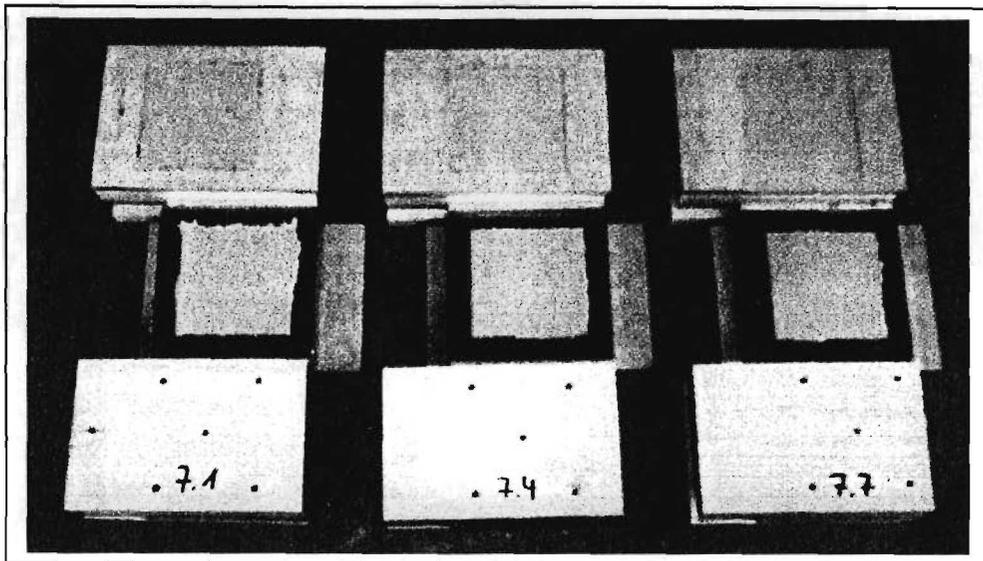


Abb. 14: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K3 - Plattentyp E - Fichtenholz"

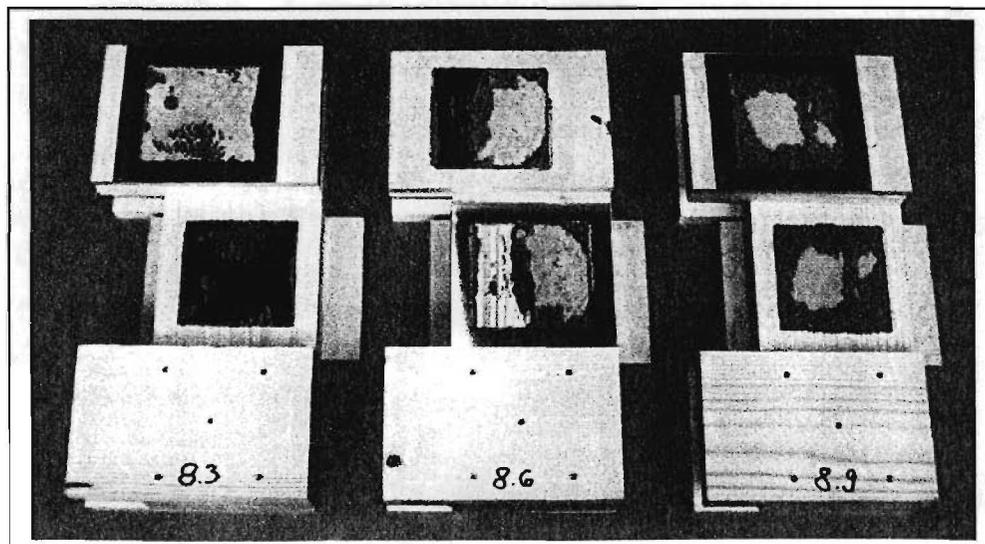
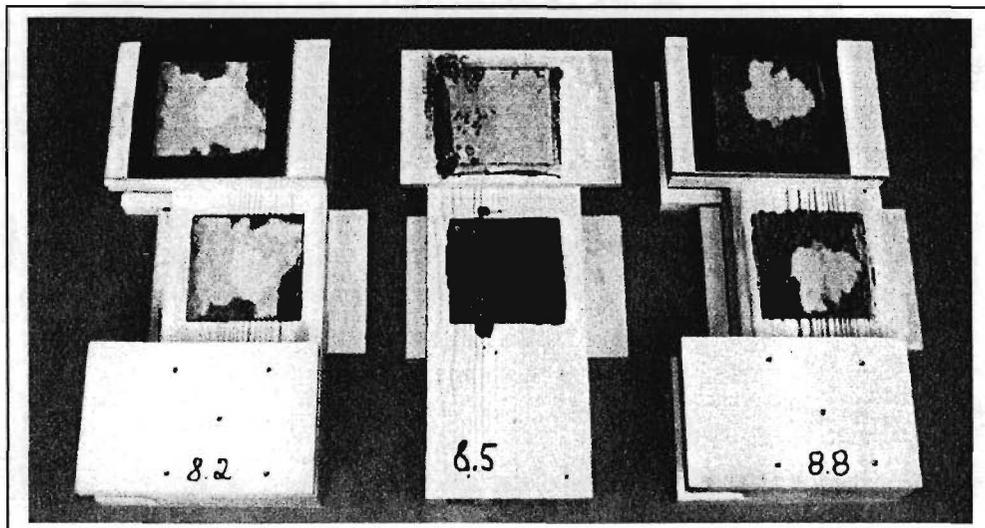
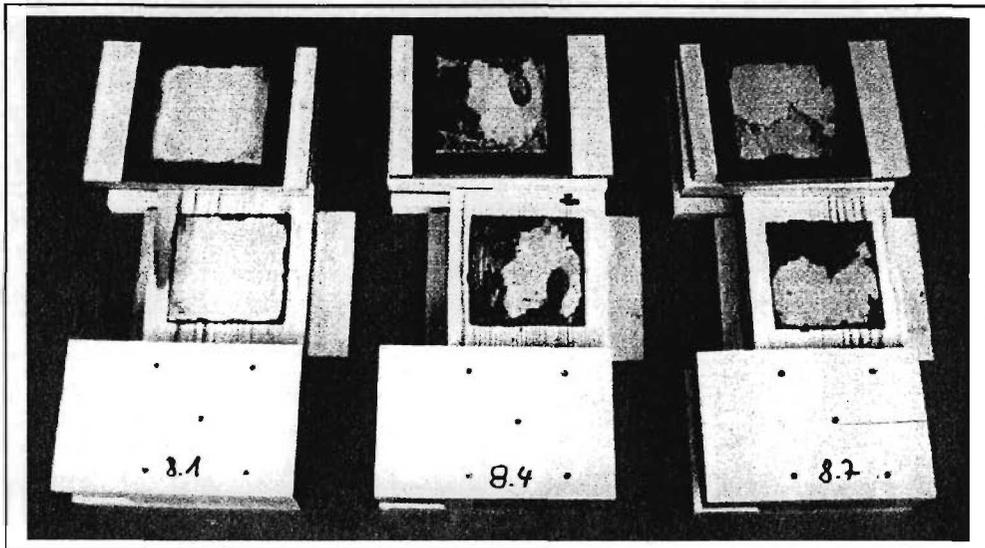
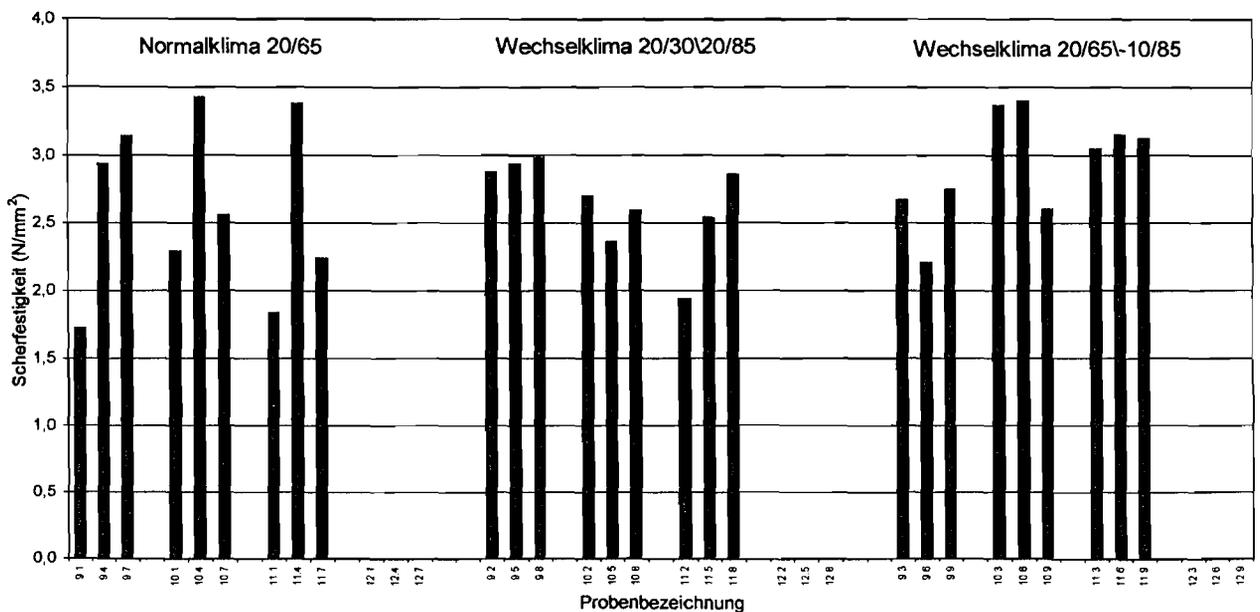


Abb. 15: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K4 - Plattentyp E - Fichtenholz"

Tabelle 10: Scherfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen Plattentyp C und Fichtenholz

Probe	Normalklima (20/65)		Probe	Wechselklima (20/30\20/85)		Probe	Wechselklima (20/65 \-10/85)	
	SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild
9.1	1,72	LF mit HA	9.2	2,87	LF mit HA	9.3	2,66	LF mit HA
9.4	2,93	LF mit HA	9.5	2,93	LF mit HA	9.6	2,20	LF mit HA
9.7	3,13	LF mit HA	9.8	2,97	PA	9.9	2,74	LF mit PA
10.1	2,28	HA	10.2	2,69	LF	10.3	3,36	LF mit HA
10.4	3,42	HA	10.5	2,35	LF mit HA	10.6	3,39	LF mit HA
10.7	2,55	LF	10.8	2,58	PA	10.9	2,59	HA
11.1	1,83	HA	11.2	1,93	70% HA + 30% LF	11.3	3,04	HA
11.4	3,37	HA mit LF	11.5	2,53	HA	11.6	3,14	HA mit LF
11.7	2,23	HA	11.8	2,85	HA	11.9	3,12	HA
12.1	0,00	LF	12.2	0,00	LF	12.3	0,00	LF
12.4	0,00	LF	12.5	0,00	LF	12.6	0,00	LF
12.7	0,00	LF	12.8	0,00	LF	12.9	0,00	LF

SF - Scherfestigkeit; PA - Plattenausriß; PR - Plattenriß durch Stauchung; LF - Leimfugenriß; HA - Holz ausriß



Die Platten wurden mit einem Primer grundiert
 Proben 9.1-9.9 Klebstofftyp K2
 Proben 10.1-10.9 Klebstofftyp K1
 Proben 11.1-11.9 Klebstofftyp K3
 Proben 12.1-12.9 Klebstofftyp K4
 Die Bruchbilder sind in den nachfolgenden Bildfolgen dokumentiert

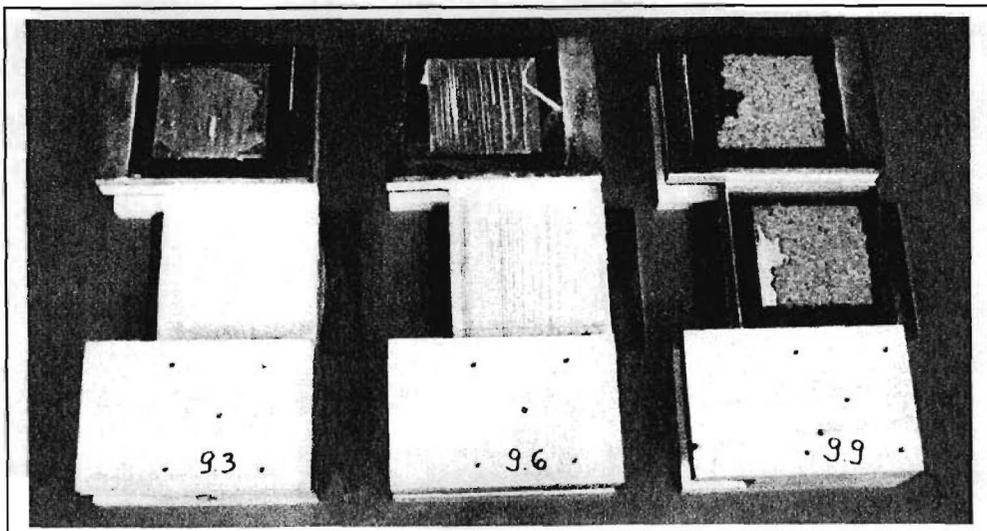
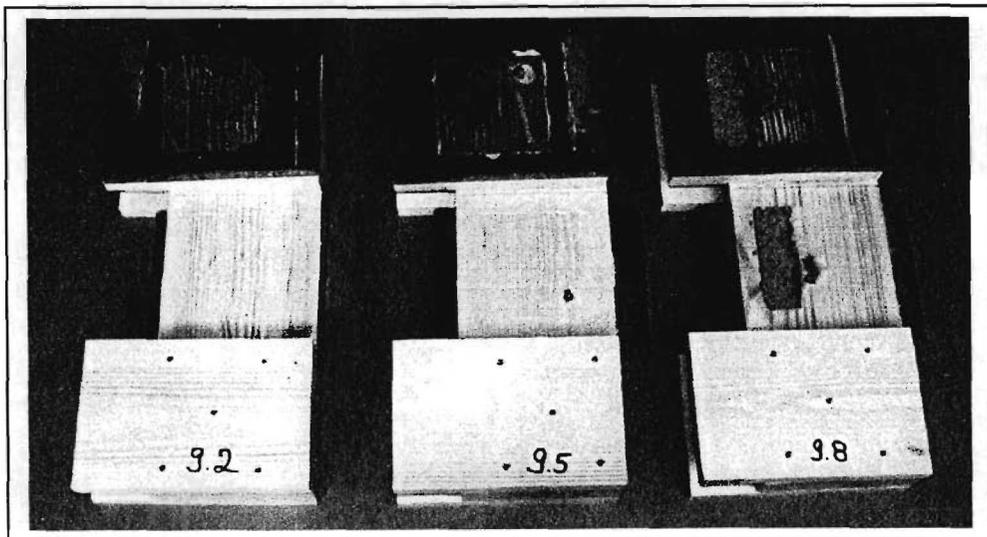
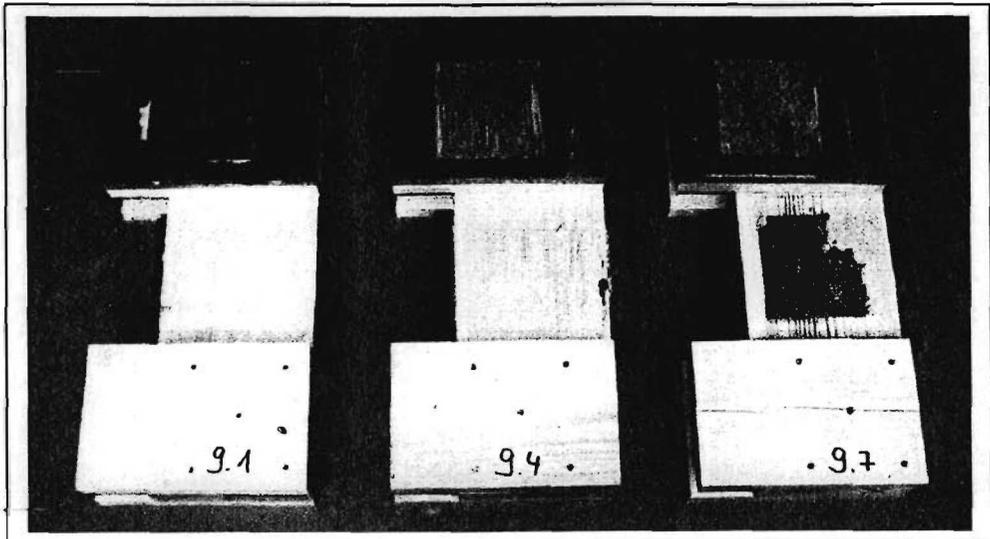


Abb. 20: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K2 - Plattentyp C - Fichtenholz"

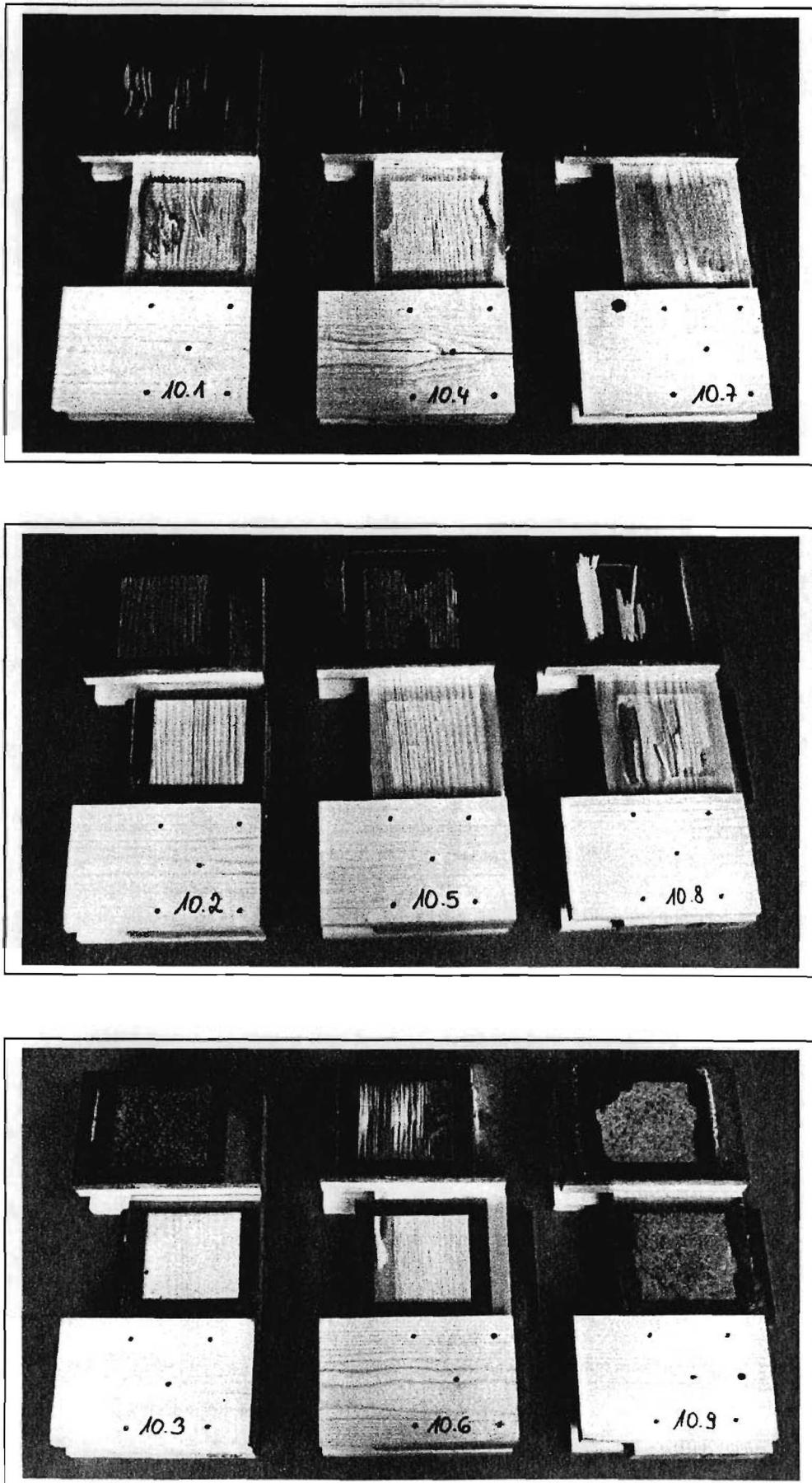


Abb. 21: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K1 - Plattentyp C - Fichtenholz"

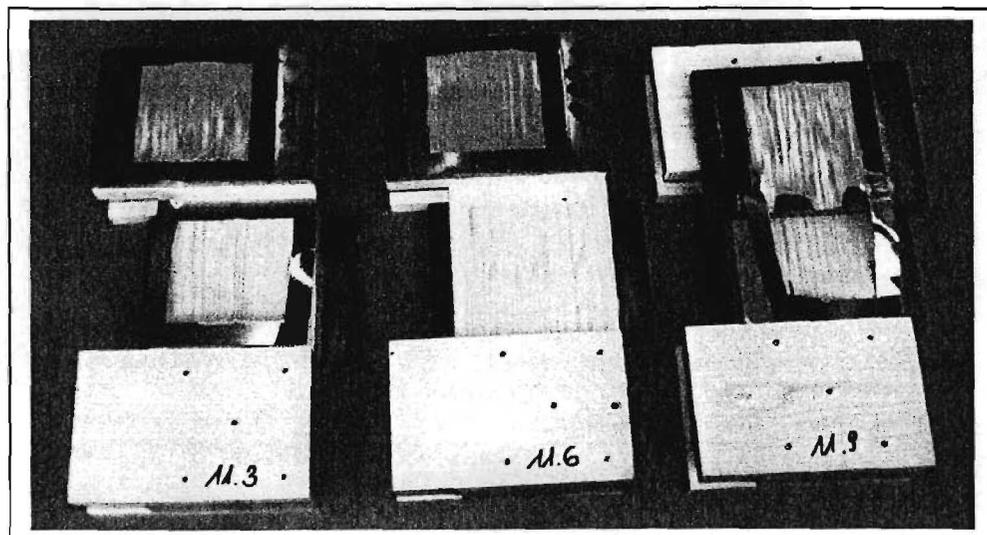
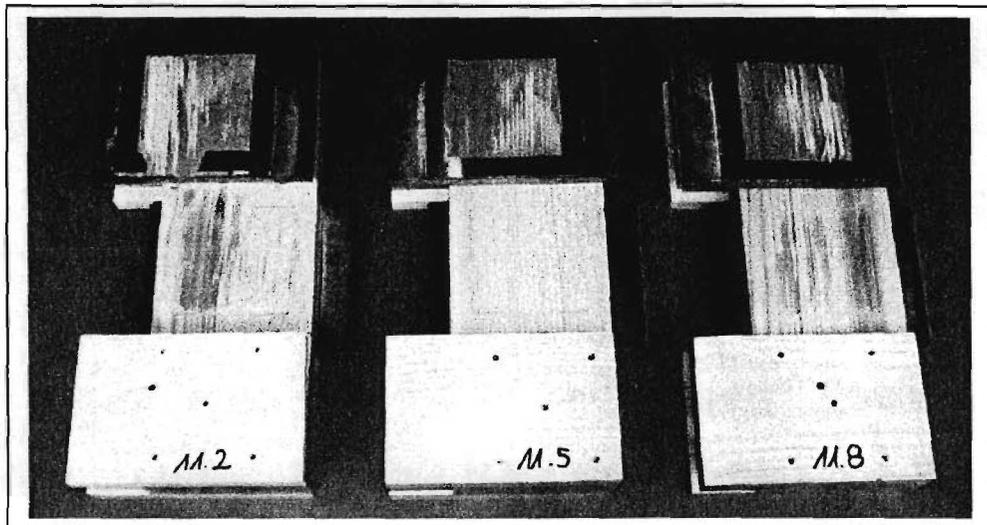
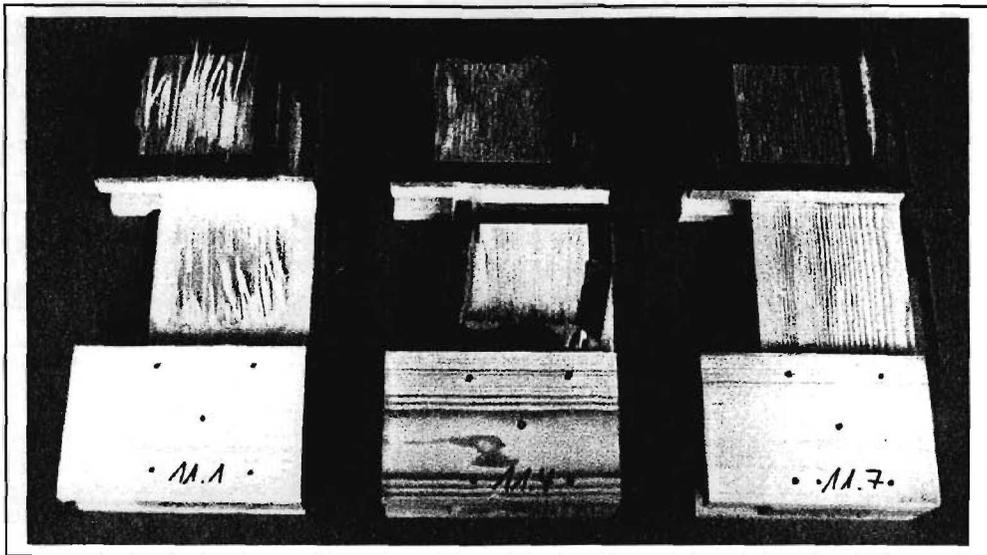
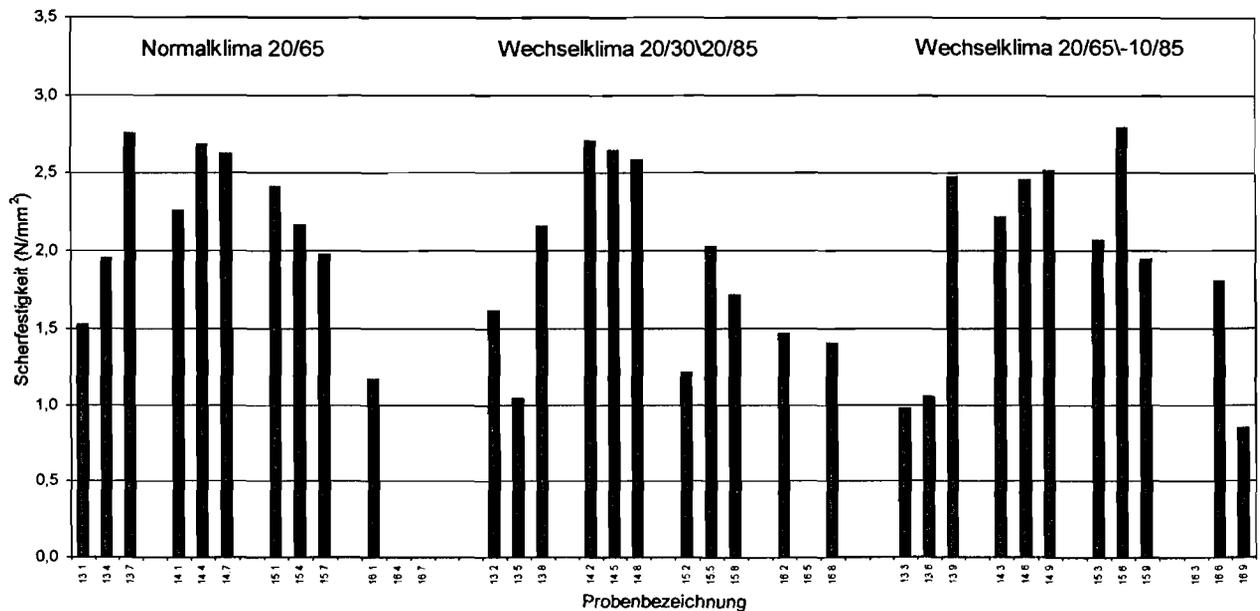


Abb. 22: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K3 - Plattentyp C - Fichtenholz"

Tabelle 11: Scherfestigkeiten von Klebverbindungen zwischen Plattentyp B1 und Fichtenholz

Probe	Normalklima (20/65)		Probe	Wechselklima (20/30\20/85)		Probe	Wechselklima (20/65 \-10/85)	
	SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild		SF(N/mm ²)	Bruchbild
13.1	1,52	PA	13.2	1,61	PA	13.3	0,97	20%PA + 80% LF
13.4	1,95	PA	13.5	1,04	50% PA + 50% LF	13.6	1,05	70% PA + 30% LF
13.7	2,75	PA	13.8	2,15	PA	13.9	2,47	PA
14.1	2,25	PA	14.2	2,70	60% PA + LF mit HA	14.3	2,21	PA
14.4	2,68	PA	14.5	2,64	PA	14.6	2,45	PA
14.7	2,62	LF mit HA	14.8	2,58	95% PA + HA	14.9	2,51	PA
15.1	2,41	PA	15.2	1,21	PA	15.3	2,06	PA
15.4	2,16	LF mit HA	15.5	2,02	PA	15.6	2,79	PA
15.7	1,97	PA	15.8	1,71	PA	15.9	1,94	PA
16.1	1,17	PA	16.2	1,46	PA	16.3	0,00	LF
16.4	0,00	LF	16.5	0,00	LF	16.6	1,80	PA
16.7	0,00	LF	16.8	1,40	PA	16.9	0,84	PA

SF - Scherfestigkeit; PA - Plattenausriß; PR - Plattenniß durch Stauchung; LF - Leimfugenriß; HA - Holz ausriß



Die Platten wurden nicht grundiert
 Proben 13.1-13.9 Klebstofftyp K2
 Proben 14.1-14.9 Klebstofftyp K1
 Proben 15.1-15.9 Klebstofftyp K3
 Proben 16.1-16.9 Klebstofftyp K4
 Die Bruchbilder sind in den nachfolgenden Bildfolgen dokumentiert

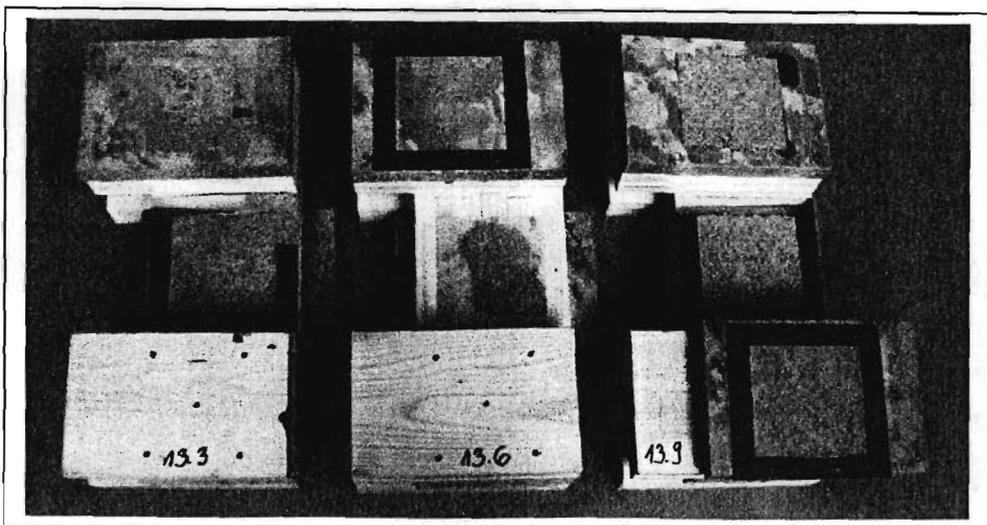
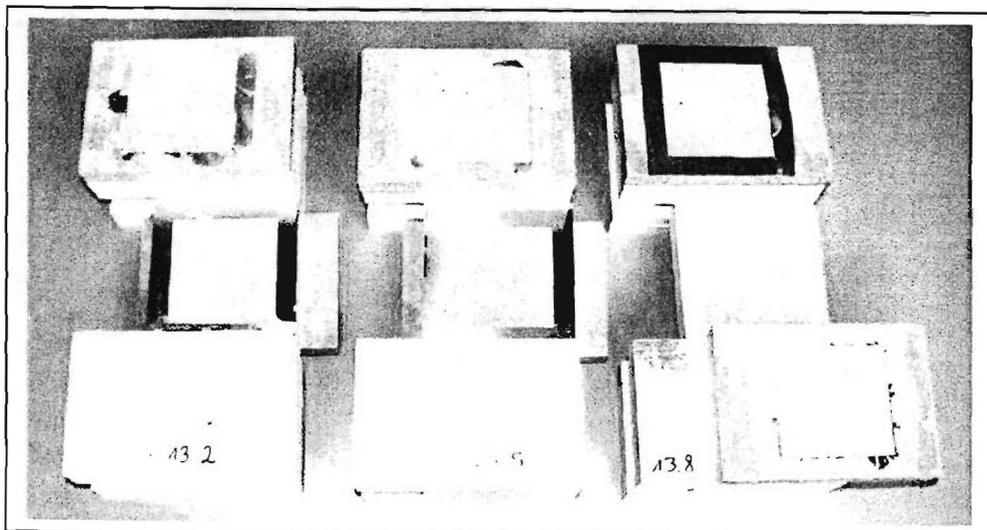
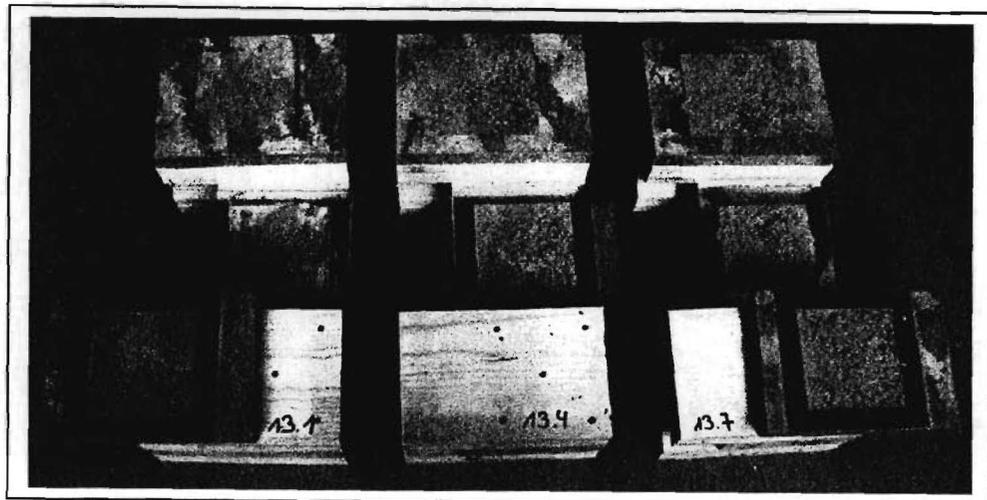


Abb. 23: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K2 - Plattentyp B1 - Fichtenholz"

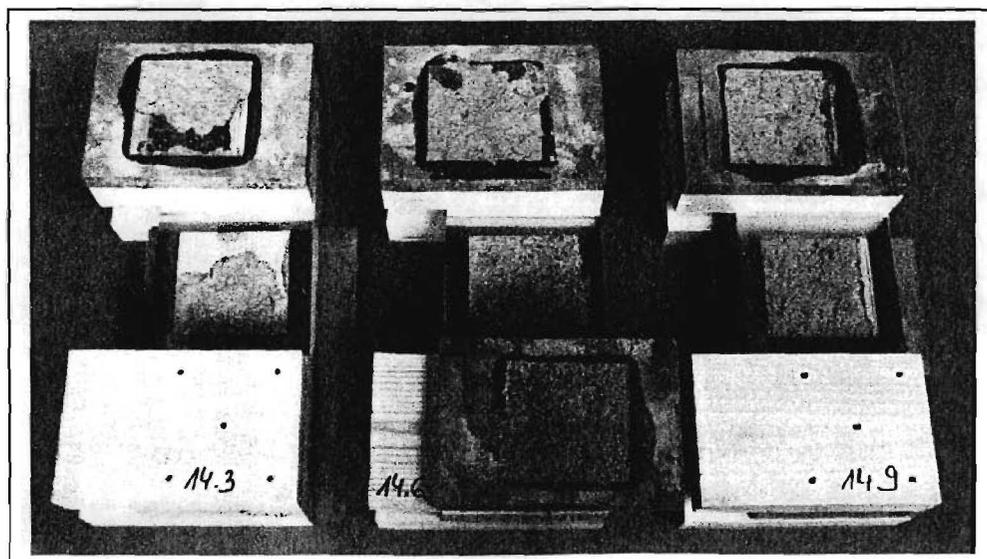
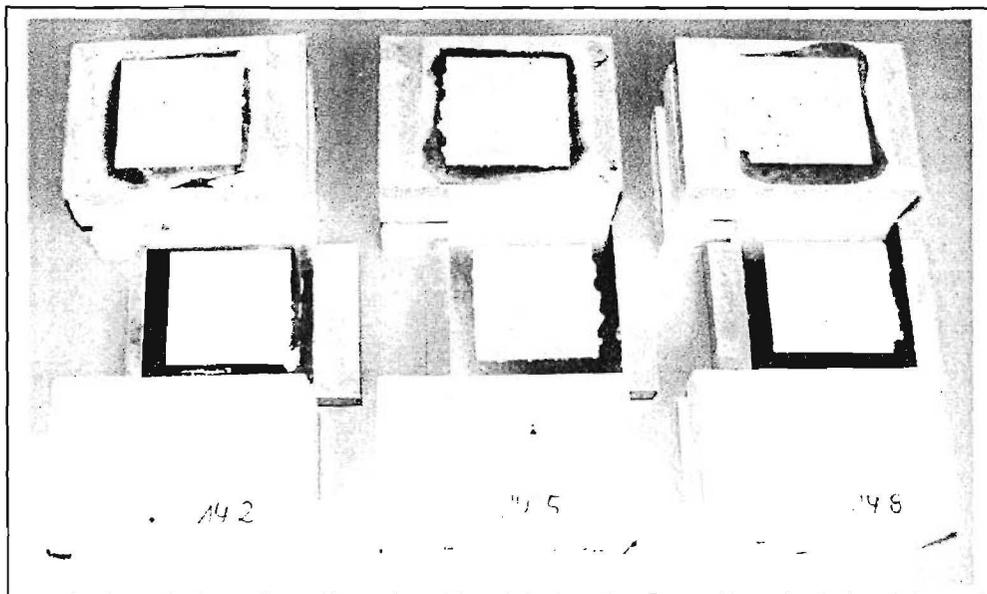
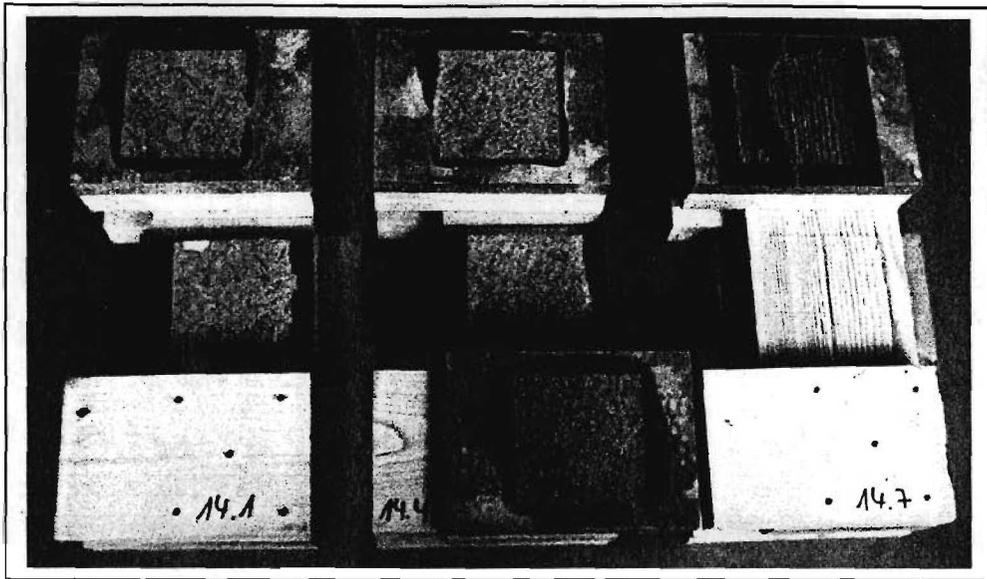


Abb. 24: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K1 - Plattentyp B1 - Fichtenholz"

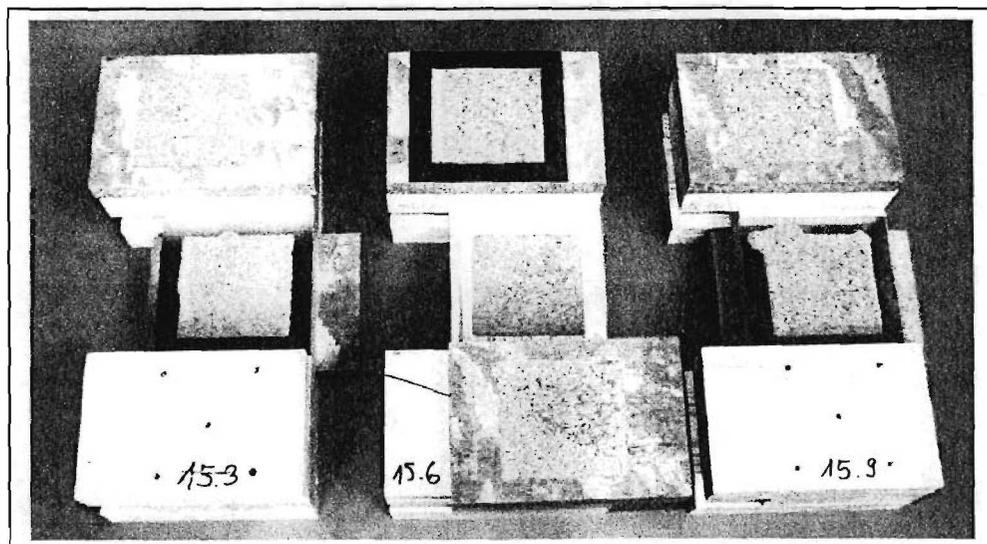
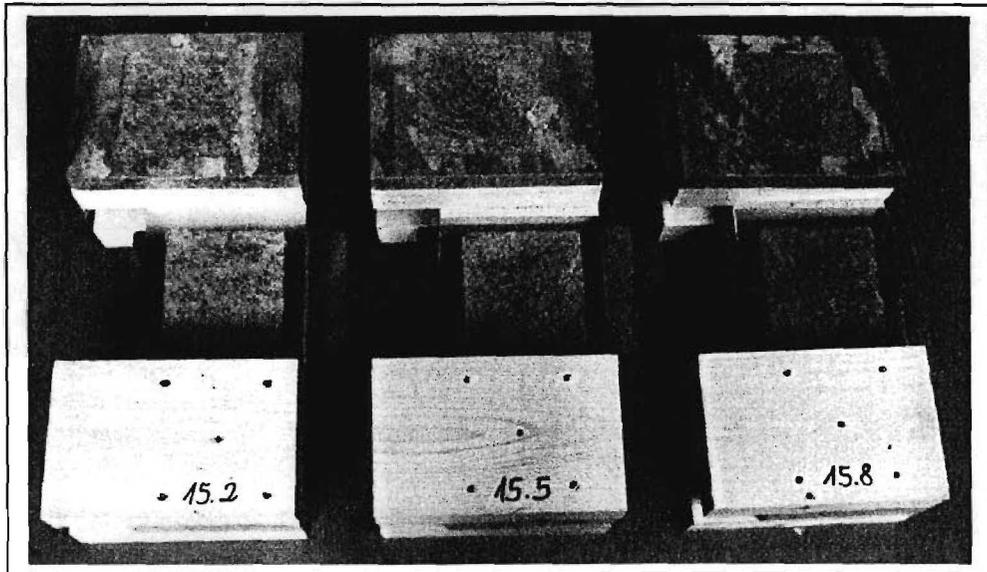
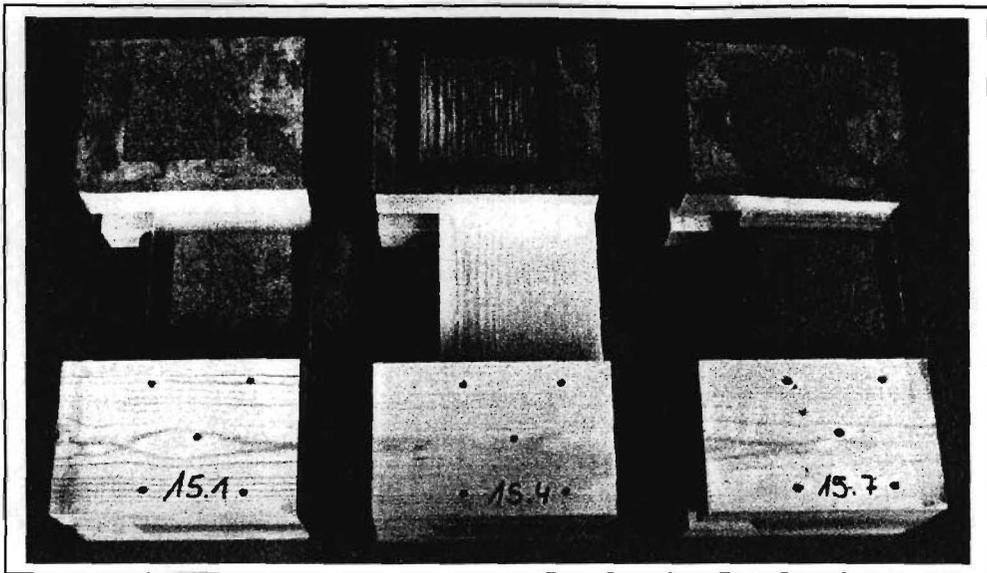


Abb. 25: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K3 - Plattentyp B1 - Fichtenholz"

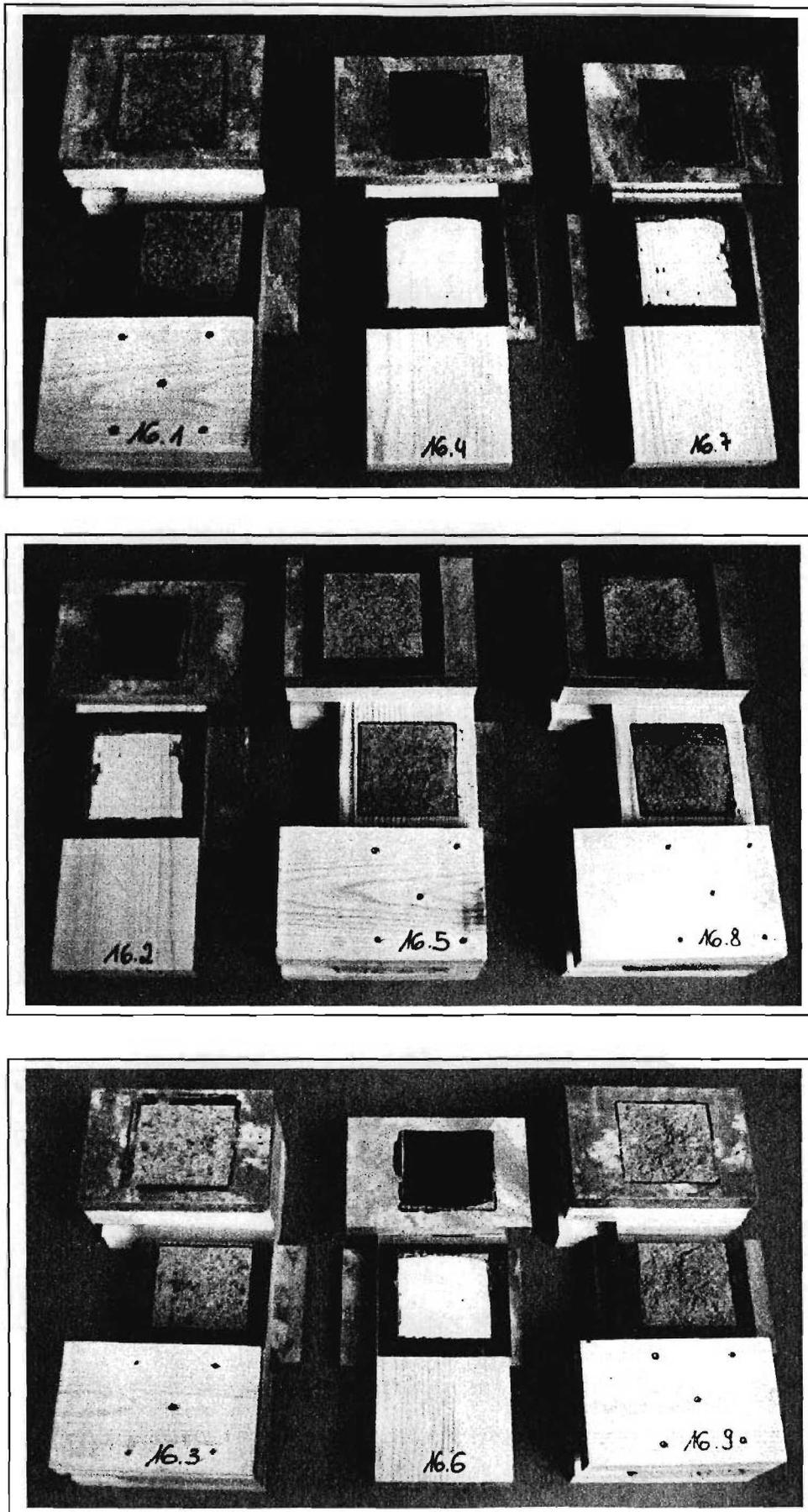


Abb. 26: Bruchbilder von Klebverbindungen "Klebstoff K4 - Plattentyp B1 - Fichtenholz"

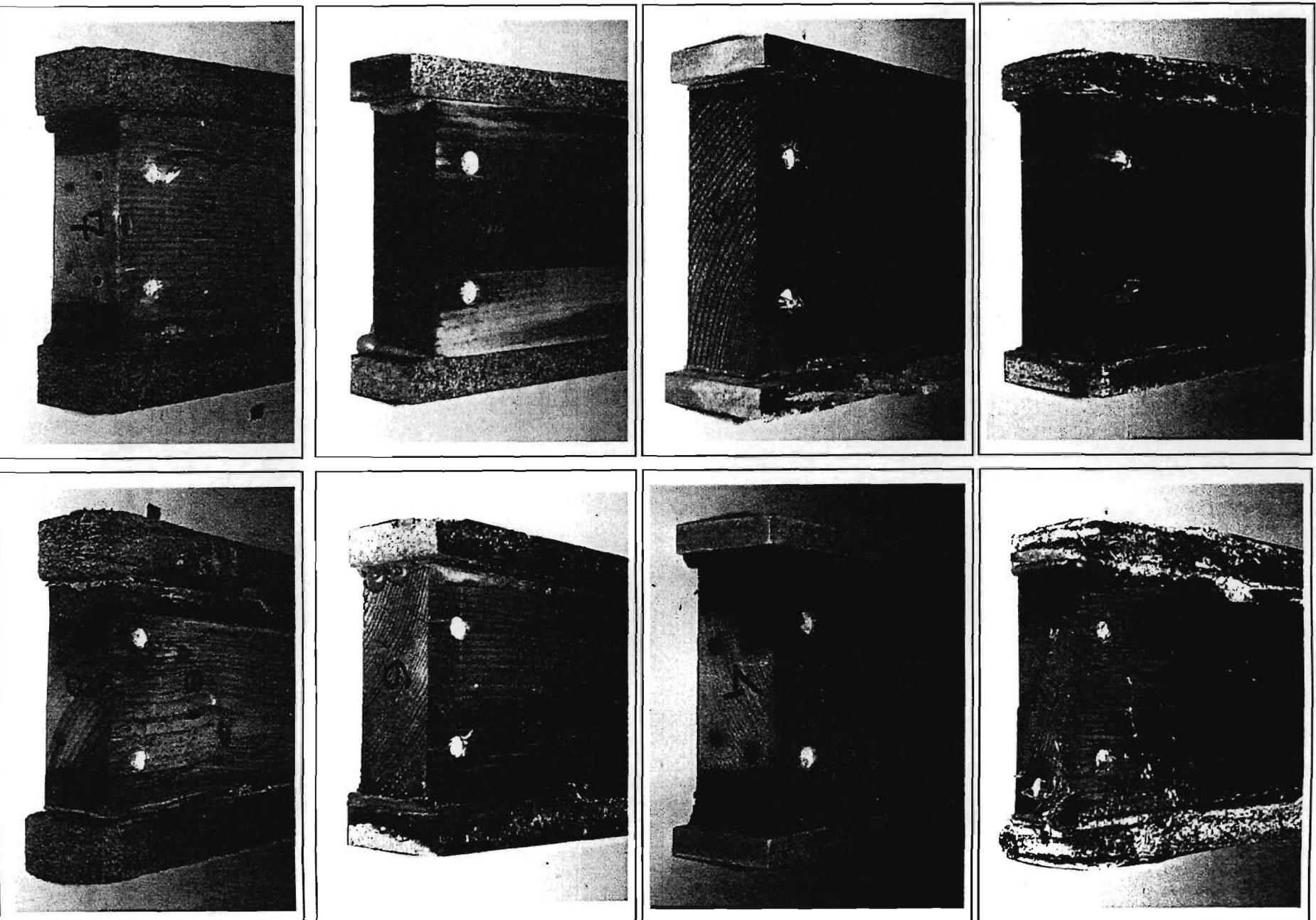


Abb. 36: Ansicht der Wandelement-Obergerüste nach 24jähriger Bewitterung unter Dauerlast

Wetterdaten vom Versuchsgelände des WKI: 13.09.1999 - 17.09.2000

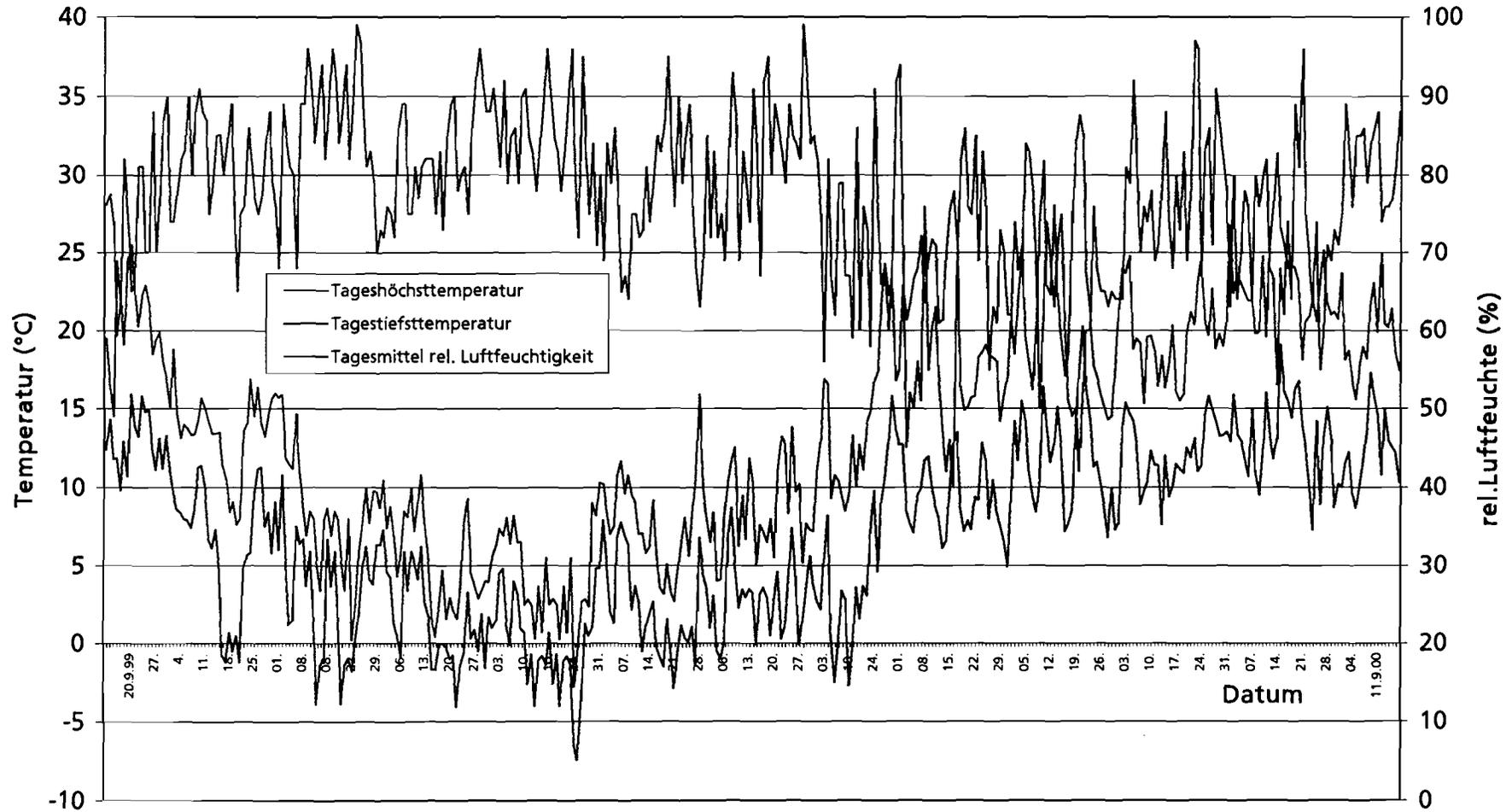
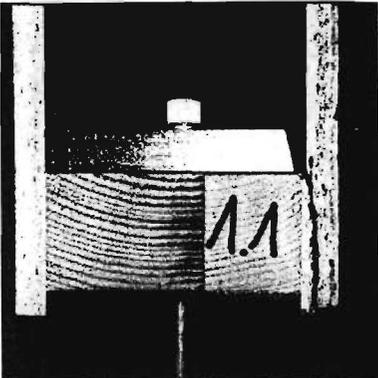
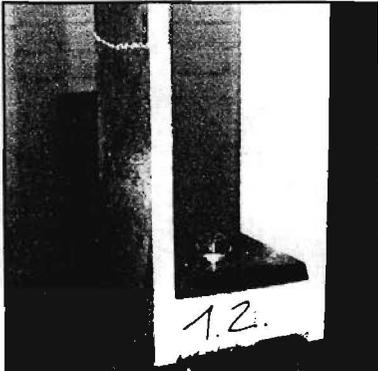
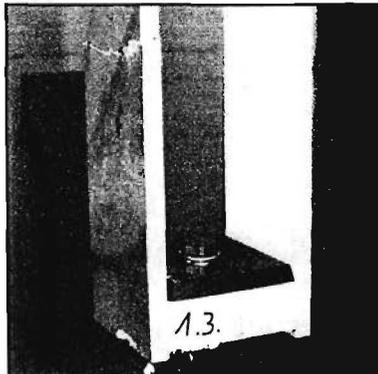
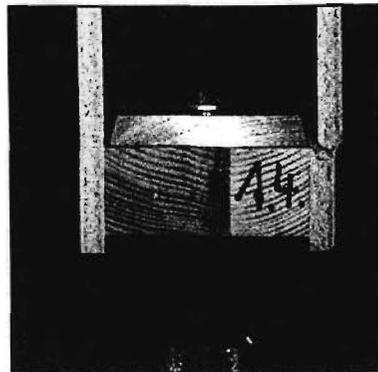


Tabelle 13: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 1

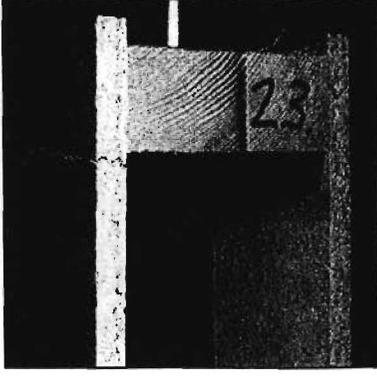
Plattentyp D (Gipsspanplatte) mit Klebstoff K5 (PVAc) auf Ständerwerk verleimt

Probe	F_{max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	4478	Platte mit Deckschichtriß		
2	5156	2 x 100 x 12,40 = 2480 (2 x Plattenquerschnitt)	2,08	
3	5367	2 x 100 x 12,22 = 2444 (2 x Plattenquerschnitt)	2,2	
4	6660	2 x 100 x 12,14 = 2428 (2 x Plattenquerschnitt)	2,74	

Plattenfeuchte bei Prüfung: 20,4% (1,8% bei 40°C)
Holzfeuchte bei Prüfung: 14,2%

Tabelle 14: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 2

Plattentyp D (Gipsspanplatte) mit Klebstoff K2 (PU) auf Ständerwerk verleimt

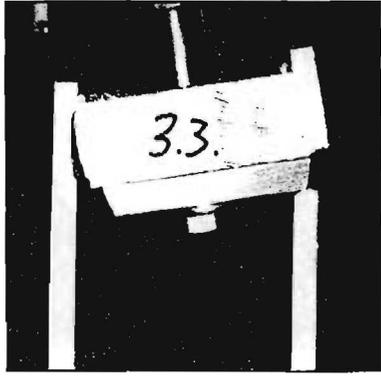
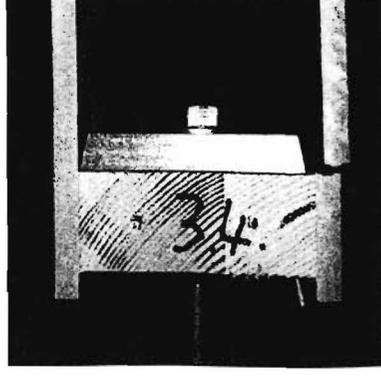
Probe	F_{\max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	1019	Platte mit Deckschichtriß		
2	2200	Platte mit Deckschichtriß		
3	2974	2 x 100 x 12,24 = 2448 (2 x Plattenquerschnitt)	1,21	
4		Probe defekt		

Plattenfeuchte bei Prüfung: 20,6 (1,8% bei 40°C)

Holzfeuchte bei Prüfung: 14,5%

Tabelle 15: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 3

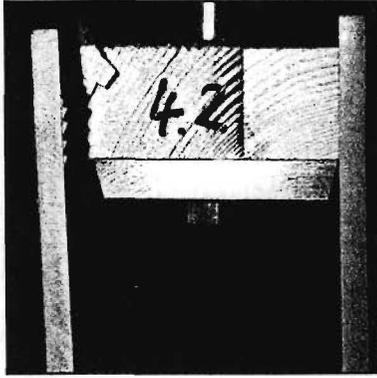
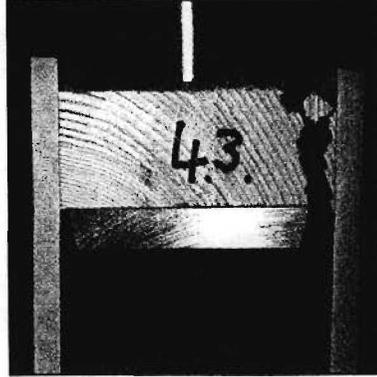
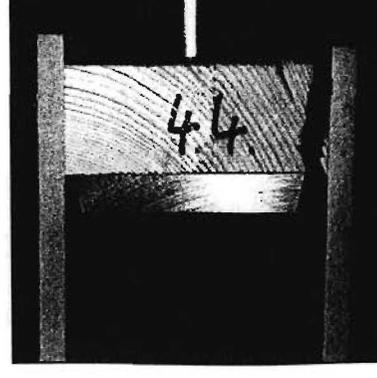
Plattentyp E (Zemantfaserplatte) mit Klebstoff K2 (PU) auf Ständerwerk verleimt

Probe	F_{\max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	1507	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	0,19 Bruch in Plattendeckschicht	
2	9096	2 x 100 x 10,91 = 2182 (2 x Plattenquerschnitt)	4,17	
3	9382	2 x 100 x 10,89 = 2178 (2 x Plattenquerschnitt)	4,32	
4	8837	2 x 100 x 10,88 = 2176 (2 x Plattenquerschnitt)	4,06	

Plattenfeuchte bei Prüfung: 4,5%
Holzfeuchte bei Prüfung: 12,9%

Tabelle 16: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 4

Plattentyp E (Zementfaserplatte) mit Klebstoff K1 (PU) auf Ständerwerk verleimt

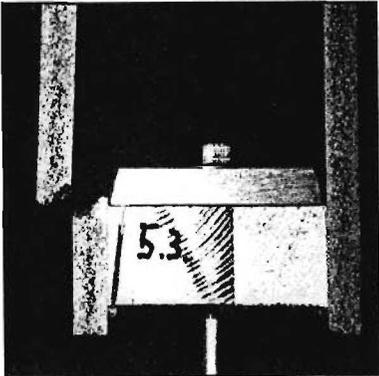
Probe	F_{\max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	9136	2 x 100 x 10,97 = 2194 (2 x Plattenquerschnitt)	4,16	
2	9155	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	1,14	
3	9777	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	1,22	
4	9197	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	1,15	

Plattenfeuchte bei Prüfung: 4,4%

Holzfeuchte bei Prüfung: 12,7%

Tabelle 17 : Festigkeiten des Wandelementes Nr. 5

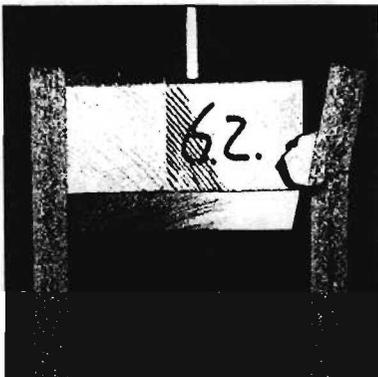
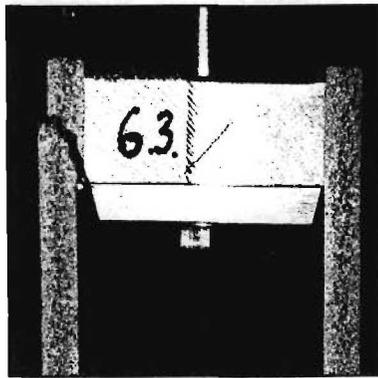
Plattentyp C (16 mm Zementspanplatte) mit Klebstoff K2 (PU) auf Ständerwerk verleimt

Probe	F_{max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	6816	2 x 100 x 16,1 = 3220 (2 x Plattenquerschnitt)	2,12	
2	9282	2 x 100 x 16,62 = 3324 (2 x Plattenquerschnitt)	2,79	
3	9307	2 x 100 x 16,64 = 3328 (2 x Plattenquerschnitt)	2,8	
4	8987	2 x 100 x 15,85 = 3170 (2 x Plattenquerschnitt)	2,84	

Plattenfeuchte bei Prüfung: 10,0%
Holzfeuchte bei Prüfung: 12,3%

Tabelle 18: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 6

Plattentyp C (16 mm Zementspanplatte) mit Klebstoff K1 (PU) auf Ständerwerk verleimt

Probe	F _{max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	8263	2 x 100 x 15,95 = 3190 (2 x Plattenquerschnitt)	2,59	
2	8445	2 x 100 x 16,23 = 3246 (2 x Plattenquerschnitt)	2,60	
3	7624	2 x 100 x 15,99 = 3198 (2 x Plattenquerschnitt)	2,38	
4	7720	2 x 100 x 16,17 = 3234 (2 x Plattenquerschnitt)	2,39	

Plattenfeuchte bei Prüfung: 11,2%
Holzfeuchte bei Prüfung: 12,9%

Tabelle 19: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 7

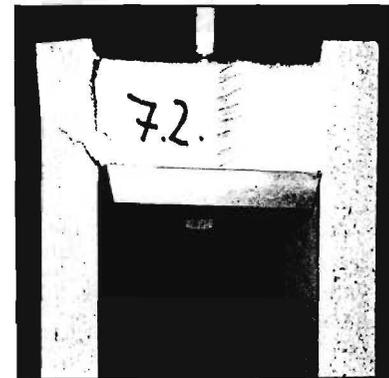
Plattentyp B1 (25 mm Zementspanplatte) mit Klebstoff K1 (PU) auf Ständerwerk verleimt

Probe	F_{\max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
-------	-------------------	------------------------------------	---	----------------------------

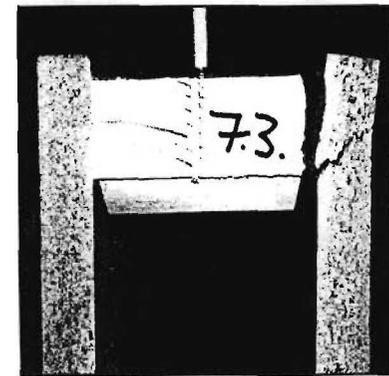
1 8466



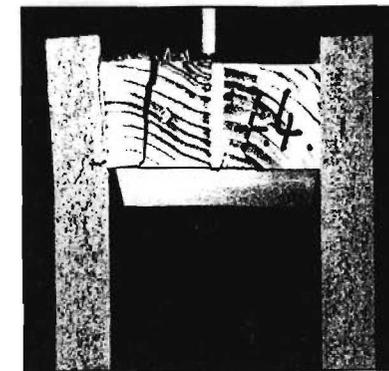
2 9597



3 9779



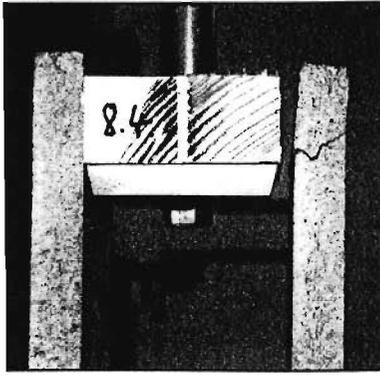
4 10013



Plattenfeuchte bei Prüfung: 13,5%
Holzfeuchte bei Prüfung: 13,3%

Tabelle 20: Festigkeiten des Wandelementes Nr. 8

Plattentyp B1 (25 mm Zementspanplatte) mit Klebstoff K3 (EP) auf Ständerwerk verleimt

Probe	F_{\max} (N)	Bezugsfläche (mm ²)	Scher- bzw. Zug- festigkeit (N/mm ²)	Ansicht der Bruchstelle
1	10043	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	1,26	
2	9169	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	1,15	
3	1289	Probe defekt		
4	9258	2 x 100 x 40 = 8000 (2 x verleimte Fläche)	1,16	

Plattenfeuchte bei Prüfung: 13,3%

Holzfeuchte bei Prüfung: 12,9%