Untersuchung von Holzwerkstoff-Verbunden zur Verbesserung der Formstabilität von Innentüren

- **Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH - ihd -**
  Verantwortlich : Herr Dipl. Ing. Uwe Jensen

- **Spanplattenwerk Gotha GmbH**
  Verantwortlich : Herr Dipl. Ing. Hubertus Flötotto

- Bearbeitungszeitraum : 11/1995 - 11/1998

- Förderinstitution : Arbeitsgemeinschaft industr. Forschungsvereinigungen - AiF -

Untersuchung von Holzwerkstoff-Verbunden zur Verbesserung der Formstabilität von Innentüren

1. **Ausgangssituation**

2. **Aufgabenstellung**

3. **Grundlagen des Versuchs**

   3.1 Genereller Ablauf

   3.2 Untersuchte Werkstoffe

   3.2.1 Einlagen-Werkstoffe

   3.2.2 Deckplatten-Werkstoffe

   3.2.3 Rahmen-Werkstoffe

   3.3 Auswahl des Differenz-Klimas

   3.3.1 Feuchtegradient
   3.3.2 Temperaturgradient
   3.3.3 Feuchte-Temperaturgradient

   3.4 Einwirkungsdauer

   3.4.1 Rest-Formänderung

4. **Ablauf der Untersuchung**

   4.1 Labortechnisch hergestellte Verbundelemente

   4.1.1 Flächen-Elemente
   4.1.2 Rahmen-Elemente

   4.2 Industriell hergestellte Türblätter

   4.2.1 Auswahl der Varianten
   4.2.2 Türen-Herstellung
   4.2.3 Wechselklima / Differenzklima
   4.2.4 Einbau in die Prüfkammer
   4.2.5 Meßwert-Erfassung
   4.2.6 Auswertung

5. Ergebnisse

5.1 Flächen- und Rahmen-Elemente

5.1.1 Einfluß der Einlagen
5.1.2 Einfluß der Deckplatten
- Vergleich : HDF - Dünnspan
- Dünnspan 1 - Dünnspan 2
- Diffusionsdichte Deckplatten aus HDF mit Alu-Verstärkung

5.1.3 Einfluß des Rahmenholzes

5.2 Industriell hergestellte Türblätter

5.2.1 Einfluß der Einlagen
5.2.2 Einfluß der Deckplatten
5.2.3 Einfluß der Rahmen
5.2.4 Einfluß der Lackbeschichtung

6. Schlußfolgerungen

6.1 Einlagen
6.2 Deckplatten
6.3 Rahmenholz
6.4 Bewertung des Untersuchungsablaufes
6.5 Zukünftige Untersuchungsschwerpunkte

7. Literatur

Untersuchungen von Holzwerkstoff-Verbunden zur Verbesserung der Formstabilität von Innentüren

1. Ausgangssituation

Innentüren - und insbesondere Wohnungsabschlußtüren - sind als Raumtrenn- und Verschlußelemente häufig wechselnden oder unsymmetrischen Bedingungen der Umgebungsklimate ausgesetzt, so z.B. bei Trennung beheizter von unbeheizten Räumen oder trockeneren von feuchteren Räumen.

Bei differenzierten Umgebungsklimaten bilden sich Feuchtegradienten über den Querschnitt des Türblattes aus, die zu Quell- und Schwindbewegungen sowie veränderten Elastizitätskonstanten führen. In deren Folge entstehen Spannungsungleichgewichte und damit Formänderungen. Diese Formänderungen sind unerwünscht. Zur Gewährleistung der Qualität und Funktionen hinsichtlich Raumabschluß, Schließbarkeit, Schall- und Wärmedämmung von Türen müssen die eingesetzten Holzwerkstoff-Verbunde eine hohe Formstabilität aufweisen.

Für den Werkstoffeinsatz beim konstruktiven Aufbau von Türblättern liegen seit langem vielfältige Erfahrungen vor, die aber zum Teil empirischen Charakter tragen und nicht durch ausreichende Untersuchungen untermauert sind.

Ein wesentlicher Anteil der Innentüren wird mit Einlagen aus Strangpreß-Spanplatten gefertigt.

Strangpreß-Spanplatten mit ihrer hohen Dickenpräzision lassen sich als Vollplatten oder Röhrenplatten in vollflächiger oder in Streifen aufgetrennter Form ideal für den Holzwerkstoffverbund „Türblatt“ einsetzen.
- Einerseits weisen Vollplatten als einfache und besonders als mehrfache Lagen sehr gute schalldämmende Eigenschaften auf.
- Andererseits ermöglichen Röhrenplatten leichte, stabile Konstruktionen.
- Darüber hinaus ist es möglich, Röhrenplatten-Streifen auf Abstand gelegt zu besonders leichten, stabilen und preisgünstigen Türen zu verarbeiten.

Durch Auswahl des Einlagen-, Rahmen- und Deckplattenwerkstoffe sowie verschiedenartiger Bindesysteme und Beschichtungsvarianten besteht eine Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffkombinationen.

Bei der Verwendung von Streifen aus stranggepreßten Röhrenspanplatten und insbesondere von Papierwaben als Einlagenmaterial haben Rahmen und Rahmenverstärker als stabilisierende Elemente besonders große Bedeutung.

2. Aufgabenstellung

Durch die Wahl der Werkstoffe und ihre geeignete Kombination können mit Werkstoff-verbunden Eigenschaften und Gebrauchsnormen erfüllt werden, die jeder der beteiligten Werkstoffe für sich nicht erreichen würde.

Das Ziel der Untersuchung bestand darin, durch praxisgerechte Labor- und großtechnische Untersuchungen Innentüren durch Werkstoffkombinationen anwendungsbezogen zu optimieren.

Die Ergebnisse sollen die Werkstoffauswahl hinsichtlich Rahmen-, Einlagen- und Deckplatten-Werkstoff unterstützen.

3. Grundlagen zur Durchführung

3.1 Genereller Ablauf

Die Untersuchung gliederte sich in 2 Abschnitte (Bild 3.1) :
- **Laborversuch** : die Untersuchung möglichst vieler Varianten von Werkstoffkombinationen
- **Großversuch** : die Herstellung und Untersuchung kompletter Türblätter zur Bestätigung der im Labor gewonnenen Erkenntnisse

3.2 Untersuchte Werkstoffe

Die untersuchten Werkstoffe sind in der Türenindustrie gebräuchliche, bezüglich der Qualität nicht besonders ausgewählte Materialien (Bild 3.2).

Die Verarbeitung des Massivholzes und der Holzwerkstoffe erfolgte entsprechend der Praxis mit Feuchtegehalten annähernd im Anlieferungszustand.

Es wurde versucht, die Lager- und Einsatzbedingungen über den ganzen Versuchsablauf möglichst konstant zu halten.

Die Dicke der Einlagen und Rahmen betrug 32 mm, die Dicke der Deckplatten war 3 mm (aluminiumverstärkte HDF 4,5 mm).

3.2.1 Einlagen-Werkstoffe

Bild 3.2-1 zeigt die eingesetzten Einlagen-Werkstoffe.

Die stranggepreßten Einlagen haben eine herstellungsbedingte Richtungsdifferenzierung der elastomechanischen Eigenschaften, die sich für die einzelnen Plattenarten deutlich unterscheiden. Die durch das Strangpreß-Prinzip erzeugte Orientierung der Späne bewirkt ein unterschiedliches Quell- und Schwindverhalten in den Hauptachsen der Plattenebene.

- Die Preßbreite des Plattenstranges während der Herstellung entspricht der späteren Türhöhe. Hier treten minimale Quell- und Schwindbewegungen auf.
  Sie wird deshalb in dieser Untersuchung Vorzugsrichtung (Kennzeichnung ll) genannt.
- Die Preßlänge entspricht der späteren Türbreite (Kennzeichnung $\underline{\ |\ }$).
  Hier sind die Quell- und Schwindbewegungen größer, aber das Ausgangsmaß kleiner.

Bei Einlagen-Werkstoffen mit weitgehend ausgeglichener Struktur in Plattenebene wie bei flachgepreßten Spanplatten oder Wabe-Einlagen tritt eine richtungsbezogene Differenzierung der Quell- und Schwindbewegungen nicht bzw. nur in sehr geringem Maße auf.

Auch beim E-Modul wird die Richtsungsdifferenzierung deutlich. Der E-Modul der Einlagen-Werkstoffe hat aber auf die Steifigkeit der Tür einen untergeordneten Einfluß, da die außen liegenden Deckplatten das Widerstandsmoment des Verbundes entscheidend beeinflussen.

3.2.2 Deckplatten-Werkstoffe

Die Varianten der eingesetzten Deckplatten-Werkstoffe und ihre physikalisch-mechanischen Eigenschaften sind Bild 3.2.2 zu entnehmen.

HAFA hat gegenüber HDF bei höherer Rohdichte deutlich bessere elastomechanische Eigenschaften.

Die zusätzliche Aluminium-Einlage reduziert die Längenänderung der HDF sehr stark.

3.2.3 Rahmen-Werkstoffe

Für die Rahmen wurden Werkstoffe entsprechend Bild 3.2.3 ausgewählt.

3.3 Auswahl des Differenz-Klimas

Ziel der Untersuchung war es, die unterschiedlichen Einflüsse der Werkstoffe mit einer deutlichen Differenzierung nachzuweisen. Deshalb mußten bei den Laborprüfungen Klimabedingungen gewählt werden, die stärkere Belastungen hervorrufen als in der späteren Praxis anzutreffen sind (Bild 3.3).

Die Prüfung der industriell hergestellten Türblätter sollte unter zwar scharfen, jedoch wesentlich praxisnäheren Bedingungen als bei den Modell-Elementen erfolgen.

3.3.1 Feuchtegradient

Das Differenzklima mit einem Feuchtegradienten 20°C/35% rLF zu 20°C/85% rLF führte zu der deutlich höchsten Belastung der Prüfelemente. Deshalb wurde es für die Untersuchung der Flächen- und Rahmenelemente verwendet.

3.3.2 Temperaturgradient

Das Differenzklima mit einem Temperaturgradienten 20°C/50%rLF zu 30°C/50% rLF zeigte für diese Untersuchung zu geringe Verformungen der Prüfkörper.
Die Ausgleichsfeuchte aller beteiligten Werkstoffe wird durch Temperturänderungen nicht wesentlich beeinflußt und deshalb ergeben sich auch nur geringe Formänderungen.

Bei diffusionsdichter Deckfläche führte jedoch die Verschiebung des Feuchteprofils zur kalten Seite zu Formänderungen. Deshalb wurde bei diesen Deckplatten der Temperaturgradient angewandt.

3.3.3 Feuchte-Temperaturgradient

Die kompletten Türblätter wurden mit einem kombinierten Feuchte-Temperaturgradienten nach DIN EN 79 (Klimastufe III) geprüft. Diese kombinierte Beanspruchung kommt der Praxis am nächsten.

3.4 Einwirkungsdauer

Ziel der Untersuchung war es, möglichst viele Werkstoff-Kombinationen zu überprüfen und die Ergebnisse mit einer ausreichenden statistischen Sicherheit zu versehen. Das führte zu einer großen Anzahl von Prüfvorgängen. Um diese Vielzahl an Prüfungen in akzeptabler Zeit durchführen zu können, mußte die Prüfdauer jeder Prüfung begrenzt werden.

Als maßgeblicher Kennwert der Formänderung ist daher der Wert nach der jeweils geplanten Einwirkungsdauer (96 bzw. 144 h) anzusehen. Zu diesem Zeitpunkt zeigten die Formänderungskurven zum Teil jedoch noch keinen asymptotischen Verlauf. Deshalb wurde mit Hilfe einer Hochrechnung auf den weiteren Formänderungsverlauf auf Basis der Restformänderungsgeschwindigkeit bis zu einer angenommenen Verdoppelung der Prüfdauer geschlossen.

Die einzelnen Varianten zeigten deutlich unterschiedliche Restformänderungsgeschwindigkeiten. Deshalb wurden auch unterschiedliche Restformänderungen zum gemessenen Verformungswert addiert (Bild 3.4).

Damit klimabedingte Feuchtetransporte möglichst schnell ablaufen, wurden bei dem Laborversuch nur unbeschichtete Elemente untersucht.

4. Ablauf der Untersuchung

4.1 Labortechnisch hergestellte Verbundelemente

Die labortechnische Herstellung der Elemente erfolgte im ihd in Anlehnung an industrieübliche Bedingungen. Die Prüfung in der Doppelklima-Prüfkammer des ihd folgte in einer von Jensen und Kehr (1995) entwickelten Methode.

In die Öffnungen einer Prüfwand (Bild 4.1) wurden mehrere Prüfkörper eingesetzt, so daß möglichst viele Prüfkörper des Versuchsprogrammes in einer Belegung geprüft werden konnten. Die freie Beweglichkeit der Prüfkörper in der Wand wurde mit der Flexibilität eines abdichtenden, geschlossenzelligen Schaumstoffes erreicht.

4.1.1 Flächen-Elemente

Es wurden 17 Kombinationen von Einlage- und Deckflächen-Werkstoffen entsprechend des Versuchsplanes (Bild 4.1.1-1) untersucht.

Der Aufbau der Elemente (Bild 4.1.1-2) wurde so gewählt, daß sich mehrschichtige Einlagen zueinander verschieben konnten, die Formänderung des Elements jedoch zu einer gemeinsamen Bewegung führte. Aus diesem Grunde wurden die drei Einlagen mit mittig versetzten Leimpunkten (Weißleim) verklebt.

Nach einer Vorklimatisierung erfolgte die 96 h dauernde Einwirkung des Feuchtegradienten.

Die Formänderungen wurden mit einem quadratischen Meßrahmen mit einem 9-Punkte-Meßnetz erfaßt und auf den vorklimatisieren Ausgangszustand bezogen.

4.1.2 Rahmen-Elemente

Es wurden 12 Varianten entsprechend Versuchsplan (Bild 4.1.2) geprüft.

Je nach Werkstoff wurden die Rahmen-Elemente aus Platten bzw. aus mehreren Riegeln zusammengesetzt.

Nach einer Vorklimatisierung erfolgte die Einwirkung des Feuchtegradienten über 240 h.

Für die Erfassung der Formänderung diente ein Meßuhr-Lineal mit 450 mm Stützweite und mittig angeordneter Meßuhr.

4.2 Industriell hergestellte Türblätter

4.2.1 Auswahl der Varianten

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse aus den Untersuchungen der Einlagen- und Rahmen-Elemente im Laborversuch wurden 10-Varianten ausgewählt und insgesamt 46 Türblätter industriell hergestellt (Bild 4.2.1).

4.2.2 Türen-Herstellung

Je Variante wurden 6 Türblätter mit den Abmessungen 1985 x 860 x 39 mm in einem Türenwerk hergestellt. Für die Türblatt-Konstruktionen wurden Rahmen- und Rahmenverstärker aus dem gleichen Werkstoff verwendet (Bild.4.2.2).

4.2.3 Wechselklima/Differenzklima

Während der Vorklimatisierung durchliefen die freistehenden Türblätter einen Zyklus von allseitig einwirkenden Klimata (Bild 4.2.3) :

- Normalklima - Feuchtklima - Trockenklima - Normalklima
- Dauer : 7 Tage je Klimastufe

Die vorklimatisierten Türblätter wurden anschließend dem Differenzklima 3°C/ 80% rLF : 23°C/30% rLF gemäß DIN EN 79, Klimakategorie III unterzogen.
Die Prüfdauer im Differenzklima betrug 7 Tage.

4.2.4 Einbau in die Prüfkammer

Die Prüfung der Formstabilität an den Original-Türblättern erfolgte auf dem Klima-Prüfstand des Service-Centers der Spanplattenwerk Gotha GmbH unter Mitwirkung des ihd.

Die Türblätter wurden in Stahlrahmen eingehängt und am Falz sowie an ihrer Unterkante so abgedichtet, daß ein Luftaustausch zwischen den beidseitigen Klimata auch bei zunehmender Verformung weitestgehend ausgeschlossen war.

Der Doppelklima-Prüfraum wurde je Durchgang mit 7 Türblättern bestückt (Bild 4.2.4).

4.2.5 Meßwert-Erfassung

Als Bezugsgröße zur Ermittlung der Formänderung wurden die Türblätter zum Abschluß der Wechselklimaeinwirkung im entspannten Zustand vermessen.

Unmittelbar nach dem Einbau der Türen erfolgte eine erste Zwischenmessung. Anschließend wurden die Meßwerte nach 4 h und weiter während einer Woche täglich erfaßt und in einem Prüfprotokoll festgehalten.

Um eine Störung des Differenz-Klimas zu verhindern, konnte während des Prüfzeitraumes die Verformung der Türblätter nur im eingebauten Zustand erfaßt werden. Dies führte jedoch zu Verspannungen mit der Türzarge und damit zu einer Behinderung auch der Formänderungen.

Nach dem Ausbau der Türblätter kam es wegen der nun freien Bewegungsmöglichkeit zu einer sprunghaften Formänderung, die separat im Protokoll erfaßt wurde.

Für alle Messungen wurde ein Meßrahmen in Türabmessung mit 12 Wegaufnehmern verwendet (Bild 4.2.5-1 und 4.2.5-2).

4.2.6 Auswertung

Die Auswertung der Meßwerte erfolgte mit einem speziell entwickelten Software-Programm.

Je Türblatt wurde ein Prüfprotokoll erstellt, das die aufgenommenen Meßwerte und deren Auswertung (Bild 4.2.6-2) nach jeweils 3 Längs- und Querlinien enthält, die wiederum zu einem Mittelwert zusammengefaßt wurden.

Die typische Richtungsdifferenzierung der stranggepreßten Werkstoffe konnte auch bei den Türblättern festgestellt werden.

An den oberen und unteren Quermeßlinien traten sehr geringe Verformungswerte auf, da hier der Einfluß der eingesetzten Rahmenwerkstoffe den der Einlage deutlich überlagert. Die Querverformungen wirken sich auf das Gesamtergebnis entsprechend DIN EN 24 nur unwesentlich aus. Deshalb erfolgte die Bewertung der Formänderung ausschließlich über den Mittelwert der drei Längsmeßlinien.

Der Formänderungs-Kennwert FK1 gibt die freien Längs-Verformungen an, die zwischen Abschluß des Wechselklimas, der Differenzklimaeinwirkung und dem anschließenden Ausbau am Türblatt eingetreten sind (Bild 4.2.6-3).

Der Kennwert FK2 – beschreibt die Formänderung während des eingebauten (eingespannten) Zustandes des Türblattes. Da dieser Zustand für die praktische Anwendung nicht relevant ist, wurde er nur informativ ausgewiesen.

5. Ergebnisse

5.1 Flächen- und Rahmen-Elemente

5.1.1 Einfluß der Einlagen

Bild 5.1.1-1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Prüfung der Varianten mit HDF-Deckplatten.

Die Röhrenspanplatte RK 1 und Vollspanplatte VL(1) bzw. VL(3) führte bei einheitlichen Deckplatten zu kleineren Formänderungen als die anderen Einlagen.

Die Richtungsdifferenzierung der stranggepreßten Werkstoffe wird deutlich. Für die spätere Gebrauchsfunktion sind - wie oben erwähnt - nur die Werte in Vorzugsrichtung (ll) heranzuziehen.

Die flachgepreßten Werkstoffe B-500 und M-350 zeigten erwartungsgemäß nur geringe Richtungsunterschiede.

Die Streifen-Einlage RZ ergab gegenüber Waben-Einlage deutlich bessere Werte.

Flächen-Elemente mit Waben-Einlagen führten zu den höchsten Formänderungen. Die Kurven beider Richtungen waren deckungsgleich, da die Wabe keinerlei Einfluß auf die Formänderungsvorgänge nimmt.

Bild 5.1.1-2 stellt die Ergebnisse in Vorzugsrichtung aller untersuchten Kombinationen der Flächen-Elemente in Rangfolge gegenüber. Der Einfluß der Einlagen bei gleicher Deckplatte HDF wird in Bild 5.1.1-3 erkennbar.

5.1.2 Einfluß der Deckplatten

Eine maßgebliche Bedeutung für die Formstabilität kommt dem Deckplatten-Werkstoff zu, da dieser mit dem einwirkenden Klima mehr oder weniger direkt in Kontakt steht.

a) Vergleich : HDF - DSP

Zwischen HDF und DSP ergaben sich unabhängig vom Einlagenwerkstoff deutlich unterschiedliche Ergebnisse zu Gunsten HDF (Bild 5.1.1-3). Die Ursache scheint bei vergleichbarer Rohdichte beider Werkstoffe, in den erheblichen Unterschieden des elastomechanischen Verhaltens zu liegen.

b) Vergleich : DSP1 - DSP2

Bei Vergleich von zwei DSP verschiedener Hersteller ergaben sich differierende Ergebnisse (Bild 5.1.2-1).

Die elastomechanischen Werte der Varianten wichen besonders im E-Modul und der Quellung voneinander ab (vgl. Bild 3.2.2). Grund hierfür scheint bei fast identischer Plattenrohdichte das unterschiedliche Rohdichte-Profil zu sein.

c) Diffusionsdichte Deckplatten aus HDF mit Alu-Verstärkung

Formänderungsniveau und -verlauf unterschieden sich bei Verbund-Varianten mit diffusionsdichten Deckflächen aus HDF mit Alu-Einlage grundsätzlich von Varianten, deren Deckflächen diffusionsoffen sind (Bild 5.1.2-2).

Dabei reagiert das Formänderungsverhalten auf ein Differenzklima nur mit Feuchtegradient in der Anfangsphase anders als auf den kombinierten Feuchte-Temperaturgradienten (Bild 5.1.2 unten) :
- der Feuchtegradient führt sofort zu einer geringen positiven Verformung
- der kombinierte Gradient erzeugt zuerst eine negative Verformung, die sich jedoch in eine positive Verformung umkehrt und die Werte des Feuchtegradienten geringfügig übersteigt.

Dabei scheinen folgende Faktoren von Bedeutung zu sein:

- Das dünne Aluminium-Blech hat eine stark stabilisierende Wirkung auf das Türblatt.
- Diffusionsdichte Deckflächen schirmen einen Feuchteaustausch mit dem Inneren des Verbundes ab. Die Verformungen werden nur durch die HDF-Außenlagen verursacht. Sie sind vergleichsweise klein und erreichen nach dem Einwirken ungefähr 0,4-0,5 mm/m.
- Der Temperaturunterschied führt auf beiden Seiten zu wärmebedingten Dehn- und Schrumpfbewegungen des Aluminiums. Das nur durch die dünne Hartfaserschicht isolierte Aluminium dehnt sich auf der warmen Seite rasch aus und führt daher zu einer negativen Verformung von ca. 0,5 mm/m.
- Im späteren Verlauf verschiebt der Temperaturunterschied das Feuchteprofil über den Platten-Querschnitt zur kalten Seite. Die daraus resultierenden Quellkräfte der HDF führen zur Gegenbewegung.

Mit HDF-Alu-Deckplatten sind daher gute Ergebnisse der Formstabilität zu erreichen (Jensen,1998).

5.1.3 Einfluß des Rahmenholzes

Der Vergleich der Rahmen-Werkstoffe zeigte die großen Vorteile von INTRALLAM und MULTIPLEX gegenüber Massivholz (Bild 5.1.3-1).

Die Ergebnisse aller Varianten sind Bild 5.1.3-2 zu entnehmen.

Sowohl Fichte als auch Limba wiesen eine relativ hohe Restformänderung auf. Dadurch wurde eine Gesamt-Formänderung erreicht, die größer als bei allen anderen Rahmen-Werkstoffen war (Bild 5.1.3-3).

Entscheidend scheint das Vermögen des Rahmen-Werkstoffs zu sein, die durch den Feuchtetransport ausgelösten Quell- und Schwindvorgänge der Deckflächen abzufangen sowie auf die eigenen Feuchteveränderungen zu reagieren. Deshalb sind die feuchtebedingten Längenänderungen und der Biege-E-Modul maßgebliche Eigenschaften für die Rahmen-Werkstoffe (Bild 5.1.3-4).

5.2 Industriell hergestellte Türblätter

Die Formänderungskennwerte FK1 der industriell hergestellten Türblätter sind in Bild 5.2-1 dargestellt.

Die Anteile beider Komponenten am FK 1 aus dem Formzustand nach Abschluß der Wechselklimabeanspruchung und aus dem Formzustand nach Abschluß des Differenzklimas sind in Bild 5.2-2 zu erkennen.

Um die Ergebnisse besser zu veranschaulichen, wurden die Formänderungen der verschiedenen Türblätter auf die Türblatt-Variante mit den kleinsten Formänderungen bezogen.

5.2.1 Einfluß der Einlagen

Die 3 Varianten der stranggepreßten Einlagen waren den beiden flachgepreßten deutlich überlegen.

Mit der VL(3) Einlage wurde das beste Ergebnis erzielt. Offensichtlich ermöglichen die nicht vollflächig verleimten Lagen Verschiebungsbewegungen, die zum Spannungsabbau führen.

Die flachgepreßten Einlagen ergaben deutlich höhere Verformungen. Besonders die leichte M-350 zeigte die höchsten Werte.

5.2.2 Einfluß der Deckplatten

HDF-Deckplatten erzielten um 20% bessere Ergebnisse als HAFA- Deckplatten.

5.2.3 Einfluß der Rahmen

Die Türblätter mit INTRALLAM- und MULTIPLEX-Rahmen zeigten etwa gleich niedrige Verformungswerte, während Türblätter mit MDF-Rahmen zu höheren Werten führten.

5.2.4 Einfluß der Lackbeschichtung

Die Auswirkung der Lackbeschichtung auf die Formstabilität wurde unter dem Gesichtspunkt der während der Klimaeinwirkung erfolgten Masseänderungen betrachtet (Bild 5.2.4).

Aufgrund der diffusionshemmenden Wirkung der Lackbeschichtung führten die wechselnden Klimate bei den Türblatt-Varianten mit Beschichtung zu vergleichsweise geringeren Masseänderungen gegenüber den unbeschichteten Türblättern (Bild 5.2-3).

Trotz abschirmender Wirkung der Lackschicht konnte im Vergleich zu unbeschichteten Türblättern keine bzw. nur eine geringfügige Reduzierung der Formänderungen erreicht werden. Dies ist auf die Einwirkung des Temperaturgradienten 3°C : 23°C bei der Prüfung nach Klimakategorie III zurückzuführen, bei der eine temperaturbedingte Verschiebung des Feuchteprofils ins Türblattinnere erfolgt.

6. Schlußfolgerungen

Aus den gewonnenen Ergebnissen der labor- und großtechnisch durchgeführten Versuche lassen sich folgende Aussagen für die Formstabilität von Innentüren ableiten:

6.1 Einlagen

- Stranggepreßte Einlagen-Werkstoffe erwiesen sich gegenüber flachgepreßten überlegen.
- Die dreilagige Strangpreß-Vollplatte erwies sich als beste Variante.
- Die leichten Flachpreßplatten M-350 und B-500 zeigten die größten Verformungen der vollflächigen Einlagen.

6. 2 Deckplatten

- HDF-Platten erfüllten die Anforderungen besser als Dünnspanplatten.
- HDF-Platten im Trockenverfahren waren vorteilhafter als die im Naßverfahren hergestellten HAFA-Platten.
- Diffusionsdichte Deckflächen (Aluminiumeinlagen) ermöglichten höchste Formstabilität.
- Eine diffusionshemmende Lackbeschichtung erhöhte die Formstabilität nur geringfügig.

6.3 Rahmenholz

- INTRALLAM und MULTIPLEX waren hinsichtlich höherer Formstabilität den untersuchten Vollholzarten vorzuziehen.
- HVA- und MDF-Rahmen sind keine prädestinierten Komponenten für Klima-Türen. Bei richtiger Wahl der Deckplatten zeigten sie trotzdem ein besseres Verhalten als Limba und Fichte.

6.4 Bewertung des Untersuchungsablaufs

Es konnte nachgewiesen werden, daß die vergleichenden Ergebnisse der labormäßig untersuchten Modellelemente auf Original-Türblätter qualitativ übertragbar sind.

Durch die spezielle Gestaltung der Klimakammer des ihd ist es möglich, mit vertretbarem Aufwand viele Varianten zu testen.

6.5 Zukünftige Untersuchungsschwerpunkte

- Sandwich-Einlagen mit gleichen und verschiedenen Komponenten
- Einfluß der Einlagen-Rohdichte
- Verschiedene Deckplatten-Varianten
- Gleiche Deckplatten-Typen verschiedener Hersteller
- Neuentwickeltes Strangpreß-Rahmenholz HVB
- Hartholz-Rahmen

7. Literatur

- Jensen, U.; Kehr, E. 1995:
  Untersuchungen über das Stehvermögen von Spanplatten und MDF.
  Holz als Roh- und Werkstoff 53, 369-376
- Jensen, U. 1998:
  MDF und Alu im Verbund. Einfluß der Aluminiumverstärkung dünner MDF auf die Formstabilität von Holzwerkstoff-Verbunden für Innentüren.
  MDF-Magazin 1998, 64-68

Untersuchung von Holzwerkstoff-Verbunden zur Verbesserung der Formstabilität von Innentüren

- ABLAUF -

Flächenelemente

- Format : 500 x 500 mm
- 17 Werkstoffkombinationen
- Doppelklima-Prüfkammer im ihd
- Differenzklima-Prüfung mit Feuchte- und Feuchte-Temperaturgradient

Rahmenelemente

- Format : 100 x 500 mm
- 13 Werkstoffkombinationen
- Doppelklima-Prüfkammer im ihd
- Differenzklima-Prüfung mit Feuchtegradient

Original-Türblätter

1. Vorversuche

- Format : 860 x 1985 mm
- 2 Werkstoffkombinationen, Deckflächen unbeschichtet
- 4 Türblätter je Werkstoffkombination
- Klima-Prüfstand Spanplattenwerk Gotha GmbH
- Differenzklima-Prüfung mit Feuchte-Temperaturgradient

2. Hauptversuche

- Format : 860 x 1985 mm
- 8 Werkstoffkombinationen, Deckflächen unbeschichtet
- 2 Werkstoffkombinationen, Deckflächen lackbeschichtet
- 5 Türblätter je Werkstoffkombination unbeschichtet
- 3 Türblätter je Werkstoffkombination beschichtet
- 46 Türblätter Gesamt
- Klima-Prüfstand Spanplattenwerk Gotha GmbH
- kombinierte Wechselklima- und Differenzklima-Prüfung mit Feuchte-Temperaturgradient

Übersicht der eingesetzten Werkstoffe

Abkürzung	Erläuterung
Rahmenwerkstoffe	
FI	Fichte-Riegel
LMB	Limba-Riegel
HVA	Rahmenholz „Homogen“, stranggepreßt
MDF	MDF-Riegel in Hochkantlage
INT	INTRALLAM-Riegel in Hochkantlage
MULT	MULTIPLEX-Furniersperrholz-Riegel in Hochkantlage
Deckplattenwerkstoffe	
HDF	Hochverdichtete Faserplatte (Trockenverfahren)
HAFA	Hochverdichtete harte Faserplatte (Naßverfahren, Eucalyptus)
FU	Furnier-Sperrholz
DSP 1	Dünnspanplatte (Kalanderverfahren), Hersteller A
DSP 2	Dünnspanplatte (Kalanderverfahren), Hersteller B
HDF+Alu	Verbund-HDF mit mittig 0,5 mm dicker Aluminiumblech-Einlage
Einlagenwerkstoffe	
VL(1)	Strangpreß-Vollspanplatte, ein-schichtig
VL(3)	Strangpreß-Vollspanplatte, drei-schichtig
RK 1	Strangpreß-Röhrenspanplatte
RZ	Strangpreß-Röhrenspan-Streifen
Wabe	Papier-Wabe
M-350	Flachgepreßte Spanplatte 350 kg/m³
B-500	Flachgepreßte Spanplatte 500 kg/m³

Eigenschaften von Einlagenwerkstoffen

Eigenschaft			Strangpreßplatten			Flachpreß-Spanplatte	
			Vollplatte 32 VL	Vollplatte 10,6 VL	Röhrenpl. 32 RK1	500 kg / m³	350 kg / m³
Kurzbezeichnung			**VL(1)**	**VL(3)**	**RK1**	**B-500**	**M-350**
Rohdichte	[kg/m³]	$\bar{x}$	468	566	270	469	344
Biegefestigkeit	[N/mm²]	$\bar{x}$	-	-	-	5,7	2,7
	⊥	$\bar{x}$	3,0	5,6	1,4	-	-
	II	$\bar{x}$	0,5	0,8	0,5	-	-
Biege-E-Modul	[N/mm²]	$\bar{x}$	-	-	-	1.280	630
	⊥	$\bar{x}$	670	1090	450	-	-
	II	$\bar{x}$	50	36	80	-	-

Bild 3.2.1 : Physikalisch-mechanische Eigenschaften der für die Herstellung von Flächenelementen verwendeten Einlagenwerkstoffe

Eigenschaft				hochverdichtete harte Faserplatte	hochverdichtete Faserplatte	Dünnspanplatte		Furnier-Sperrholz Pappel, dreilagig	Verbund-HDF mit 0,5 mm Alu-Einlage
Kurzbezeichnung				**HAFA**	**HDF**	**DSP1**	**DSP2**	**FU**	**HDF + Alu**
Rohdichte n = 10	[kg/m³]		$\bar{x}$	1105	822	846	830	440	1235
Querzugfestigkeit n = 10	[N/mm²]		$\bar{x}$	1,54	0,82	0,86	1,01	[2]	1,20
Biegefestigkeit n = 20	[N/mm²]	II	$\bar{x}$	77,3	48,1	24,0	21,2	53,3	56,2
		⊥	$\bar{x}$	59,3	45,7	22,4	-	13,0	56,7
Biege-E-Modul n = 20	[N/mm²]	II	$\bar{x}$	7700	4220	3490	2530	6470	5650
		⊥	$\bar{x}$	5370	4180	3180	-	520	5440
Längenänderung IL 85 + DL 35 DIN EN 318	[%]	II	$\bar{x}$	0,11	0,17	0,35	0,38	0,18	0,05
		⊥	$\bar{x}$	0,20	0,18	0,43	0,46	0,13	0,05
Feuchtegehalt bei der Prüfung [1] n = 10	[%]		$\bar{x}$	8,0	7,1	9,3	9,8	12,1	5,4

[1] nach Klimatisierung bei 20°C / 65% rLF bis zur Massekonstanz

[2] für Furnier-Sperrholz keine übliche Prüfung

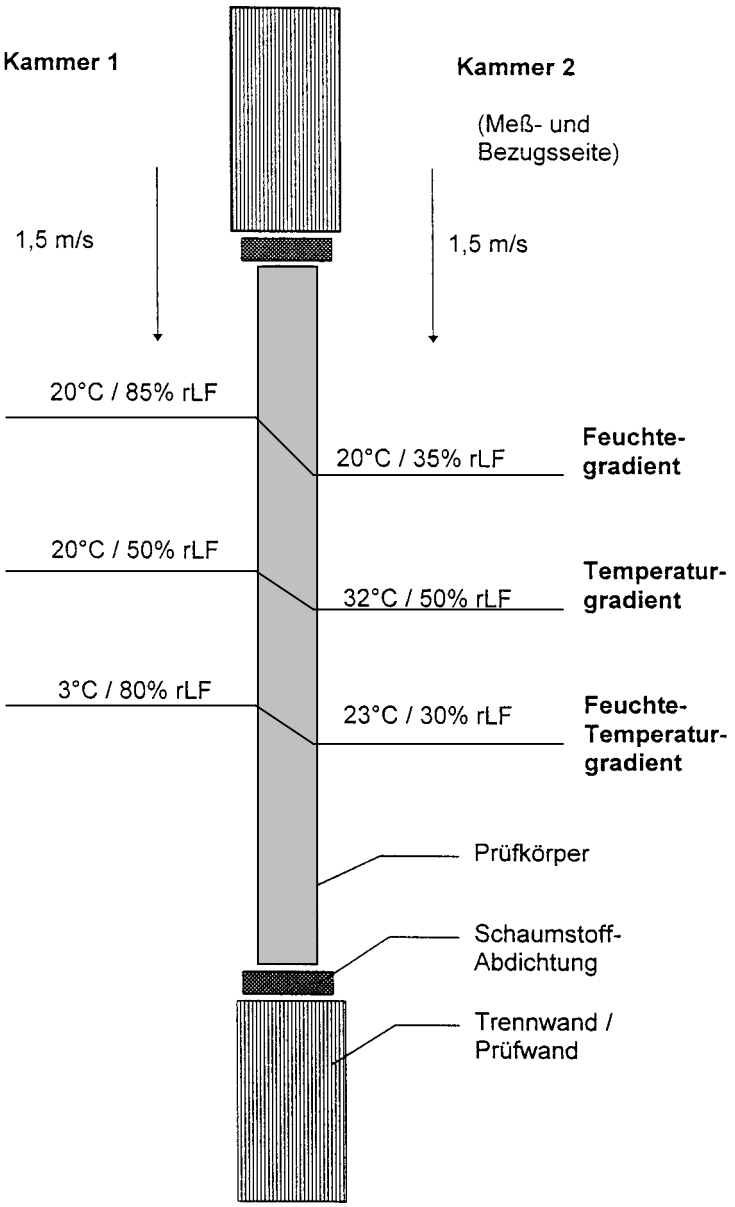
Bild 3.2.2 : Physikalisch-mechanische Eigenschaften der Deckflächenwerkstoffe

Eigenschaften von Rahmenwerkstoffen

Eigenschaft		Strangpreß-Spanplatte HVA	Fichte Fl (Riegel)	Limba	MDF	INTRALLAM (hochkant)	MULTIPLEX (hochkant)
Kurzbezeichnung		**H V A**	**F I**	**L M B**	**M D F**	**I N T**	**M U L T**
Rohdichte [kg/m³]	$\bar{x}$	671	380	405	751	705	770
Biegefestigkeit [N/mm²]	$\bar{x}$	8,9	59,7	-	27,7	-	-
Biege-E-Modul [N/mm²]	$\bar{x}$	1.580	6.900	5.000	2.780	10.300	10.100
Längenänderung [%] IL 85 + DL 35 DIN EN 318	$\bar{x}$	0,34	0,07	0,08	0,16	0,07	0,10

Bild 3.2.3 : Physikalisch-mechanische Eigenschaften der für die Herstellung von Rahmenelementen verwendeten Rahmenwerkstoffe

Versuchsanordnung Doppelklima-Prüfkammer



Definition der Formänderungsrichtung :

Aus Sicht von Kammer 2 sind Formänderungen :
- konkav : positiv
- konvex : negativ

Bild 3.3 :
- Halterung der Prüfkörper in der Prüfwand der Doppelklima-Prüfkammer
- Einwirkende Zustandsgrößen der Klimata
- Definition der Formänderungsrichtung

Einwirkungsdauer / Restformänderung

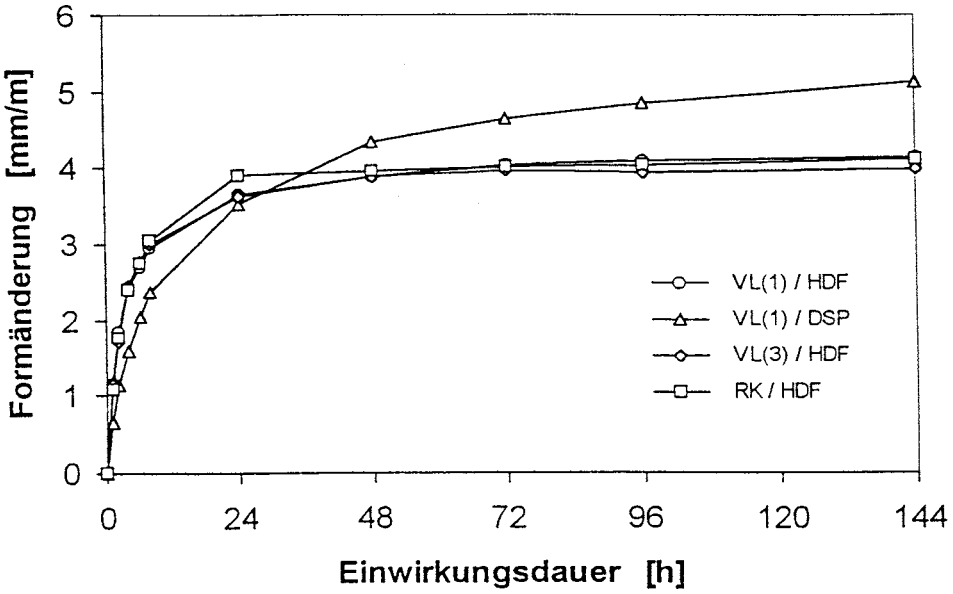


Bild 3.4-1 : **Verlauf der Formänderung unterschiedlicher Flächenelemente**

Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF bei 20°C

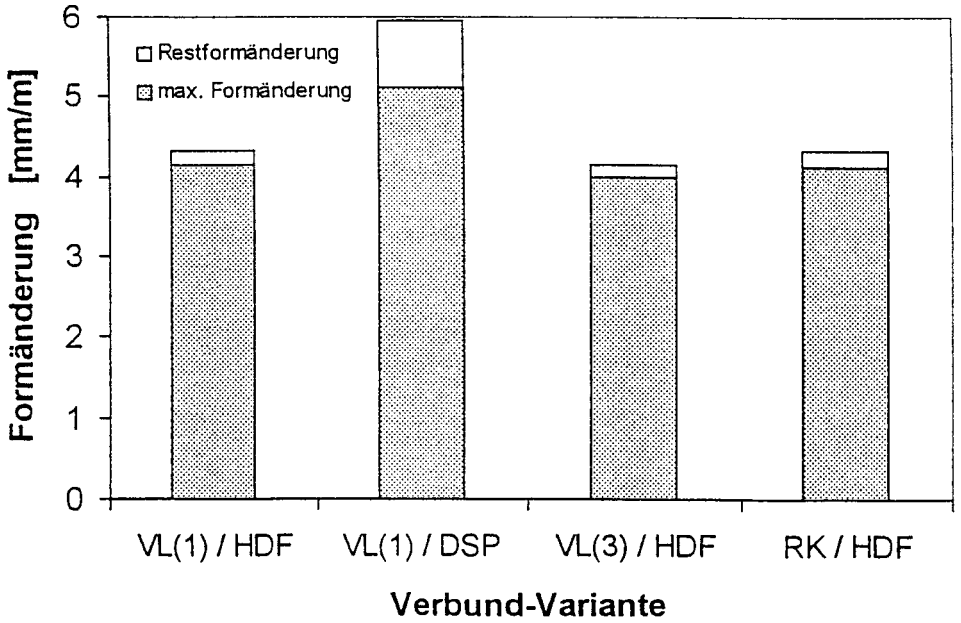


Bild 3.4-2 : **Gesamtformänderung unterschiedlicher Flächenelemente**

Anteile : a) max. Formänderung während der Klimabelastung
b) hochgerechnete Restformänderung

Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF bei 20°C

Trennwand der Doppelklima-Prüfkammer

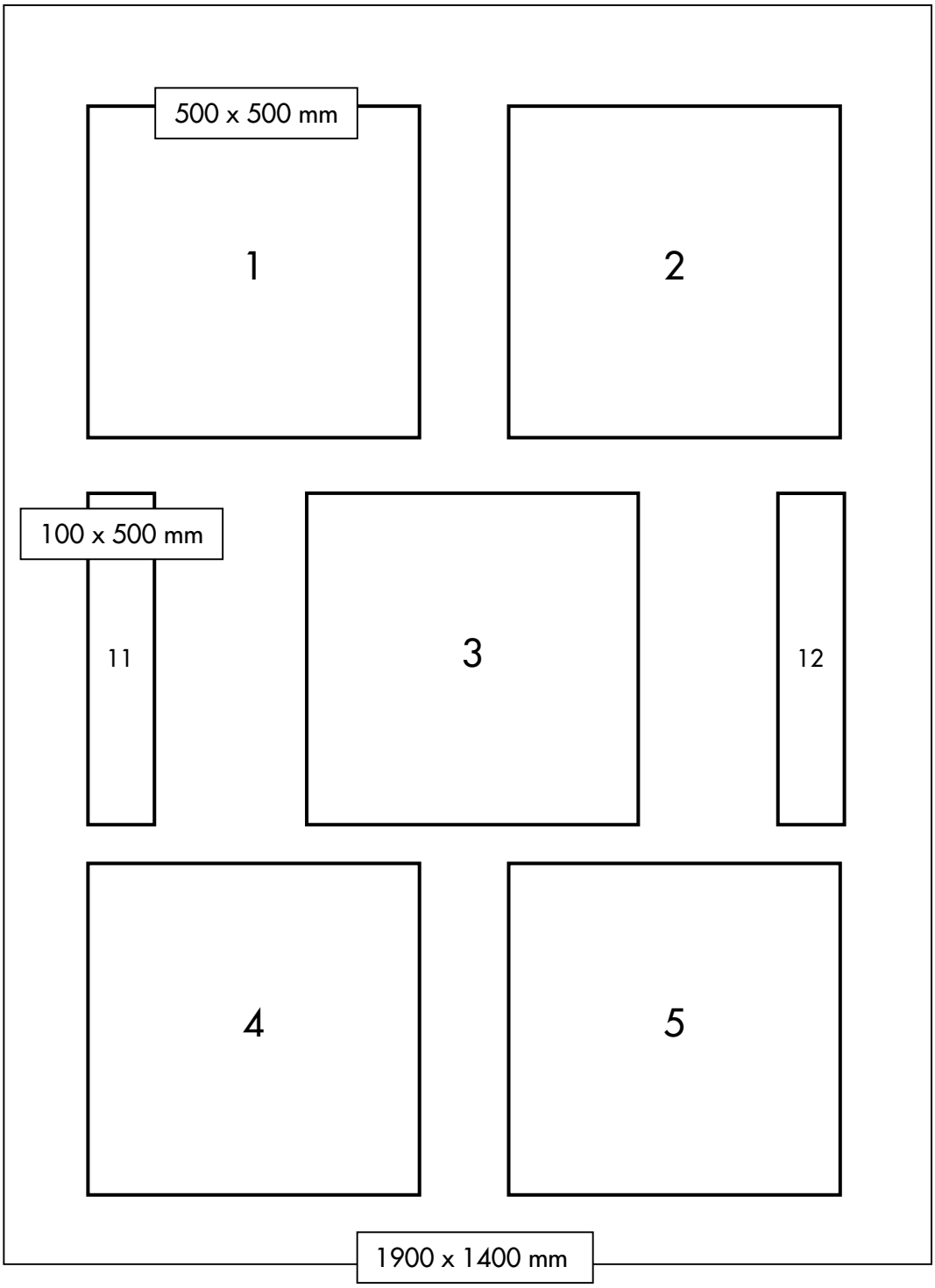


Bild 4.1 : Trennwand der Doppelklima-Prüfkammer mit Öffnungen

Kombination : Flächenelemente

Deckplatten-werkstoffe		Einlagenwerkstoffe						
		Strangpreß-Spanplatte				Flachpreß-Spanplatte		Papier-wabe
		Voll-platte 1-fach	Voll-platte 3-fach	Röhren-platte	Röhren-span-Streifen	B-500	M-350	
		01	02	03	04	05	06	07
Hochverdichtete harte Faserplatte (Naßverfahren, Eucalyptus)	A		VL(3) HAFA					
Hochverdichtete Faserplatte (Trockenver-fahren)	B	VL(1) HDF	VL(3) HDF	RK 1 HDF	RZ HDF	B-500 HDF	M-350 HDF	Wabe HDF
Dünnspanplatte (Kalanderver-fahren) Hersteller A	C	VL(1) DSP 1	VL(3) DSP 1	RK 1 DSP 1	RZ DSP 1	B-500 DSP 1		Wabe DSP 1
Furniersperrholz Pappel dreilagig	D	VL(1) FU						
Verbund-HDF mit 0,5 mm Alu-Einlage	E	VL(1) HDF+Alu	VL(3) HDF+Alu					

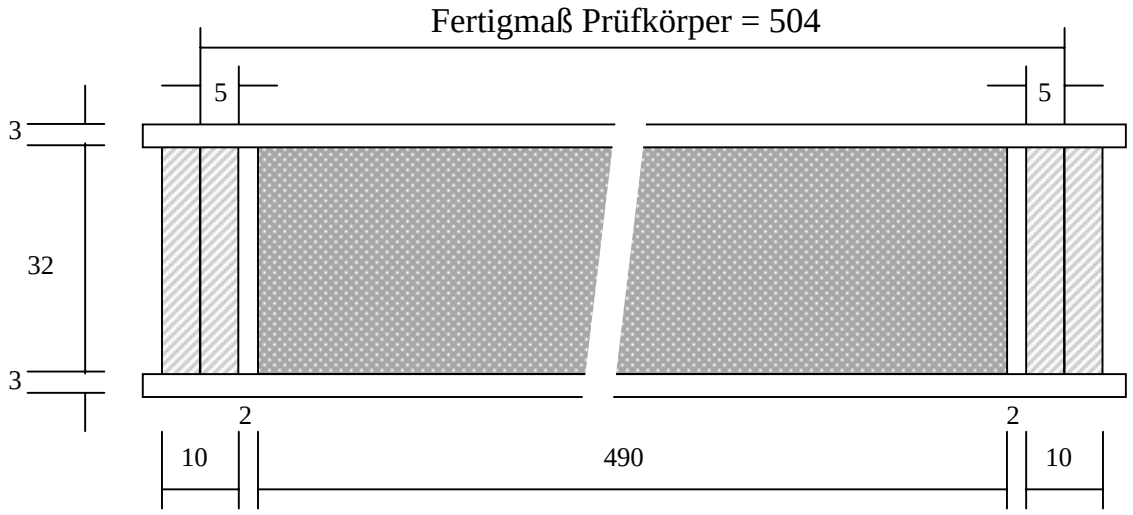
Bild 4.1.1-1 : **Versuchsplan für die labortechnische Herstellung der Flächenelemente Kombinationen von Einlagen- und Deckplattenwerkstoffen**

Format : 500 mm x 500 mm

Varianten : unterlegte Felder mit Angabe der Abkürzung

Versuchsumfang : 17 Varianten x 3 Flächenelemente = 51 Flächenelemente

Aufbau der Flächenelemente



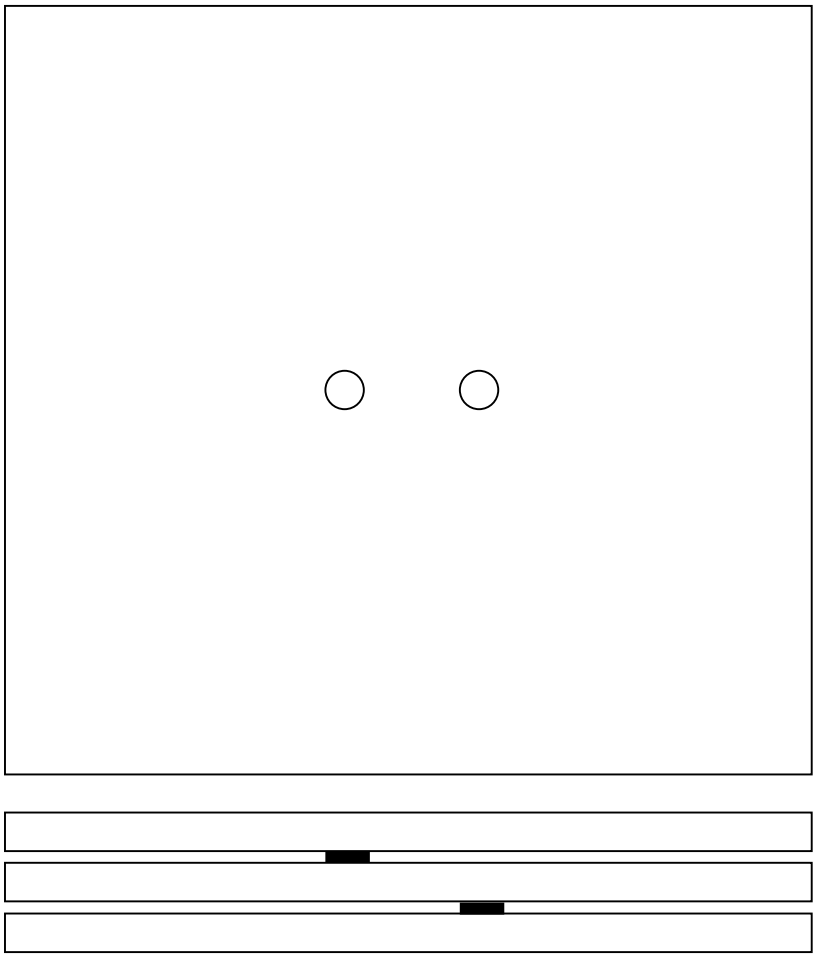


Bild : 4.1.1-2 : Anordnung der Leimpunkte bei Verbund-Variante VL(3)

Kombination : Rahmenelemente

Deckplatten-werkstoffe		Rahmenwerkstoffe				
		Fichte	Limba	Strangpreß „Homogen“	MDF (hochkant)	INTRAL-LAM (hochkant)
		08	09	10	11	12
Hochverdichtete Faserplatte (Naßverfahren, Eucalyptus)	A			VA HAFA	MDF HAFA	
Hochverdichtete Faserplatte (Trockenverfahren)	B	FI HDF	LMB HDF	VA HDF	MDF HDF	INT HDF
Dünnspanplatte (Kalanderverfahren) Hersteller A	C 1	FI DSP 1	LMB DSP 1	VA DSP 1	MDF DSP 1	
Dünnspanplatte (Kalanderverfahren) Hersteller B	C 2			VA DSP 2		
Furniersperrholz Pappel dreilagig	D			VA / FU		

Bild 4.1.2-1 : **Versuchsplan für die labortechnische Herstellung der Rahmenelemente Kombinationen von Rahmen- und Deckplattenwerkstoffen**

Format: 500 mm x 100 mm

Varianten: unterlegte Felder mit Angabe der Abkürzung

Versuchsumfang: 13 Varianten x 3 Rahmenelemente = 39 Rahmenelemente

Aufbau der Rahmen-Elemente

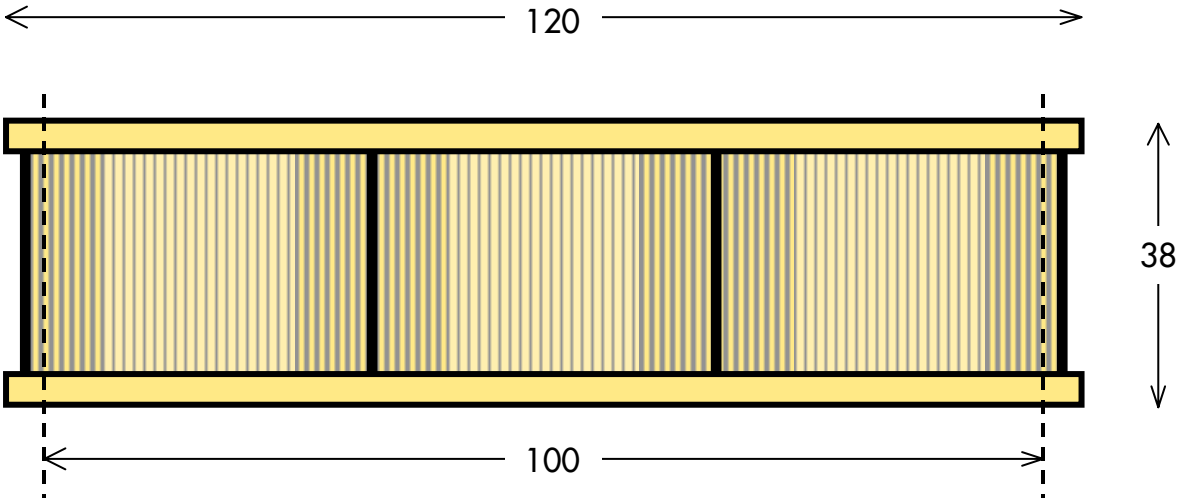
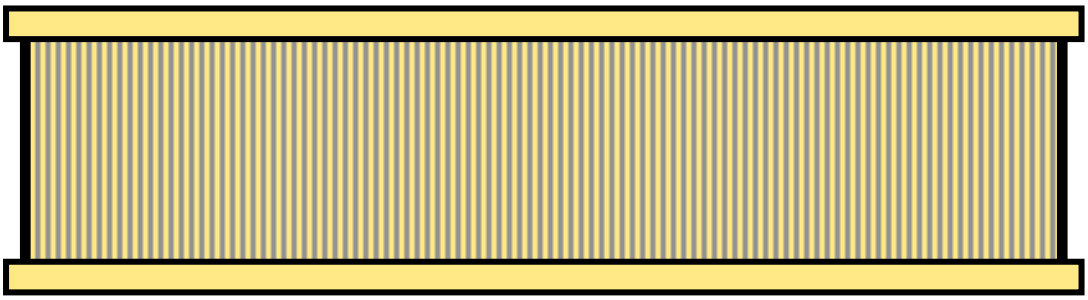


Bild 4.1.2-2 **Aufbau der Rahmenelmente**
Hochkantlage für MDF, INTRALLAM, MULTIPLEX



Aufbau der Rahmenelmente
für HVA, Fichte, Limba

Kombination : Türblätter

Rahmenwerkstoffe	Einlagenwerkstoffe				
	RK 1	VL(1)	VL(3)	M-350	B-500
INTRALLAM	RK 1 INT HAFA	VL(1) INT HAFA	VL(3) INT HAFA	M-350 INT HAFA	B-500 INT HAFA
		VL(1) INT HAFA Lack			B-500 INT HAFA Lack
		VL(1) INT HDF			
MULTIPLEX		VL(1) MULT HAFA			
MDF		VL(1) MDF HAFA			

Bild 4.2.1 : **Versuchsplan für die industrielle Herstellung von Türblättern**
Kombinationen von Einlagen-, Rahmen- und Deckplattenwerkstoffen

Abmessungen : 1985 mm x 860 mm x 39 mm

Varianten : unterlegte Felder mit Angabe der Abkürzung

Versuchsumfang : 8 Varianten x 5 unbeschichtete Türblätter = 40 Stück
2 Varianten x 3 lackbeschichtete Türblätter = 6 Stück

Herstellung der Türblätter

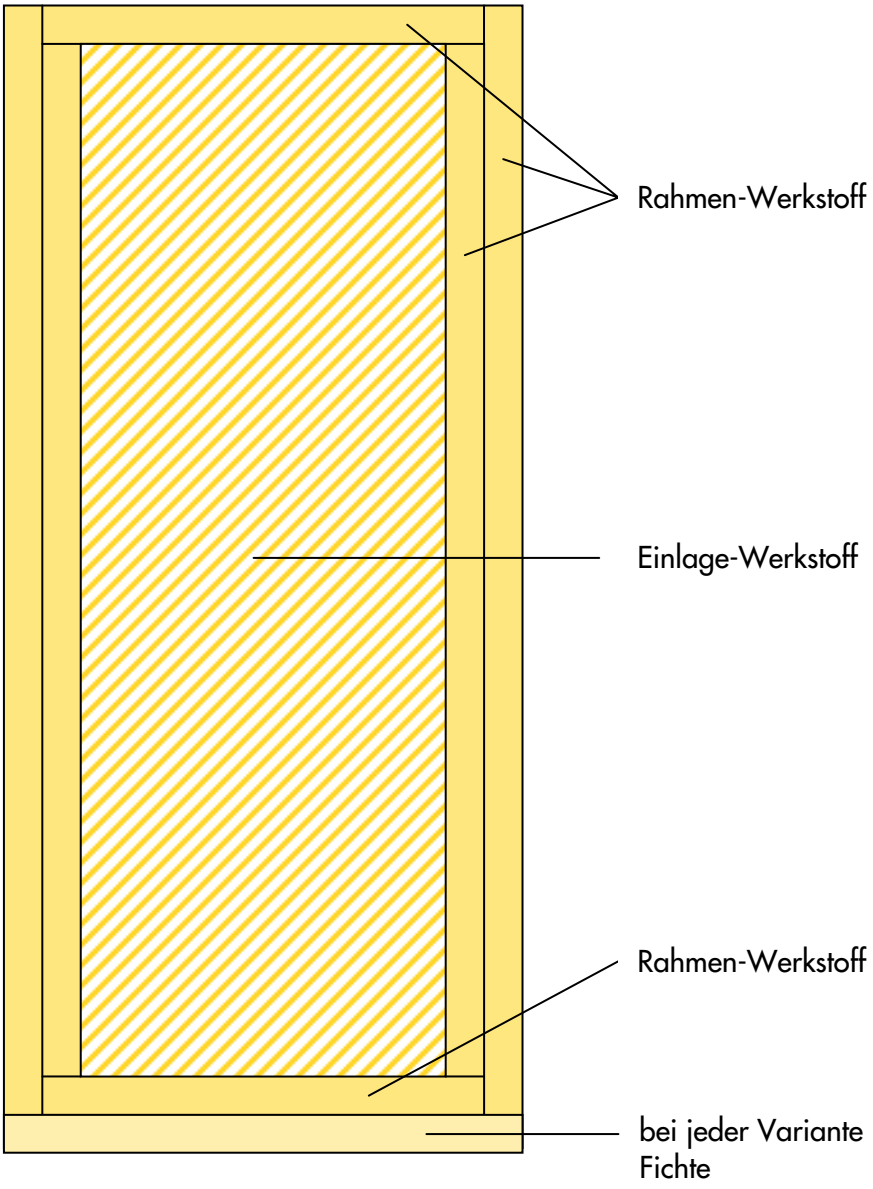


Bild 4.2-2 : **Herstellung der Türblätter**

Aufbau :
- doppeltes Rahmenholz
- unterer Querriegel immer Fichte

Preßbedingungen
– Preßtemperatur : 95°C
– Preßzeit : 4 Minuten

Untersuchung von Holzwerkstoff-Verbunden zur Verbesserung der Formstabilität von Innentüren

Klimaprüfung von Türblättern

- ABLAUF -

Vorklimatisierung im Wechselklima

Normal - Klima

- Klima : 23°C / 50 % rLF
- Dauer : 7 Tage

Feucht - Klima

- Klima : 23°C / 85 % rLF
- Dauer : 7 Tage

Trocken - Klima

- Klima : 23°C / 30 % rLF
- Dauer : 7 Tage

Normal - Klima

- Klima : 23°C / 50 % rLF
- Dauer : 7 Tage

Differenz - Klima

- Klima :
  - Innen : 23°C / 30 % rLF
  - Außen : 3°C / 80 % rLF
- Dauer : 7 Tage

Klima-Prüfraum im Service-Center

Prüf-Bedingungen

Entsprechend EN 79 :

Kategorie	Fläche1	Fläche2
I	23°C/30% rLF	18°C/50% rLF
II	23°C/30% rLF	13°C/65% rLF
III	23°C/30% rLF	3°C/80% rLF

Abmessungen

vorhandene Stahlzargen:

735 x 1985 mm DIN links
860 x 1985 mm DIN links
985 x 1985 mm DIN links

Wandöffnung für Sonderzargen:

880 x 2020 x 100 mm

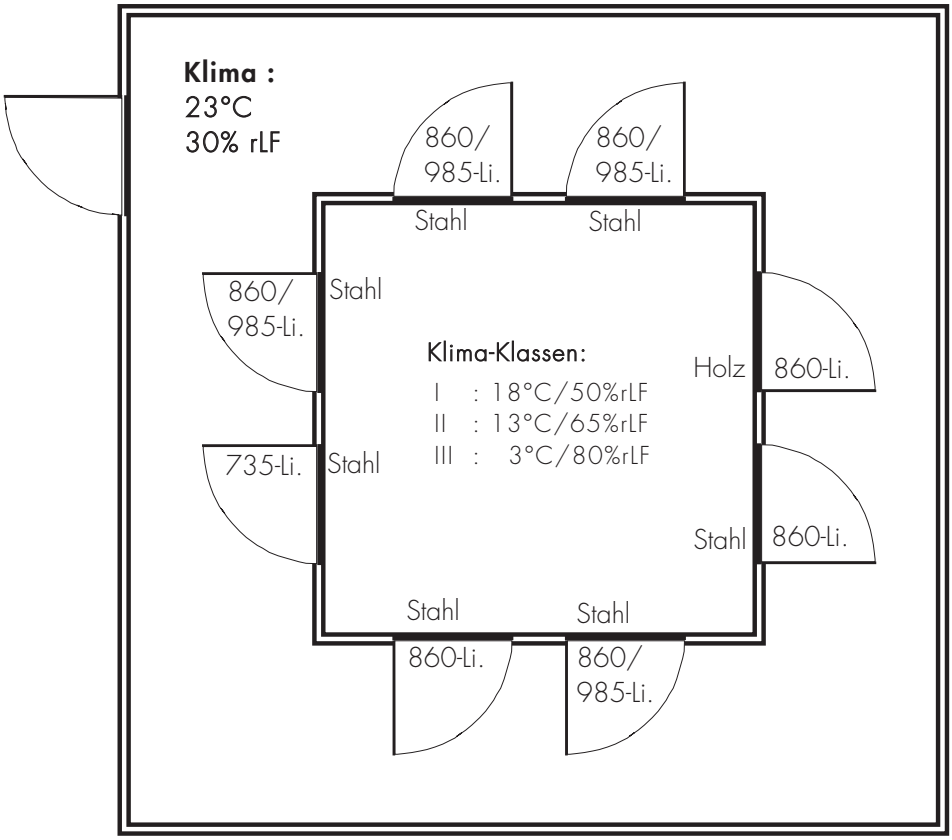


Bild 4.2.4 : Grundriß des Doppelklima-Prüfraumes im Service-Center der Spanplattenwerk Gotha GmbH

Meßrahmen für Türblätter

Bild 4.2.5-1 : **Meßsystem im Klimaprüfstand der Spanplattenwerk Gotha GmbH**
Positionierter Meßrahmen vor einem Türblatt

Bestandteile des Meßsystems :
- Meßrahmen mit 12 potentiometrischen Wegaufnehmern (links)
- Meßwagen mit Monitor, PC und Meßverstärkereinheit (rechts)
- Tariervorrichtung (Hintergrund)

Meßschema

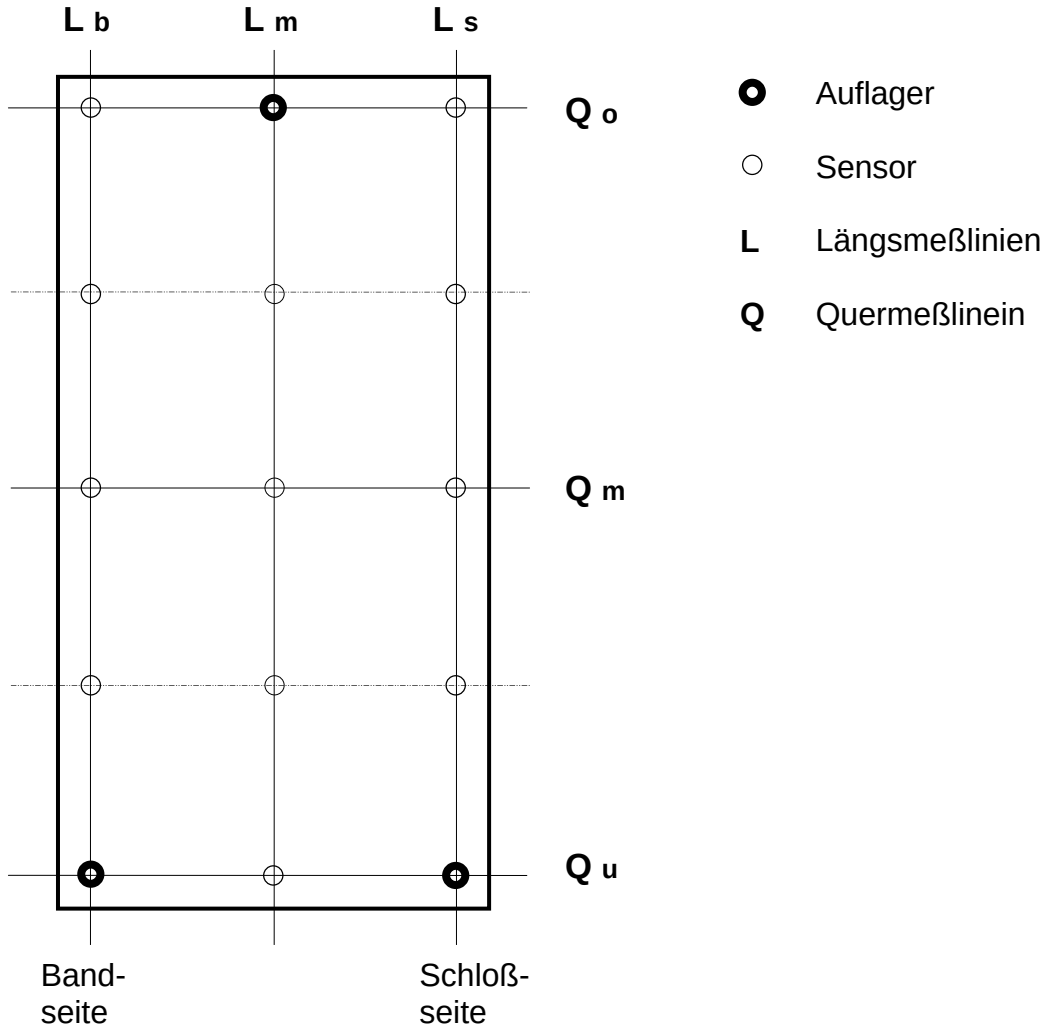


Bild 4.2.5-2 : Prinzipiendarstellung des Meßschemas zur Erfassung und Auswertung der Formänderungen bei dem großtechnischen Hauptversuch Türblätter, Spanplattenwerk Gotha GmbH

Anzeige Meßauswertung

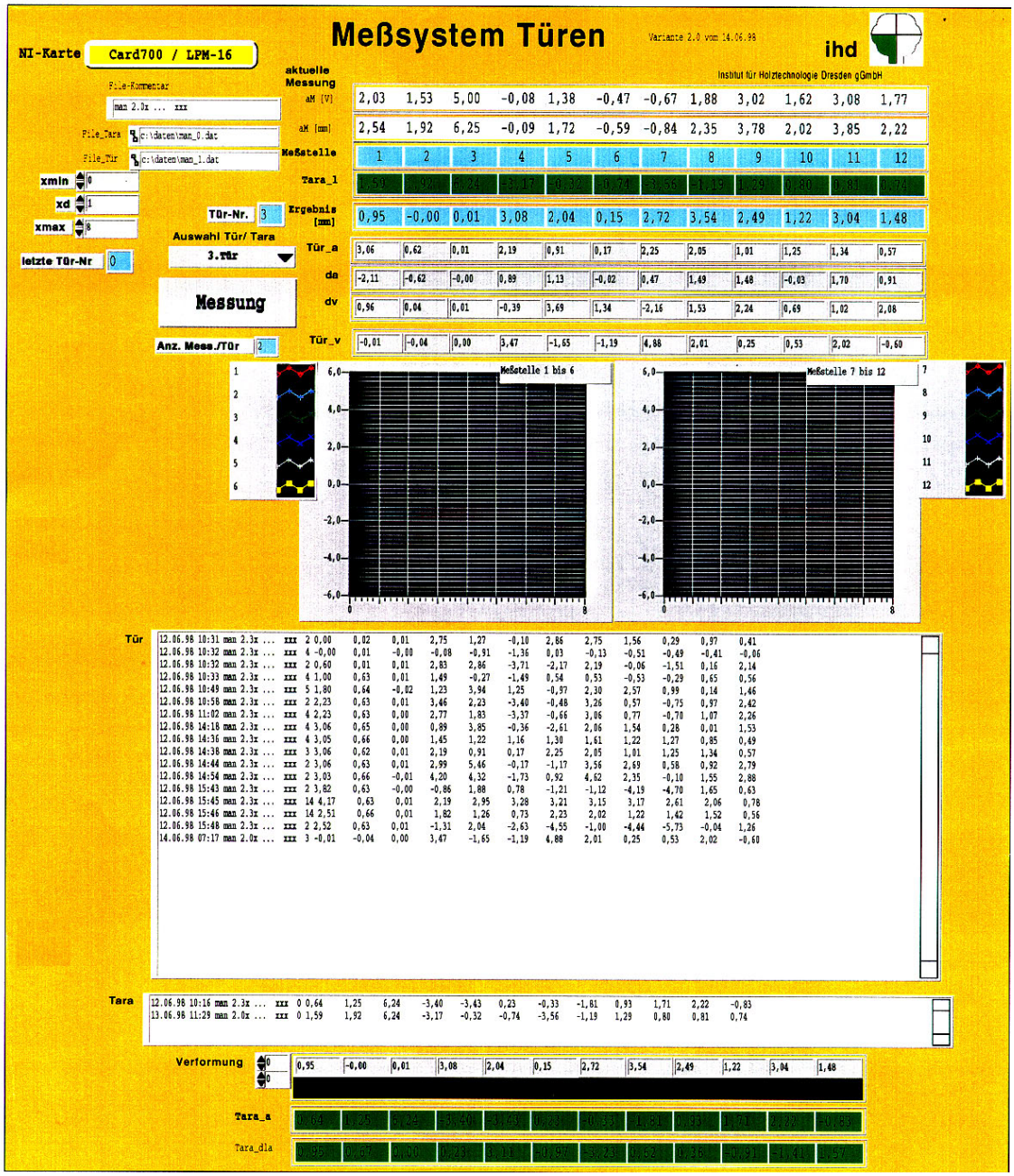


Bild 4.2.6-1 : Anzeige Meßauswertung

Prüfprotokoll

Programm TU_3 v1.0 Dateiname: TU_VAR_3.XLS TBL_12	**Prüfprotokoll** **Formänderung Innentüren (kombinierte Klima-Prüfung)**	**ihd** Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH 06.10.98

Material: **Variante 3 / Türblatt 12**

Auftrags-Nr.: AFO PE 2482 94

Auflageabstand für Türbreite [mm]: 820 — Horiz. Meßpkt.abstand [mm]: 410 — Auftraggeber: Spanplattenwerk Gotha GmbH

Auflageabstand für Türlänge [mm]: 1945 — Vertik. Meßpkt.abstand [mm]: 972 — Bearbeiter: Buchheister / Kowalewitz / Jensen

Anzahl der Messungen (mit Vorklima): 10

Meßwerte:

Einw.dauer	Datum	Uhrzeit	Bemerkungen:	Tür	Meßstellen											
h					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-30	27.05.98	10:31	VKL 1.3x xxx	12	3,41	2,6	1,53	0,57	1,69	1,68	1,99	0,27	-3,27	-2,48	-1,78	-0,56
-20	03.06.98	10:47	VKL 1.3x xxx	12	-0,91	-0,22	0,08	0,08	1,68	1,59	1,79	0,16	0,88	1,35	1,45	0,87
-10	10.06.98	08:02	VKL 1.3x xxx	12	0,43	0,77	0,65	0,34	1,60	1,53	1,76	0,25	-0,32	0,26	0,59	0,54
0	23.06.98	13:13	man 2.0x ... xxx	12	1,12	1,03	0,68	0,3	1,08	0,94	1,22	-0,03	-1	-0,79	-0,65	-0,16
4	23.06.98	17:31	man 2.0x ... xxx	12	1,4	0,38	-0,27	-0,45	-0,06	-0,47	0	-0,32	-0,26	-1,04	-1,22	-0,72
18	24.06.98	07:38	man 2.0x ... xxx	12	1,62	-0,8	-1,81	-1,67	-1,47	-2,3	-1,56	-0,71	0,74	-1,83	-2,6	-1,9
42	25.06.98	07:20	man 2.0x ... xxx	12	1,52	-1,75	-2,76	-2,55	-2,59	-3,64	-2,65	-0,92	1,38	-4,03	-4,32	-3,12
141	29.06.98	10:15	man 2.0x ... xxx	12	1,84	-1,89	-2,95	-2,72	-3,11	-4,16	-2,99	-1,01	1,96	-2,98	-4,59	-3,43
161	30.06.98	06:33	man 2.0x ... xxx	12	1,89	-2,06	-3,06	-2,84	-3,39	-4,48	-3,32	-1,11	2,16	-3,3	-5,08	-3,85
168	30.06.98	14:11	man 2.0x ... xxx	12	1,93	-3,72	-5,74	-4,57	-4,64	-6,29	-4,45	-0,99	1,81	-4,14	-6,15	-4,56

Durchbiegung [mm]:

Einw.dauer	Tür	Qo			Qm			Qu			Lb			Lm			Ls		
h		1	N	9	3	6	11	N	8	N	1	3	N	N	6	8	9	11	N
-30	12	3,41	0	-3,27	1,53	1,68	-1,78	0	0,27	0	3,41	1,53	0	0	1,68	0,27	-3,27	-1,78	0
-20	12	-0,91	0	0,88	0,08	1,59	1,45	0	0,16	0	-0,91	0,08	0	0	1,59	0,16	0,88	1,45	0
-10	12	0,425	0	-0,32	0,645	1,531	0,59	0	0,254	0	0,425	0,645	0	0	1,531	0,254	-0,32	0,59	0
0	12	1,12	0	-1	0,68	0,94	-0,65	0	-0,03	0	1,12	0,68	0	0	0,94	-0,03	-1	-0,65	0
4	12	1,4	0	-0,26	-0,27	-0,47	-1,22	0	-0,32	0	1,4	-0,27	0	0	-0,47	-0,32	-0,26	-1,22	0
18	12	1,62	0	0,74	-1,81	-2,3	-2,6	0	-0,71	0	1,62	-1,81	0	0	-2,3	-0,71	0,74	-2,6	0
42	12	1,52	0	1,38	-2,76	-3,64	-4,32	0	-0,92	0	1,52	-2,76	0	0	-3,64	-0,92	1,38	-4,32	0
141	12	1,84	0	1,96	-2,95	-4,16	-4,59	0	-1,01	0	1,84	-2,95	0	0	-4,16	-1,01	1,96	-4,59	0
161	12	1,89	0	2,16	-3,06	-4,48	-5,08	0	-1,11	0	1,89	-3,06	0	0	-4,48	-1,11	2,16	-5,08	0
168	12	1,93	0	1,81	-5,74	-6,29	-6,15	0	-0,99	0	1,93	-5,74	0	0	-6,29	-0,99	1,81	-6,15	0

Formänderung [mm]:

Einw.dauer	Tür	Qo	Qm	Qu	Lb	Lm	Ls
h		mm	mm	mm	mm	mm	mm
-30	12	0,07	-1,81	-0,27	0,17	-1,54	0,16
-20	12	-0,02	-0,82	-0,16	-0,54	-1,51	-1,01
-10	12	0,05	-0,91	-0,25	-0,43	-1,40	-0,75
0	12	0,06	-0,93	0,03	-0,12	-0,96	0,16
4	12	0,57	-0,28	0,32	0,97	0,31	1,09
18	12	1,18	0,10	0,71	2,62	1,94	2,97
42	12	1,45	0,10	0,92	3,52	3,18	5,01
141	12	1,90	0,39	1,01	3,87	3,65	5,57
161	12	2,03	0,41	1,11	4,01	3,93	6,16
168	12	1,87	0,35	0,99	6,71	5,79	7,06

Formänderungs-Kennwerte FK [mm]:

	Qo	Qm	Qu	Lb	Lm	Ls
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
FK 1 (mit Formänderungs-Sprung)	**1,82**	**1,26**	**1,24**	**7,14**	**7,20**	**7,81**
zusammengefaßte Formänderungs-Kennwerte FK 1						
(Lb+Lm+Ls)/3				**7,38**		
(Lb+Ls)/2				**7,47**		
FK 2 (ohne Formänderungs-Sprung)	**1,96**	**1,33**	**1,08**	**4,13**	**4,88**	**6,01**
zusammengefaßte Formänderungs-Kennwerte FK 2						
(Lb+Lm+Ls)/3				**5,00**		
(Lb+Ls)/2				**5,07**		

Formänderung [mm]

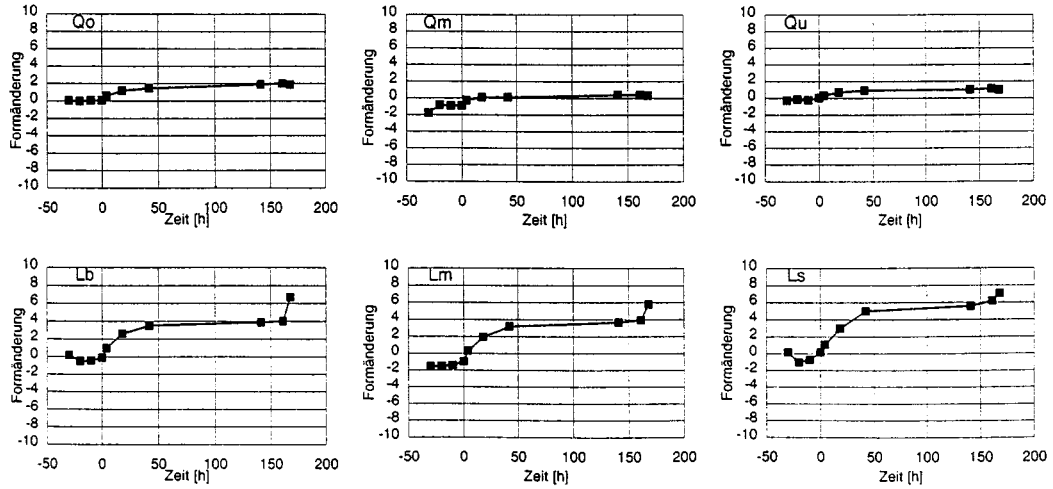


Bild 4.2.6-2 : Prüfprotokoll

Formänderungs-Kennwert

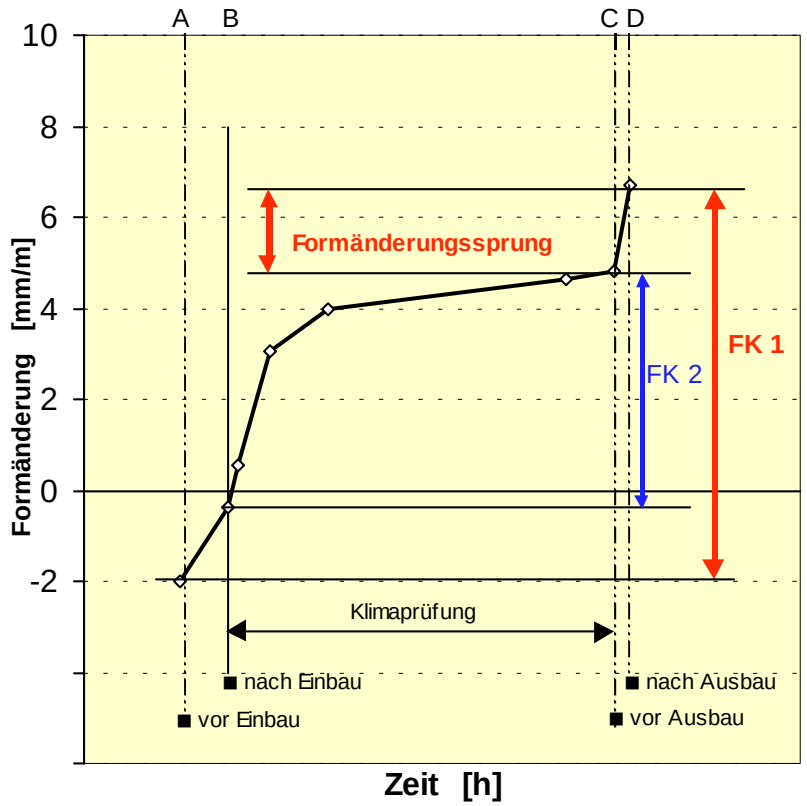


Bild 4.2.6-3 : **Definition des Formänderungs-Kennwertes FK 1**

A. Zustand nach Abschluß des Wechselklimas, Türblatt freistehend
B. Zustand vor Beginn des Differenzklimas, Türblatt eingebaut
C. Zustand nach Abschluß des Differenzklimas, Türblatt eingebaut
D. Zustand nach Abschluß des Differenzklimas, Türblatt ausgebaut

Einfluß von Einlagenwerkstoffen

an Modell-Elementen

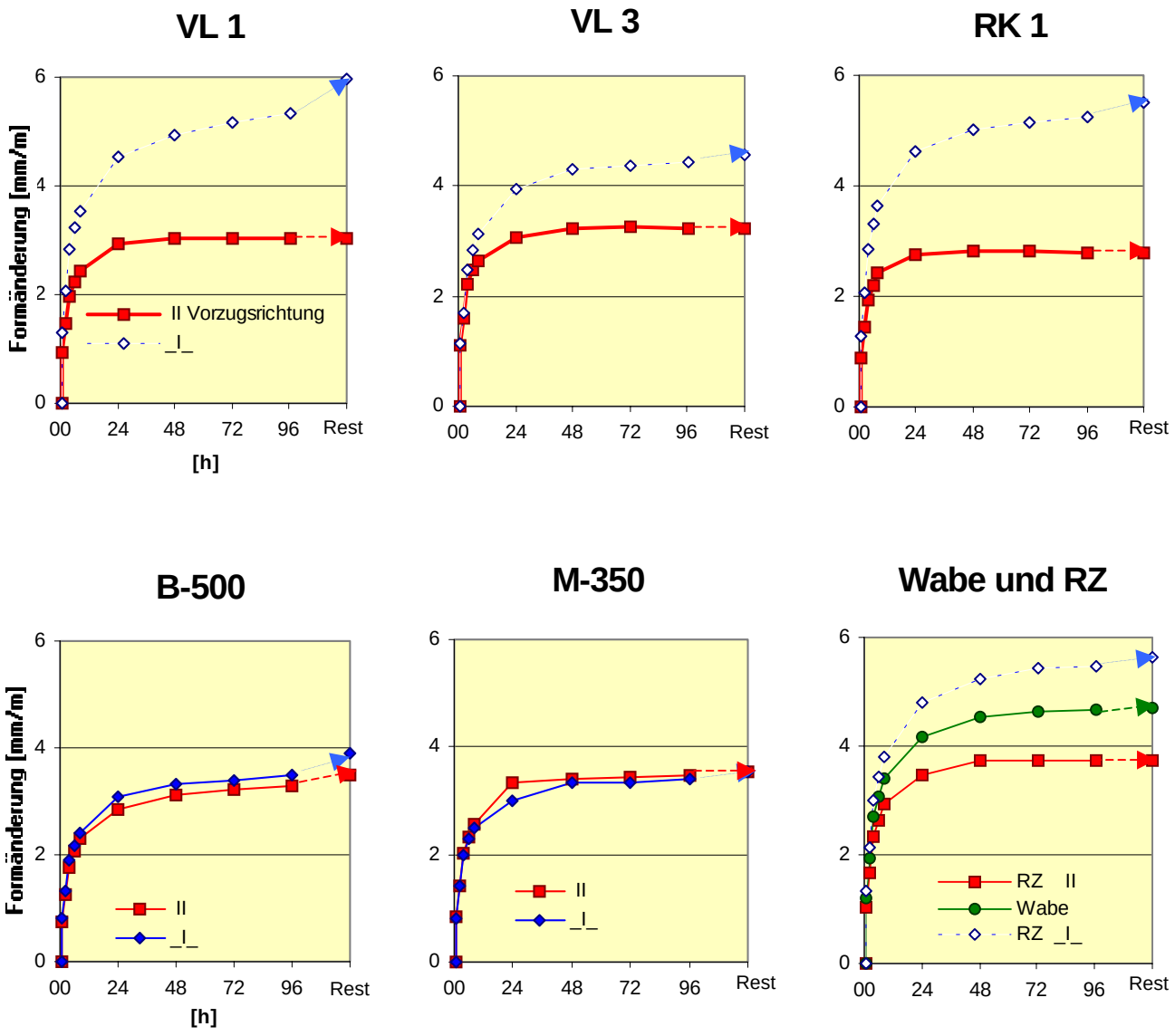


Bild 5.1.1-1 : **Formänderung von Flächenelementen mit unterschiedlichen Einlagen**

Deckplatten : HDF
Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF bei 20°C

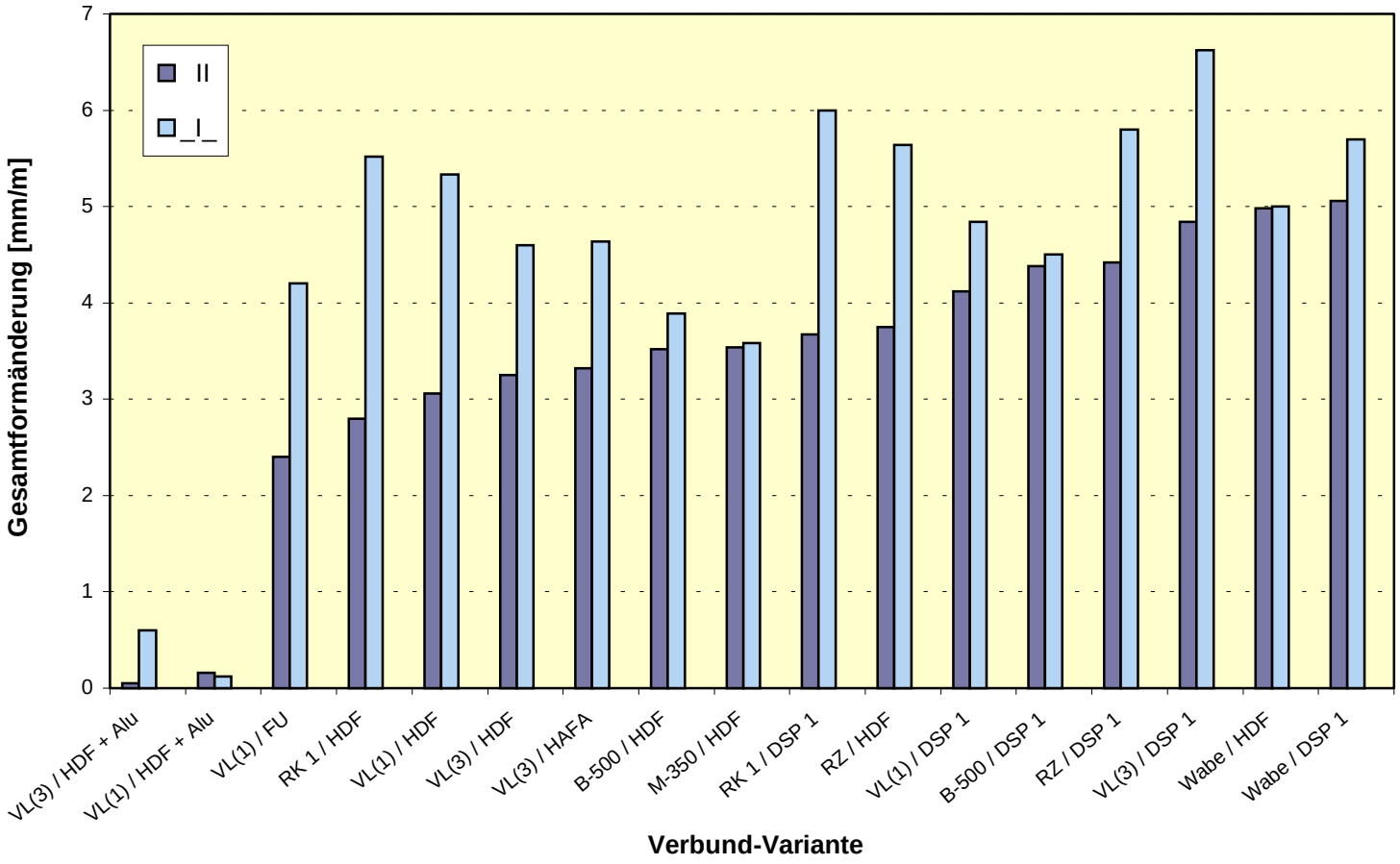


Bild 5.1.1-2 : Formänderung von Türelementen verschiedener Werkstoff-Kombinationen bei Einwirkung von Differenzklima und dem Feuchtegradienten 85% rLF : 35% rLF bei einheitlicher Temperatur von 20°C. Getrennte Darstellung der Gesamtformänderung in Vorzugsrichtung (II) und quer dazu (_I_). Anordnung in der sich für die Vorzugsrichtung ergebenden Rangfolge.

Einfluß von Einlagen / Deckplatten

an Modell-Elementen

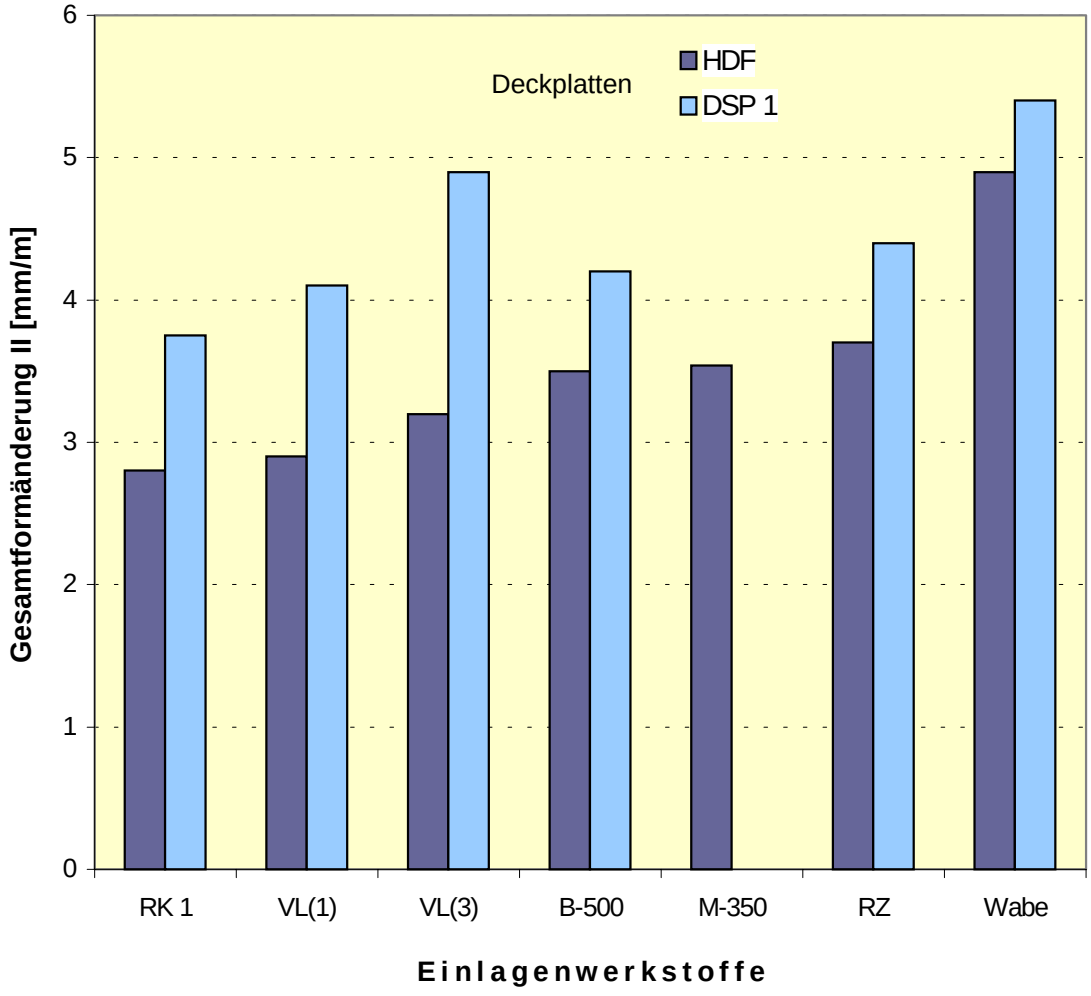


Bild 5.1.1-3 : **Gesamtformänderung der Flächenelemente in Vorzugsrichtung der Einlagen**

Prüfung im Differenzklima mit Feuchtegradienten 85 % rLF : 35 % rLF
bei einheitlicher Temperatur von 20°C

Darstellung in Rangfolge für HDF-Deckplatten

Einfluß von Dünnspan-Deckplatten

an Modell-Elementen

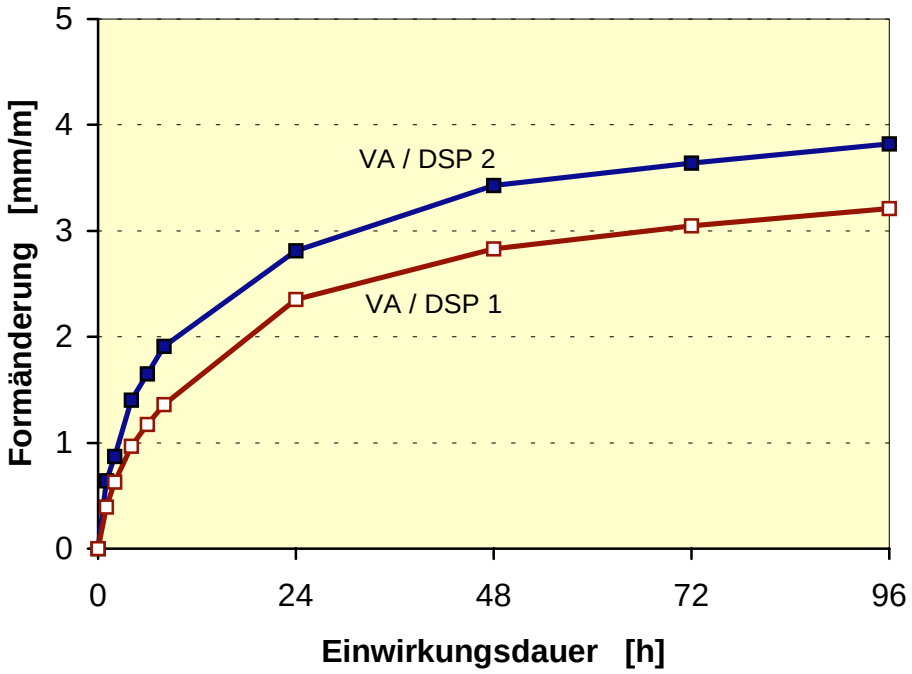


Bild 5.1.2-1 : **Formänderung von Rahmenelementen mit unterschiedlichen Dünnspanplatten**

Deckplatten :	2 Hersteller (DSP 1 und DSP 2)
Rahmenwerkstoff :	Strangpreßplatte HVA
Klima :	Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF
Prüfumfang :	n = 9

Deckplatten : HDF + Aluminium

an Modell-Elementen

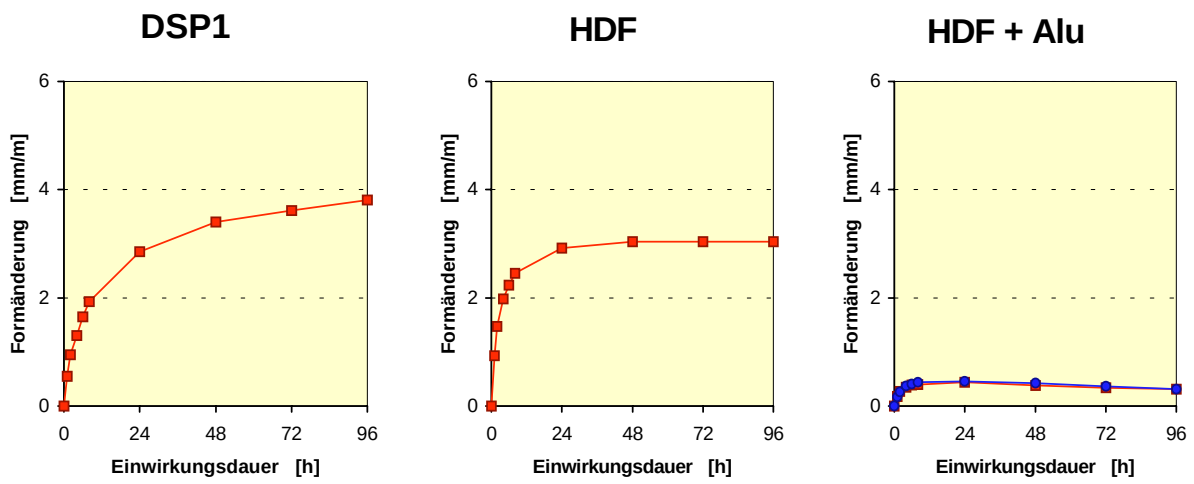


Bild 5.1.2-2a : **Formänderung von Flächenelementen mit unterschiedlichen Deckplatten**

Deckplatten : DSP 1, HDF, HDF + Alu
Einlagewerkstoff : VL(1)
Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF

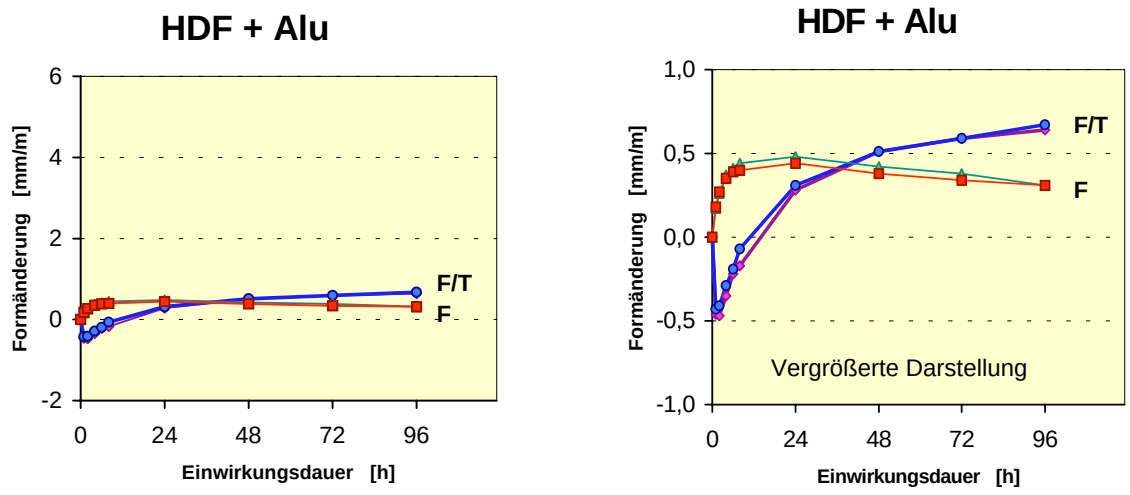


Bild 5.1.2-2b : **Formänderung von Flächenelementen mit HDF + Alu-Deckplatten**

Deckplatten : HDF + Alu
Einlagewerkstoff : VL(1)
Klima : a) **Feuchtegradient** 85% rLF : 35% rLF
b) **Feuchte-Temperaturgradient** 3°C/80% rLF : 23°C/30% rLF

Einfluß von Rahmenwerkstoffen

an Modell-Elementen

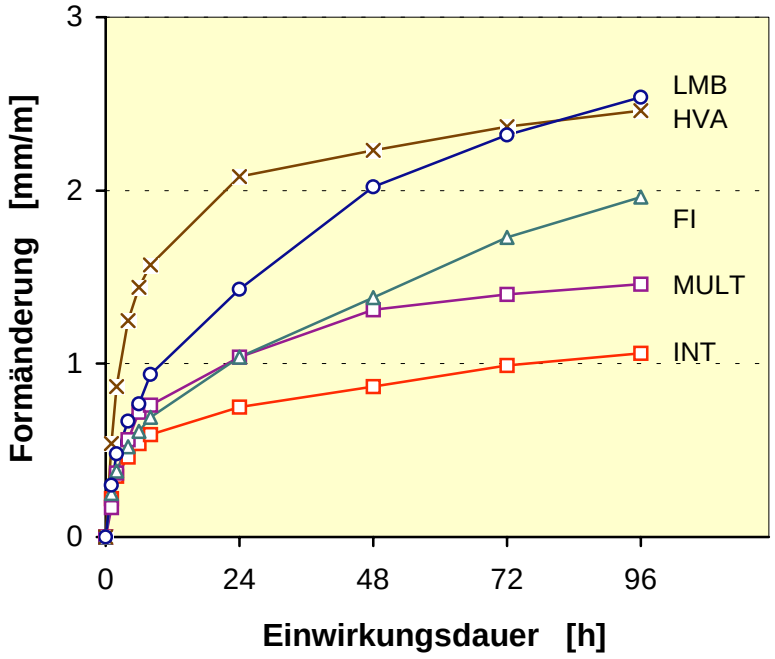


Bild 5.1.3-1 : **Formänderung von Rahmenelementen mit unterschiedlichen Rahmenwerkstoffen**

Deckplatten : HDF
Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF bei 20°C

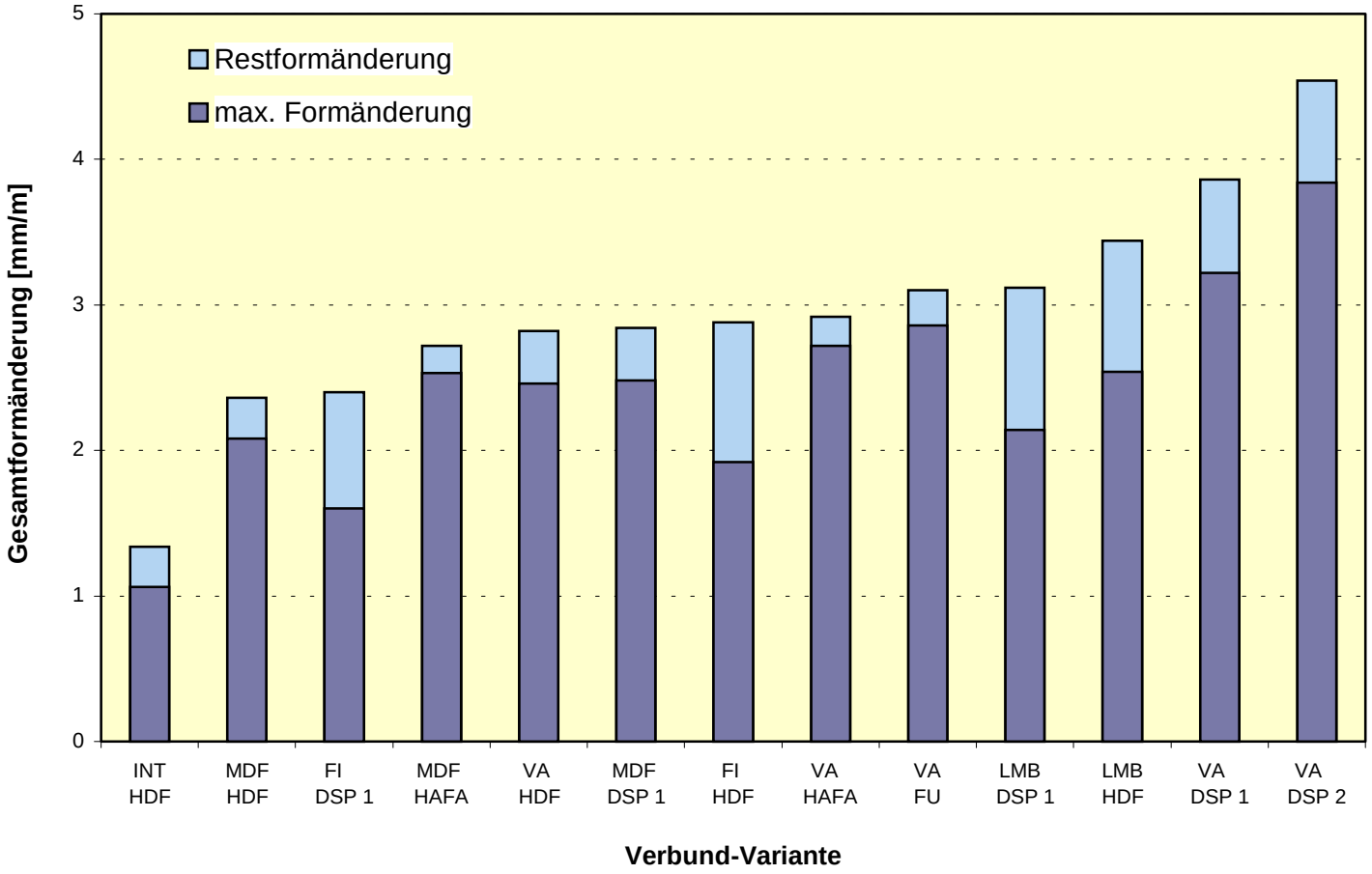


Bild 5.1.3-2 : **Gesamtformänderung der untersuchten Rahmenelemente**

Gesamtformänderung : Summe der maximalen Formänderung und der Restformänderung
Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF bei 20°C

Einfluß von Rahmenwerkstoffen

an Modell-Elementen

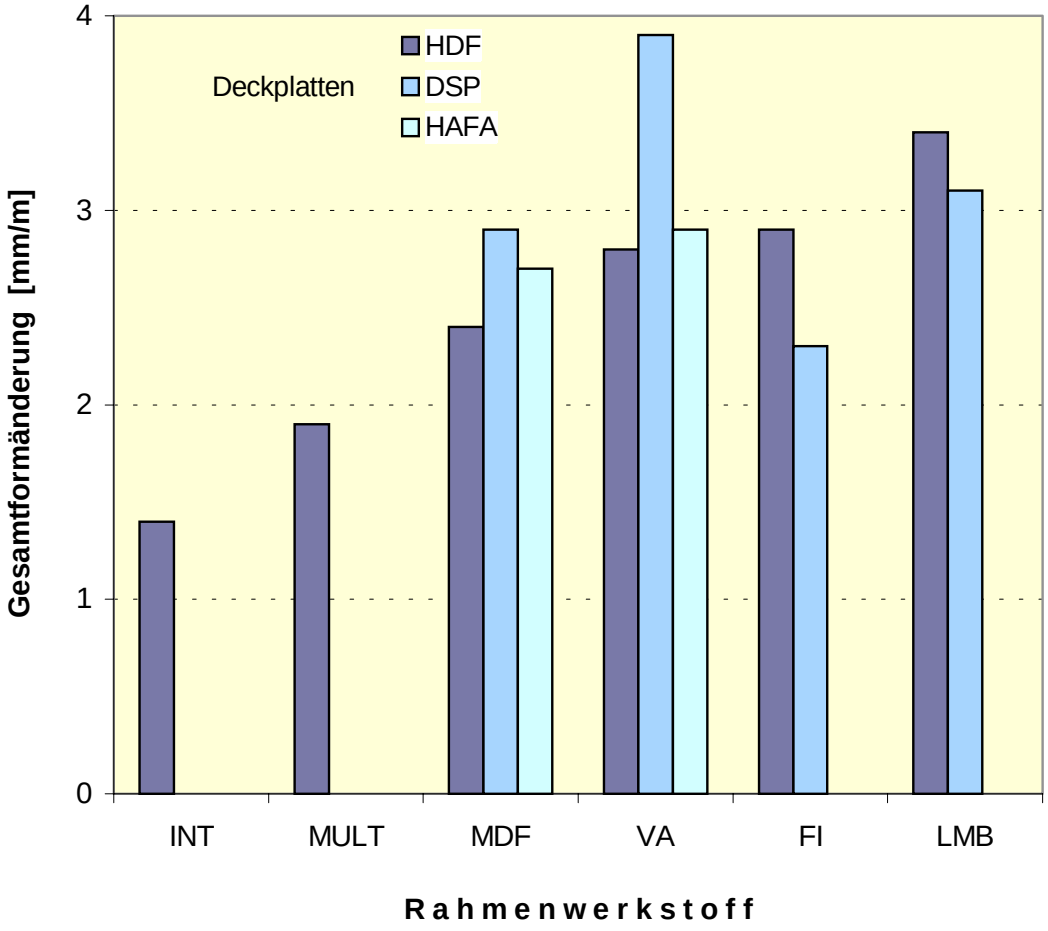


Bild 5.1.3-3 : **Formänderung von Rahmenelementen mit unterschiedlichen Rahmenwerkstoffen**

Deckplatten : HDF, DSP, HAFA
Klima : Feuchtegradient 85% rLF : 35% rLF bei 20°C

Rahmenwerkstoffe : Eigenschaften / Einfluß

an Modell-Elementen

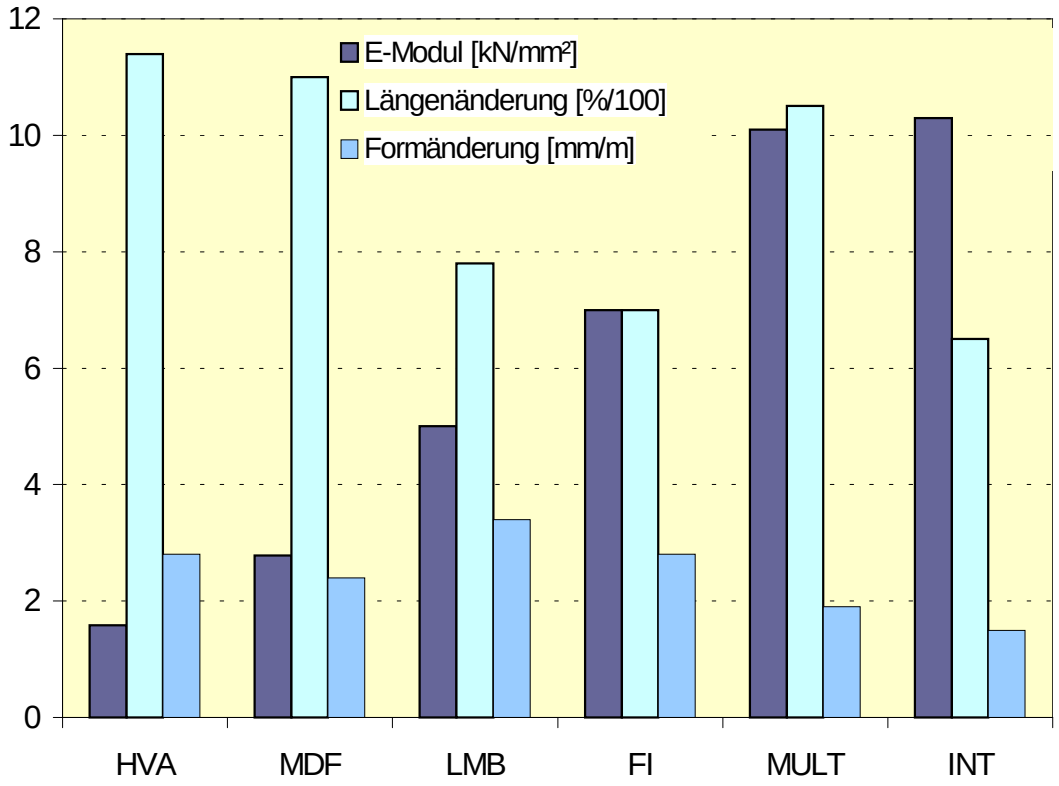


Bild 5.1.3-4 : **Maßgebliche Eigenschaften der Rahmenwerkstoffe und ihr Einfluß auf die Formänderung:**

- E-Modul
- Längenänderung
- Formänderung

Formänderungen von Türblättern

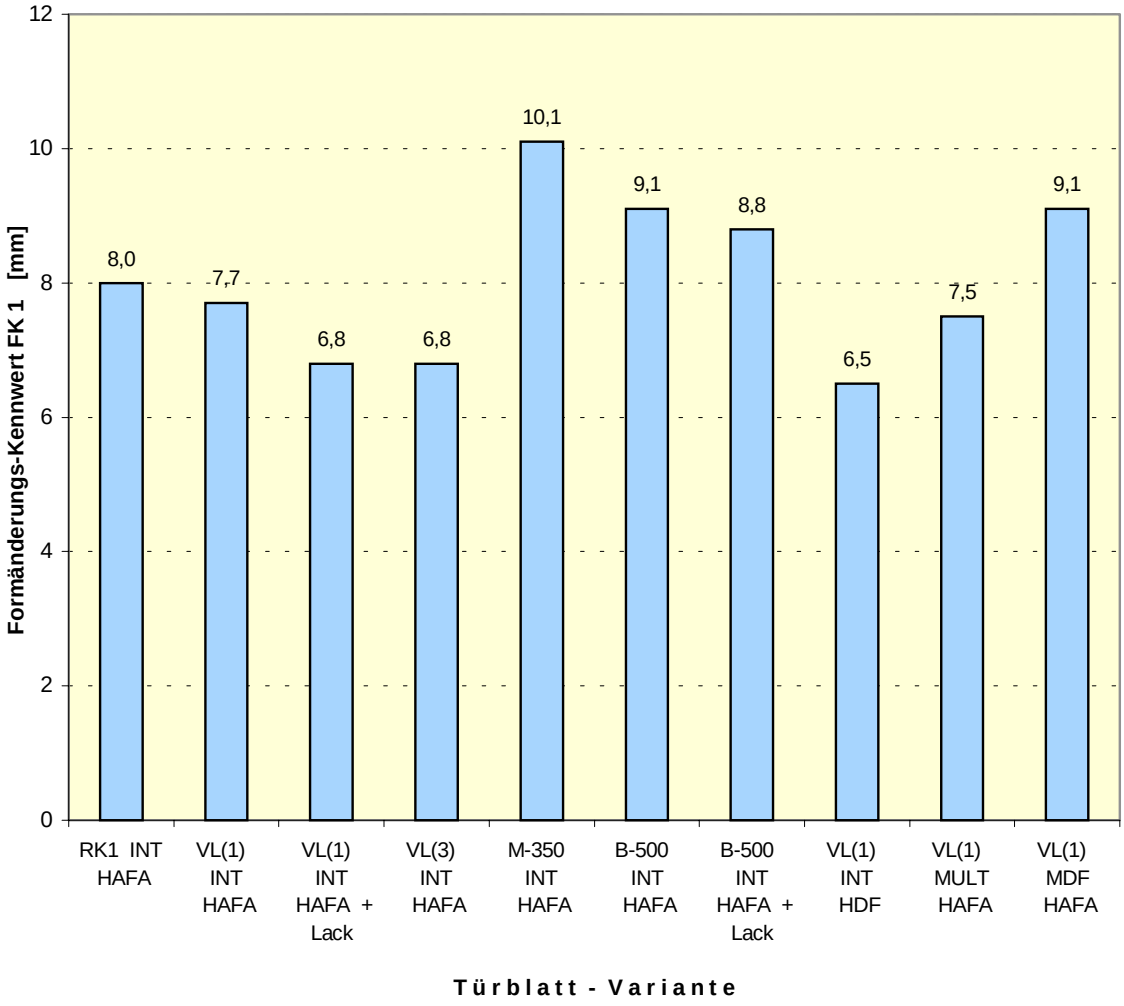


Bild 5.2-1 : **Formänderungen von industriell hergestellten Türblättern**

Werkstoffkombinationen : vgl. Bild 4.2.1
Klima : Feuchtetemperaturgradient :
3°C/80% rLF : 23°C/30% rLF (Klimaklasse 3)

Formzustand der Türblätter

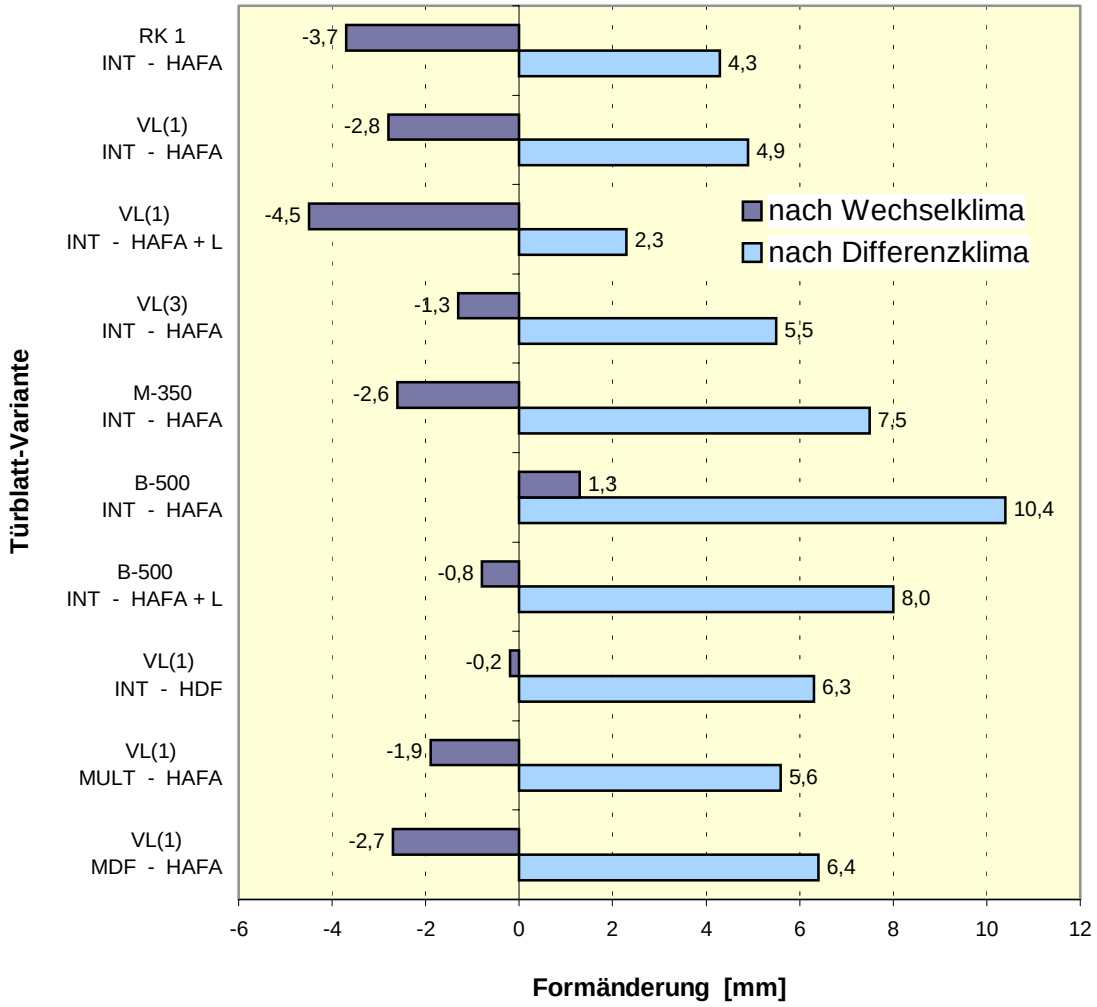
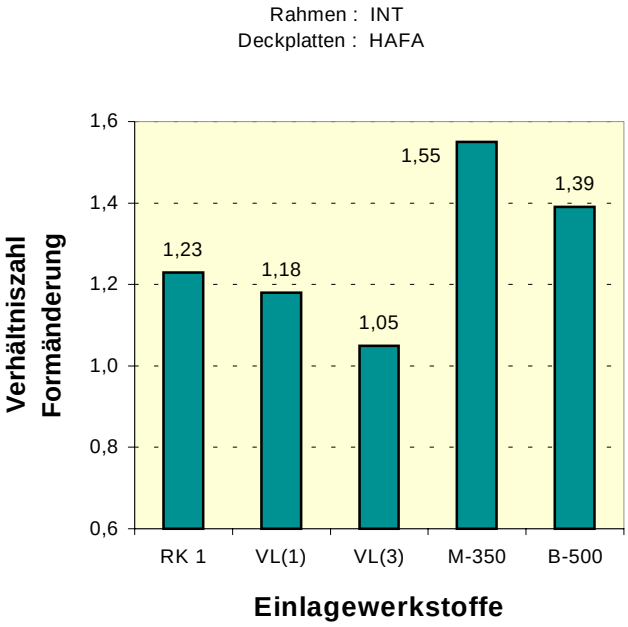
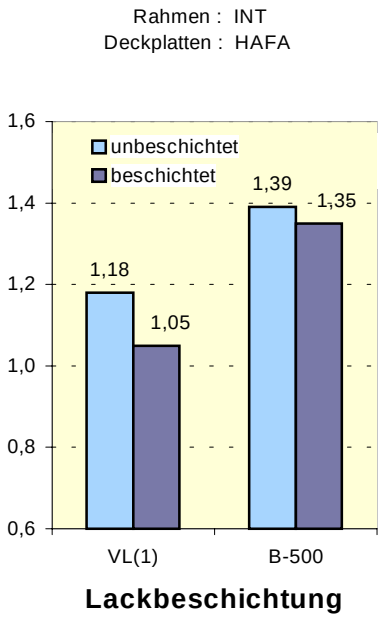


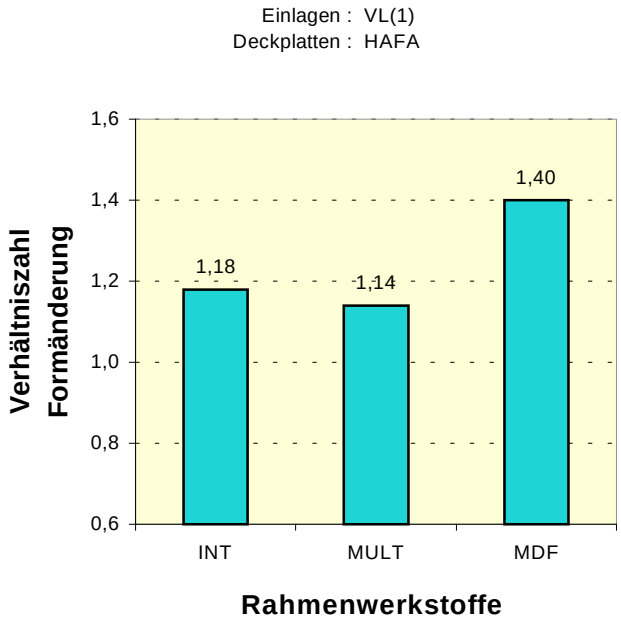
Bild 5.2-2 : **Gegenüberstellung des Formzustandes zu verschiedenen Zeitpunkten des Versuchsablaufes**

linker Teil : Formzustand nach Wechselklima-Einwirkung
rechter Teil : Formzustand nach Differenzklima-Einwirkung

Formänderung bei Werkstoffkombinationen







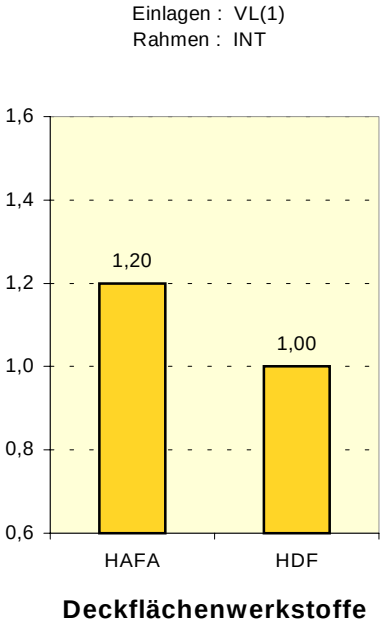


Bild 5.2-3 : **Gegenüberstellung der Verhältniszahl für die Formänderungs-Kenngröße FK 1**

Ergebnisse des Großversuches mit industriell hergestellten Türblättern

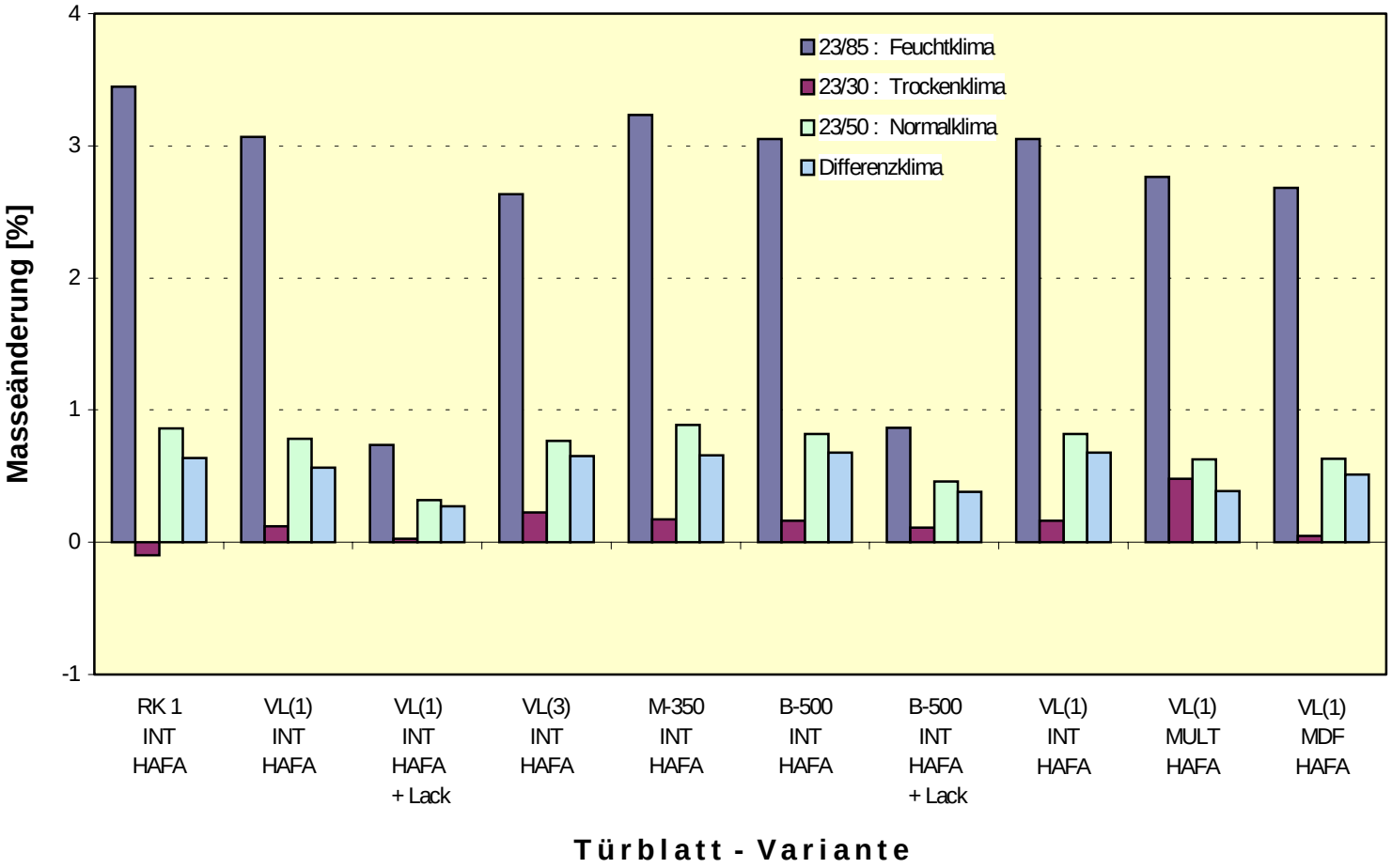


Bild 5.2-4 : **Masseänderung der Türblätter während der verschiedenen Klima-Einwirkungen**

Bezug der Werte auf den Zustand nach der ersten Einwirkung des Normalklimas 23°C / 50% rLF.

1. Feuchtklima : 23°C / 85% rLF
2. Trockenklima : 23°C / 30% rLF
3. Normalklima : 23°C / 50% rLF
4. Differenzklima : 3°C / 80% rLF : 23°C / 30% rLF