

**Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
Hamburg**

Arbeitsbericht

Instituts für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes

Nr. 2005 / 02

April 2005

Wabenplatten für den Möbelbau

Jan Poppensieker, Heiko Thömen

**Bundesforschungsanstalt
für Forst- und Holzwirtschaft**

und die

**Universität Hamburg
Zentrum Holzwirtschaft**



E-Mail: thoemen@holz.uni-hamburg.de

Tel: 040-73962-603 /-601

Fax:040-42891-2925



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Inhaltsverzeichnis | 2 |
| Abbildungsverzeichnis | 3 |
| Tabellenverzeichnis | 4 |
| 1 Einleitung | 5 |
| 1.1 Zielsetzung | 6 |
| 2 Stand der Technik | 8 |
| 2.1 Motive für den Leichtbau | 8 |
| 2.2 Leichtbauarten | 11 |
| 2.3 Wabenplatten | 14 |
| 2.4 Materialien und Herstellung | 16 |
| 2.4.1 Decklagen | 16 |
| 2.4.2 Wabenkerne | 17 |
| 2.4.3 Klebstoffe | 23 |
| 2.4.4 Herstellung | 26 |
| 2.5 Besonderheiten bei der Verwendung | 30 |
| 2.5.1 Beschlags- und Verbindungstechnik | 30 |
| 2.5.2 Schmalflächenbeschichtung | 34 |
| 2.5.3 Sonstige Hindernisse | 37 |
| 3 Kosten | 39 |
| 4 Prüfung und Normung | 46 |
| 5 Untersuchung elastomechanischer Eigenschaften | 52 |
| 5.1 Material und Methoden | 52 |
| 5.1.1 Vorversuche | 52 |
| 5.1.2 Materialien und Herstellung | 53 |
| 5.1.3 Untersuchungsmethoden | 60 |
| 5.2 Ergebnisse | 71 |
| 5.2.1 Biegefestigkeit und Biege-E-Modul | 71 |
| 5.2.2 Querkzugfestigkeit | 77 |
| 5.2.3 Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene | 79 |
| 5.2.4 Druckfestigkeit parallel zur Plattenoberfläche | 82 |
| 5.2.5 Zeitstandfestigkeit | 83 |
| 5.3 Diskussion der eigenen Untersuchungen | 84 |
| 6 Schlussfolgerungen und Ausblick | 92 |
| 7 Zusammenfassung | 97 |
| 8 Literaturverzeichnis | 100 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Klassifizierung verschiedener Plattenwerkstoffe nach ihrem Gewicht ... | 12 |
| Abbildung 2: Vergleich einer Wabensandwichplatte mit einem T-Träger. | 14 |
| Abbildung 3: Endlos-Honigwaben (Honicel) (links), Wellstegeinlage (SWAP) (rechts) | 18 |
| Abbildung 4: Herstellung von Wellstegeinlagen (nach Pflug 2004) | 18 |
| Abbildung 5: Herstellung von Endlos-Honigwaben (nach Pflug 2004)..... | 19 |
| Abbildung 6: Zusammenhang zwischen rel. Luftfeuchte und Papierfeuchte (Honicel) | 20 |
| Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Papierfeuchte und Druckfestigkeit (nach Honicel)..... | 21 |
| Abbildung 8: Betrachtungsrichtungen von Waben | 22 |
| Abbildung 9: Ausbildung einer Kehlnaht | 24 |
| Abbildung 10: (a) Minifix Adapter HC, (b) Tab A, (c) Rafix HC (Häfele 2005) | 31 |
| Abbildung 11: Beispiel für eine Blindnietmutter (Böllhoff) | 31 |
| Abbildung 12: Insert aus der Luftfahrtbranche (The Young Engineers, Inc.)..... | 32 |
| Abbildung 13: Querschnitt einer Eckverbindung nach dem Woodwelding-Prinzip (Kvist 2004)..... | 33 |
| Abbildung 14: Technologie des Kantenschuhs vom Ihd (Hänel, Weinert 2004) | 35 |
| Abbildung 15: Kantenbeschichtungsverfahren: (a) Stabilisierungskante, (b) Folding-Verfahren, (c) Post-Frame-Verfahren (IMA Klessmann GmbH) | 36 |
| Abbildung 16: Kunststoffprofile für den Kantenabschluss..... | 37 |
| Abbildung 17: Herstellungskosten einer Wabenplatte | 42 |
| Abbildung 18: Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit der Gesamtstärke | 43 |
| Abbildung 19: Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit der Gesamtstärke bei einer Spanplatte im Vergleich zur Wabenplatte | 44 |
| Abbildung 20: Prüfung der Druckfestigkeit des Wabenmaterials (Honicel)..... | 49 |
| Abbildung 21: Querkontraktion der Wabenmatte | 55 |
| Abbildung 22: Expansion der Waben..... | 56 |
| Abbildung 23: Versuchsaufbau Biegeprüfung (nach EN 310, 1993)..... | 60 |
| Abbildung 24: Versuchsaufbau Querkzugprüfung | 62 |
| Abbildung 25: Versuchsaufbau Druckprüfung, Stempel Ø 100 mm..... | 63 |
| Abbildung 26: Versuchsaufbau Druckprüfung, Stempel Ø 30,5 mm..... | 63 |
| Abbildung 27: Versuchsaufbau Druckprüfung, parallel zur Fläche | 65 |
| Abbildung 28: Versuchsaufbau Zeitstandfestigkeit | 68 |
| Abbildung 29: Messschiene | 69 |
| Abbildung 30: Versuchsaufbau Prüfung Zeitstandfestigkeit..... | 70 |
| Abbildung 31: Einfluss der Probenbreite auf Biegefestigkeit und E-Modul bei Typ I | 71 |
| Abbildung 32: Internes Aufreißen der Waben bei Biegung | 72 |
| Abbildung 33: Einknicken der Probe bei Biegung | 73 |
| Abbildung 34: Einfluss der Stützweite auf Biegefestigkeit und E-Modul bei Typ I | 74 |
| Abbildung 35: Einfluss der Legerichtung auf Biegefestigkeit und E-Modul bei Typ I | 75 |
| Abbildung 36: Quetschungen des Wabenkerns durch Biegung..... | 75 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 37: Biegefestigkeit und E-Modul in Abhängigkeit der Zellweite. Typ I, 15 mm; Typ II, 21 mm; Typ III, 25 mm. | 76 |
| Abbildung 38: Biegefestigkeit und E-Modul in Abhängigkeit der Gesamtstärke. Typ I, 21,4 mm; Typ IV, 15,4 mm; Typ V, 37,4 mm. | 76 |
| Abbildung 39: Einfluss der Zellweite auf die Querkzugfestigkeit. Typ I, 15 mm; Typ II, 21 mm; Typ III, 25 mm. | 78 |
| Abbildung 40: Zu geringer Expandierungsgrad bei Typ V..... | 79 |
| Abbildung 41: Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene, Stempel Ø 100 mm..... | 80 |
| Abbildung 42: Vergleich der Druckfestigkeit, senkrecht zur Oberfläche mit großem und kleinem Stempel. | 81 |
| Abbildung 43: Druckfestigkeit, parallel zur Oberfläche | 82 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Theoretische Gesamtpresszeit | 58 |
| Tabelle 2: Untersuchungsmaterial | 59 |
| Tabelle 3: Biegefestigkeit..... | 77 |
| Tabelle 4: Biege-E-Modul | 77 |
| Tabelle 5: Querkzugfestigkeit | 78 |
| Tabelle 6: Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene, Stempel Ø 100 mm..... | 79 |
| Tabelle 7: Druckfestigkeit senkrecht zur Platte, Druckstempel Ø 30,5 mm..... | 80 |
| Tabelle 8: Druckfestigkeit, parallel zur Oberfläche | 82 |
| Tabelle 9: Gemessene Höchstkräfte bei Druck, parallel zur Oberfläche | 83 |
| Tabelle 10: Zeitstandfestigkeit | 83 |
| Tabelle 11: Zusammenfassung der Eigenschaftsprüfungen, Typ I-V | 89 |
| Tabelle 12: Eigenschaften von anderen Leichtbaumaterialien | 90 |

1 Einleitung

Der Leichtbau hat sich als technische Disziplin aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrt entwickelt und von dort seine entscheidenden Anstöße erfahren. Er ist zunächst einmal als eine Zielvorgabe zu verstehen, aus funktionalen oder ökonomischen Gründen das Gewicht zu reduzieren oder zu minimieren, ohne die Tragfähigkeit, die Steifigkeit oder andere Funktionen der Konstruktion einzuschränken.

Produkte, die technisch nahezu ausgereift sind, erlangen durch die Umsetzung von Leichtbauprinzipien neue Qualitäten. Der Fahrzeugbau ist derzeit der wichtigste Absatzmarkt für Leichtbauwerkstoffe und -bauweisen. Aber auch in der Verpackungsmittelindustrie, der Baubranche, der Maschinen- und Anlagenbau und bei Sport- und Freizeitgegenständen ist das Potenzial an Leichtbauwerkstoffen noch nicht ausgeschöpft. Damit werden auch in Zukunft innovative Leichtbauwerkstoffe und Strukturen in der Industrie an Bedeutung gewinnen.

Knapper werdende Rohstoffvorkommen, steigende Umweltbelastungen und verschärfte Richtlinien, Gesetze und Abgaben werden in Zukunft dem Leichtbau als Konstruktionsprinzip zunehmend wirtschaftliche Vorteile eröffnen.

Auch die Möbelindustrie kann sich dieser Entwicklung nicht entziehen, denn im Gegensatz zum eigentlichen Hauptrohstoff Holz, der selbst als Leichtprodukt gelten könnte, sind die in der Regel verwendeten Span- und MDF-Platten relativ schwer.

Der gesellschaftliche Trend zu einer erhöhten Mobilität der Menschen wird die Hersteller von Möbeln veranlassen diese so zu gestalten, dass sie umzugskompatibel und auch innerhalb des Wohnumfeldes flexibel einsetzbar sind. Frederik Anderson von IKEA Schweden stellte im Rahmen des 2. Hamburger Holzwerkstoffsymposium dazu fest, dass das Standard-Billy-Regal mit seinen ca. 36 kg einige Kilogramm zu schwer sei, um vom Kunden problemlos mit einer Hand nach Hause transportiert werden zu können. Er betonte dabei, dass die Anforderungen an die Holzwerkstoffe geringes Gewicht, höhere Festigkeiten, geringe Emissionen und maximale Gestaltungsfreiheit in Zukunft immer bedeutender werden. In einer Trendanalyse zur Zukunft der deutschen Holzindustrie stand auch das Thema Gewicht zur Diskussion. Demnach stimmen zwei Drittel der Befragten zu, dass Holzprodukte in Zukunft deutlich leichter werden; insbesondere die Experten aus dem Bereich der Möbelindustrie stimmen der Aussage zu (Knauf, Frühwald 2004). So verwundert es nicht, dass gerade in den letzten zwei Jahren verstärkt über den Einsatz von Leichtbauplatten in der Möbelindustrie nachgedacht wird. Verschiedenste Leichtbaumaterialien stehen schon jetzt zur Verfügung, wobei ein Konzept besonders in Erscheinung tritt, die Wabenplatte. Im Prinzip ist sie keine neue Entwicklung, denn sie wird schon seit Jahrzehnten in der Türenindustrie eingesetzt, und selbst in der Möbelindustrie ist sie noch aus einer Zeit bekannt, als die Spanplatte noch nicht zu ihrem Siegeszug angetreten war. Es sind die Mitnahmemöbelhersteller, allen voran IKEA,

die die Wabenplatte, kombiniert mit einem internen umlaufenden Rahmen, als so genanntes „Board-on-Frame“-Verfahren für sich wiederentdeckt haben. Jüngste Entwicklungen von Seiten des Maschinen- und Anlagenbaus sollen zu einer effizienteren Herstellung dieser Platten führen. Der Fortschritt darf aber nicht auf der Stufe der weitgehend rationalisierten Herstellung von Wabenplatten mit internem Rahmen stehen bleiben. Ziel könnte die großformatige, rahmenlose Wabenplatte sein. Erst damit wird die Wabenplatte auch dem Trend zu mehr Individualität gerecht. Große Teile der Möbelindustrie leisten heute schon Schreinerarbeit unter industriellen Bedingungen. Die massenhafte Maßproduktion ist keine Ausnahme mehr. Die Möbelindustrie hat sich darauf mit der Umsetzung einer Losgröße-1-Fertigung eingestellt. Notwendig dafür ist ein Plattenwerkstoff, der individuell aufgetrennt werden kann. Bislang galt die Herstellung von großformatigen, rahmenlosen Wabenplatten als schwer erreichbar, da Verbindungsmittel und Kantengestaltung noch nicht auf diesen Werkstoff abgestimmt waren. Inzwischen gibt es aber Lösungsansätze, die den Weg zur rahmenlosen Platte ermöglichen könnten. Auf der diesjährigen ZOW-Messe konnten erste Angebote zu rahmenlosen Wabenplatten begutachtet werden, und selbst von Seiten der klassischen Holzwerkstoffhersteller scheint es Bestrebungen zu geben, in die Herstellung von Wabenplatten einzusteigen.

1.1 Zielsetzung

Das Thema Leichtbau in der Möbelindustrie ist derzeit in der Fachpresse stark präsent. Es fällt aber auf, dass sich viele Informationen in den letzten zwei Jahren wiederholen und nicht klar wird, auf welchem Stand sich die Branche schon befindet und welche Zielsetzungen sie verfolgt. Ziel dieser Arbeit ist es, einen umfassenden Überblick über das Thema Wabenplatten in der Möbelindustrie zu liefern, indem folgenden Fragestellungen nachgegangen wird:

- ◆ Welche Gründe sprechen für die Verwendung von Leichtbaumaterialien im Möbelbau, und wie grenzt sich die Wabenplatte von anderen Materialien aus dem Leichtbaubereich ab?
- ◆ Auf welchem Stand befindet sich derzeit die Herstellung von Wabenplatten, und wie ist die Herstellung und Materialauswahl mit der Zielsetzung einer rahmenlosen Wabenplatte zu bewerten?
- ◆ Es soll eine Analyse der Hauptkostengruppen für die Herstellung von Wabenplatten auf dem derzeitigen Entwicklungsstand durchgeführt und eine Bewertung der Prozesskette vom Plattenwerkstoff Wabenplatte bis zum fertigen Möbel vorgenommen werden.

- ◆ Welche Eigenschaftsanforderungen ergeben sich aus dem Möbelbau, und sind gängige Prüfmethode aus dem Bereich der Holzwerkstoffe auf Wabenplatten übertragbar? Außerdem sollen orientierende Festigkeitswerte von rahmenlosen Wabenplatten gewonnen werden.

Hierzu sollen die verfügbaren Quellen möglichst umfassend zusammengetragen und durch Gespräche mit Vertretern der am Thema Wabenplatten beteiligten Branchen ergänzt werden. Am Ende soll die Arbeit eine Informationsbasis darstellen, mit der es möglich ist die Zukunftsfähigkeit dieses Werkstoffs selber zu bewerten.

2 Stand der Technik

2.1 Motive für den Leichtbau

Leichtbau ist als eine Absichtserklärung zu verstehen, aus funktionellen, ökonomischen oder politischen Gründen das Gewicht zu reduzieren oder zu minimieren, ohne die Funktion der Konstruktion zu schmälern. Der Leichtbau folgt dabei im Grundsatz drei unterschiedlichen Zielen (Wiedemann 1986):

- Funktionsleichtbau:
Die Massenreduktion ist erforderlich, um eine gewisse Funktionalität zu erreichen, z.B. Beschleunigung oder große Abmessungen.
- Ökoleichtbau:
Massenreduktionen dienen der Energieeinsparung, z.B. Kraftstoffverbrauch.
- Spar-Leichtbau:
Einsparung von Kosten durch Materialeinsparungen.

Im Möbelbereich, sowie dem ihm übergeordneten Bauwesen, ist das Potential für Leichtbaumaßnahmen als mittel bis stark einzuschätzen, befindet sich aber derzeit noch auf einem geringen Niveau. Allerdings ist der Kostendruck in diesen Branchen extrem hoch; somit fließen wenig finanzielle Mittel in die Entwicklung solcher Produkte (Schmidt 2004).

Betrachtet man die geschichtliche Entwicklung des Möbelbaus im 20. Jahrhundert, stößt man zu verschiedensten Zeiten auf Leichtbaustrukturen, die aber jeweils aus unterschiedlichen Motiven eingesetzt wurden. Beispielsweise wurden in den 50er und 60er Jahren Serienmöbel zum Teil nicht mehr aus der sonst üblichen Tischlerplatte gefertigt, sondern aus Sandwichmaterialien. Diese hatten damals schon Papierwabenfüllungen, oder ein hohler Kern wurde durch sporadisch eingesetzte Massivholzleisten unterstützt. Das Motiv war darin begründet, über die Materialeinsparungen die Kosten zu senken. Zu der Zeit bestand ein großer Mangel an Baurohstoffen, und die Preise für Holz waren entsprechend hoch. Eine Gewichtsreduktion war in der Zeit noch kein Kriterium für die Auswahl der Materialien.

Das Gewicht spielte erst zunehmend mit der Einführung der Spanplatte in der Möbelindustrie eine Rolle. Eine Rohdichte von 700 kg/m^3 und mehr war lange Grund für Ressentiments gegenüber der Spanplatte, letztendlich hat sie sich aber aufgrund ihrer zahlreichen Vorteile durchgesetzt. Bis in die 80er Jahre hinein waren Leichtbaumaterialien in der Möbelindustrie in Vergessenheit geraten. Bis dahin kamen nur in Spezialanwendungen, vor allem im Caravan- und Yachtbau und in der Innenausstattung von Flugzeugen, leichtgewichtige Sandwichmaterialien zum Einsatz (Horden 2001). Hier war eine Reduktion des Gewichtes aller beteiligten Komponenten wichtig für die Sicherstellung der Gesamtfunktion.

Durch IKEA wurde das Thema Leichtbau in der Möbelindustrie wieder aufgenommen. Als Vorreiter auf dem damals noch jungen Markt der Mitnahmemöbel wurde 1982 die Möbellinie LACK auf den Markt gebracht. Diese bestand aus Wabenplatten mit einem umlaufenden

internen Rahmen, ein Konstruktionsprinzip, das in der Möbelindustrie in Vergessenheit geraten war, sich aber bei der Produktion von Zimmertüren etablieren konnte (IKEA 2004). Über den genauen Grund dieser Materialwahl lässt sich nur spekulieren, aber offensichtlich hat man bei IKEA schon früh erkannt, dass der Mitnahmemarkt nicht mit schwergewichtigen Möbeln zu bedienen ist. Wahrscheinlich werden aber Kosteneinsparungen durch den geringeren Materialverbrauch und geringere Transportaufwendungen auch eine Rolle gespielt haben.

An den Hauptmotiven zum Einsatz von Leichtbaumaterialien hat sich seit dem nichts geändert. Andere Rahmenbedingungen haben die Notwendigkeit zur Einsparung an Material und Gewicht nur noch weiter verstärkt.

Dass gerade in den letzten Jahren verstärkt über den Einsatz von Leichtbaumaterialien im Möbelbau nachgedacht wird, hat drei wesentliche Gründe:

1. Veränderung des Möbelmarktes:

Der Möbelhandel läuft immer mehr über das Mitnahme- und Discountergeschäft. Laut der Zeitschrift „MöbelKultur“ wird mittlerweile jeder zweite Euro für Möbel im Bereich der Mitnahmemöbel und Discounterangebote ausgegeben. Nicht zuletzt ist dies erkennbar an der Markenpräsenz der Firma IKEA, die an erster Stelle der bekanntesten Möbelmarken in Deutschland geführt wird (Anonymus 2004a).

2. Veränderungen im Möbeldesign:

Wenn man die Kataloge namhafter Möbelhersteller miteinander vergleicht, kristallisiert sich ein Design heraus, das einerseits auf schlanke Materialstärken, andererseits auf sehr dicke, wertig anmutende Materialien setzt oder diese kontrastreich miteinander kombiniert. Sei es bei Theken-, Tisch- und Küchenarbeitsplatten oder massiven Stollen und Wangen für Regale: hier werden nicht selten Materialstärken von 30 mm bis 70 mm eingesetzt.

3. Branchenübergreifender Trend zur Gewichts- und Materialeinsparung:

Durch knapper werdende Ressourcen, steigende Kraftstoffpreise und erhöhte Abgaben wird es aus ökonomischer und ökologischer Sicht immer wichtiger, überflüssiges Material und Gewicht einzusparen.

Am Beispiel der Firma IKEA lassen sich viele der Vorteile erklären, die sich durch die Verwendung von Leichtbaumaterialien im Möbelbau ergeben, weshalb dieses Beispiel im Folgenden etwas näher beleuchtet werden soll.

Beim Rundgang durch die Ausstellung einer IKEA-Filiale fällt auf, dass mittlerweile etliche Möbelserien ganz oder teilweise auf Wabenplatten basieren. Die Spanne reicht von Schlafzimmermöbeln, über Regalsysteme bis hin zu Tischen.

Wichtig im Mitnahmemöbelgeschäft ist, dass die Produkte dem Kunden nach Möglichkeit im SB-Bereich direkt zur Verfügung stehen und nicht erst über eine spezielle Warenausgabe an den Käufer abgegeben werden. Die Prinzipien „convenient shopping“ oder „immediate take-away“ sind wichtige Grundprinzipien der IKEA-Philosophie (IKEA 2004). Zur konsequenten

Umsetzung dieser Prinzipien bedarf es geringer Packstückgewichte, um dem Kunden die Entnahme aus dem Regal überhaupt zu ermöglichen. Bei großen Möbelteilen werden aus diesem Grund die Einzelteile in mehreren Paketen verpackt.

Durch eine Reduzierung der Packstückgewichte müssen Pakete nicht derart aufwendig verpackt werden, um ausreichend Schutz vor Beschädigungen auf dem Transport zu gewährleisten. Eine Gewichtsersparnis bei jedem einzelnen Möbelteil führt damit zu einem geringeren Verpackungsaufwand und niedrigeren Verpackungskosten.

Leichtere Möbel bringen weitere Vorteile für die interne Logistik der Firma. Alle Transportvorgänge, angefangen von dem Hersteller der Möbel, können besser ausgelastet werden. Gerade bei Mitnahmemöbeln, die in flachen Paketen verpackt werden, kann das Gewicht zu einem limitierenden Faktor beim Transport mit einem LKW werden. Bei Herstellern von vormontierten Kastenmöbeln ist in der Regel das Volumen limitierender Faktor. Zusätzlich zu der besseren Auslastung kommen die geringeren Treibstoffkosten. Jedes Kilogramm, das nicht beschleunigt werden muss, senkt den Kraftstoffverbrauch.

Für die Hersteller der Möbel bedeutet die Anwendung von Leichtbaumaterialien eine Ersparnis bei den Materialkosten. Gerade IKEA setzte schon früh auf sehr dicke Materialstärken als Stilelement. Würden sich diese Materialstärken in Wabenplattenfertigung nicht günstiger produzieren lassen, als dies mit herkömmlichen Spanplatten möglich ist, kann man davon ausgehen, dass IKEA nicht auf so ein Material zurückgreifen würde. Die Gewinnmargen bei IKEA sind zu klein, um einen Mehrpreis für eine Wabenplatte rechtfertigen zu können.

Zusätzlich zu diesen Gründen, bei denen sich eine Gewichts- bzw. Materialersparnis direkt monetär auswirkt, kommen noch sozio-ökonomische Gründe. Eine mit herkömmlichen Holzwerkstoffen verglichen stark optimierte Ressourcennutzung und die weitestgehende Nutzung von Recyclingmaterialien lassen die Wabenplatte laut IKEA (2001) im Hinblick zukünftiger Entwicklungen in einem sehr positiven Licht erscheinen. Dieser Faktor wird jetzt schon von Seiten des IKEA Marketings genutzt, um gerade in ihrer Zielgruppe ökologische Grundüberlegungen in die Kaufentscheidung miteinzubeziehen. Zusammenfassend ergeben sich für IKEA durch den Einsatz von Leichtbaumaterialien folgende Vorteile:

- geringere Materialkosten bei großen Materialstärken,
- geringere Transportkosten,
- geringere Verpackungskosten,
- Marketingvorteile.

Diese Vorteile ergeben sich natürlich auch für jeden anderen Hersteller bzw. Händler von Möbeln. In der einen oder anderen Form fallen diese dann mehr oder weniger stark aus. Allerdings sind es vor allem die Mitnahmemöbel, bei denen die geschilderten Effekte zu einer Kostensenkung führen. Aber auch für die Hersteller von Möbeln, die schon weitestgehend vormontiert beim Kunden angeliefert werden, ergeben sich Vorteile aus dem Einsatz von Leichtbaumaterialien. Dies fängt schon mit einem leichteren innerbetrieblichen Handling während der Produktion an. Auf eine 2-Mann-Handhabe oder in die Investition von Handhabungshilfen wie Vakuumsauger kann

eventuell verzichtet werden. Beschädigungen beim Möbeltransport oder Beschädigungen, die durch die Auslieferung und Montage beim Kunden entstehen, führen zu hohen Aufwendungen durch Reklamationen. Diese können durch die Nutzung von leichteren Materialien zum Teil vermieden werden.

Nicht zuletzt bringt das Thema Leichtbau der Möbelindustrie einen gewaltigen Innovationschub. Die seit Jahren stagnierende Branche kann sich auf diese Weise auf Messen und anderen Veranstaltungen mit der Präsentation neuer Materialien als innovationsstark und modern darstellen und kann daraus Marketingvorteile nutzen. Die Vorteile eines leichten Möbels müssen dem Kunden nur hinreichend bewusst gemacht werden. Dies sollte gelingen, wenn man an die Umzugsproblematik mit Möbeln denkt oder sich vor Augen führt wie unhandlich und schwer gerade große Möbelteile sind. Bei asiatischen Kunden gilt „Leichtigkeit“ traditionell als Qualitätsmerkmal. So verwundert es nicht, dass auf dem asiatischen Markt angeblich bis zu 80% der Möbel aus Leichtbaustrukturen gefertigt werden (Anonymus 2004b). Wenn es gelingt, den europäischen Kunden ein Bewusstsein zu vermitteln, dass „Leichtigkeit“ ein Qualitätsmerkmal darstellt, dann sollte die Kaufentscheidung des Kunden nicht mehr nur von einem niedrigeren Preis abhängen, sondern auch von einem möglichst geringen Gewicht.

2.2 Leichtbauarten

Leichtbauplatten in der Holzindustrie sind nicht neu. Es gibt sie schon so lange wie es Holzwerkstoffe gibt. Sperrhölzer aus leichten Holzarten oder Faserdämmplatten zu Isolationszwecken, die im Nassverfahren schon seit 1906 hergestellt werden, sind Beispiele dafür (Suchsland, Woodson 1986). Während sich die Span und MDF-Platten zu dem Standardprodukt der Möbelindustrie entwickelten, wurden diese aus qualitativen Gründen eher schwerer als leichter (Michanickl 2004). Frühe Leichtbaukonzepte, wie es die Röhrenspanplatte darstellt, blieben bislang auf Anwendungen in der Türenindustrie beschränkt.

Für den Begriff Leichtbauplatte gibt es keine einheitliche Definition. Allgemein kann man aber sagen, dass bei Rohdichten unter 500 kg/m^3 und abwärts der Leichtbau beginnt. Damit fallen auch die etablierten Tischlerplatten und leichte Sperrhölzer bzw. die Röhrenspanplatten unter diese Kategorie. Abbildung 1 zeigt, dass es verschiedenste Varianten gibt, auf welche Weise man leichte Plattenwerkstoffe realisieren kann.

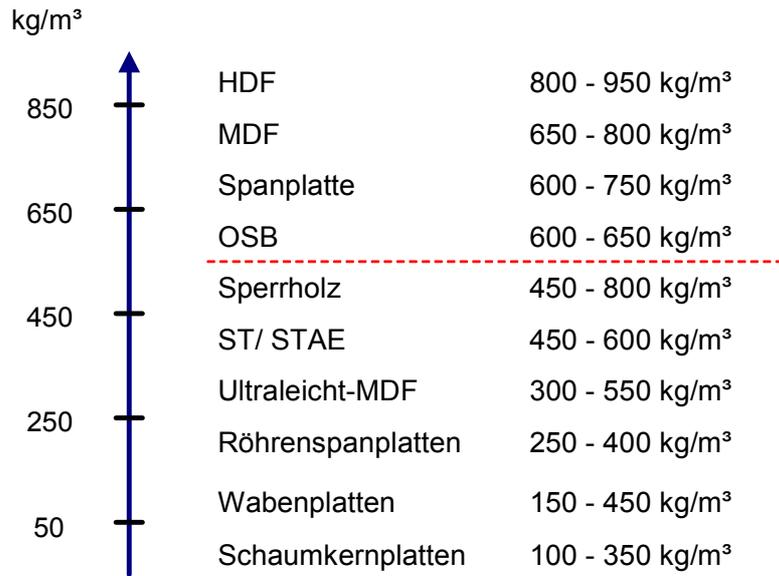


Abbildung 1: Klassifizierung verschiedener Plattenwerkstoffe nach ihrem Gewicht

Momentan gibt es in allen Sparten der Holzwerkstoffindustrie Bestrebungen, einen leichten Plattentyp auf den Markt zu bringen. Die diesjährige ZOW-Messe (2005) verdeutlichte diesen Trend. Die Angebotspalette der Werkstoffe ist vielfältig. Gemeinsam ist ihnen lediglich das geringere Gewicht. Die Anbieter gehen dabei unterschiedlichen Konzepten nach. Es kristallisieren sich vier Grundtypen heraus:

1. Verringerung der Rohdichte über eine geringere Verdichtung des Materials.
2. Verringerung der Rohdichte durch den Einsatz sehr leichter Holzarten oder Einjahrespflanzen.
3. Gestaltung als hohlkernige Platte (Röhrenspanplatte).
4. Gestaltung als Sandwichplatte mit leichten homogenen oder inhomogenen Kernmaterialien.

Es gibt praktisch alle klassischen Holzwerkstoffe als Leichtbauversion. Sei es bei MDF-, OSB- oder der Spanplatte, alle lassen sich durch eine geringere Verdichtung des Materials leichter herstellen. In Kombination mit leichteren Holzarten werden die Gewichtserparnisse entsprechend größer und können bis zu 50% erreichen. Die Materialersparnis bei diesen Platten schlägt sich nicht auf den Preis nieder. Dieser liegt aufgrund einer aufwendigeren Verfahrenstechnik über dem herkömmlicher Platten.

Span- bzw. Faserplatten auf Basis von Einjahrespflanzen liegen auch deutlich unter dem Gewicht der klassischen Span- und MDF-Platte. Ihre Rohdichte liegt zwischen 300-600 kg/m³. Hergestellt werden sie aus Hanf, Stroh, Flachs und weiteren Einjahrespflanzen.

In Verbindung mit einer Gewichtsreduzierung im Möbelbau kommen auch die Röhrenspanplatten wieder zunehmend ins Gespräch, liegt ihre Rohdichte mit 250-400 kg/m³ doch deutlich unter der von Flachpressspanplatten.

Auch die Hersteller von Stab- und Stäbchenplatten folgen dem Trend zum Leichtbau. Obwohl schon herkömmliche Tischlerplatten deutlich leichter als Span- oder MDF-Platten sind, werden extra Leichtbauversionen angeboten. Durch den Einsatz von sehr leichten Holzarten in den Mittellagen, wie Balsa (50-300 kg/m³) oder Ceiba (ca. 300 kg/m³), erreichen diese Platten je nach Dicke Rohdichten von bis zu 160 kg/m³.

Ebenfalls sehr leicht sind Platten aus Blähglas (ca. 415 kg/m³) oder geschäumtem Aluminium ALPORAS® (230 kg/m³). Diese können mit Holzbearbeitungsmaschinen verarbeitet werden und sind besonders für Anwendungen mit erhöhten Anforderungen an den Brandschutz geeignet.

Bereits etabliert sind Sandwichplatten mit Schaumkernen aus Polyurethan oder Polystyrol. Der Schaumkern wird mit Decklagen aus dünnen Holzwerkstoffen beplankt, Direktbeschichtungen mit dekorativen Schichtstoffen sind auch denkbar. Das Raumgewicht dieser Platten liegt zwischen 100-350 kg/m³. Daraus ergibt sich eine Gewichtseinsparung von über 60 % gegenüber einer Spanplatte. Das Wirkungsprinzip der Sandwichplatten wird näher in 2.3 erklärt. Charakteristisch für Sandwichplatten ist, dass das spezifische Gewicht mit zunehmender Querschnittsdicke abnimmt. Dies gilt entsprechend auch für die Tischlerplatten. Die Schaumverbundplatten lassen sich mit den üblichen Holzverarbeitungstechniken bearbeiten und bieten durch das homogene Kernmaterial genügend Halt für Beschläge und Kanten. Eingesetzt werden diese Platten vor allem im Caravan- und Bootsbau. Aufgrund ihres hohen Preises bleiben sie auf Spezialanwendungen beschränkt.

Eine andere Sandwichstruktur, die für den Möbelbau angeboten wird, basiert auf einem Kernmaterial aus Phenolharz imprägnierten, dreidimensionalen Glasgewebe, so genanntes Monocore®. Das Gewicht liegt mit 110-300 kg/m³ im untersten Bereich der für den Möbelbau angebotenen Materialien. Diese spezielle Sandwichstruktur ist laut Hersteller besonders feuerresistent und damit für Anwendungen geeignet, die in dieser Hinsicht hohe Anforderungen stellen.

Sandwichplatten mit Wabenkernen werden in Abschnitt 2.3 gesondert vorgestellt.

Für alle vorgestellten Leichtbauvarianten gilt, dass durch die Reduzierung des Gewichtes die Festigkeiten der Platten, im Vergleich zu herkömmlichen Holzwerkstoffen, deutlich verringert sind. Preislich liegen alle Varianten zum Teil sehr deutlich über den herkömmlichen Holzwerkstoffen. Alternative Rohstoffe und eine aufwändige Verfahrenstechnik führen in aller Regel dazu, dass sich selbst bei Materialeinsparungen höhere Herstellungskosten ergeben. Dafür bieten sie aber alle ein geringes Gewicht und teilweise wertvolle zusätzliche Eigenschaften, wie eine erhöhte Feuerresistenz.

2.3 Wabenplatten

Ein beliebtes und derzeit viel diskutiertes Prinzip zur Verwirklichung von Leichtbaustrukturen sind Wabenplatten. Ihr Konstruktionsprinzip entspricht dem eines Sandwichaufbaus. Als Sandwich¹ kann man im weitesten Sinn jede mehrschichtige Flächenstruktur bezeichnen; im eigentlichen Sinn handelt es sich um dreischichtige Konstruktionen aus:

- den beiden Decklagen, die paarweise die tragende Struktur bilden und aus entsprechend festem und steifem Material sind;
- der Zwischenschicht, dem Kern, der die Aufgabe übernimmt, die Decklagen zu stützen, Querkräfte aufzunehmen und vor allem mit hohem spezifischen Volumen (kleinem spezifischen Gewicht) für einen großen Abstand der Decklagen zu sorgen (Wiedemann 1986).

Eine Sandwichstruktur wirkt statisch wie ein Doppel-T-Träger. Die Deckschichten entsprechen den Gurten, sie übertragen die unter Biegebeanspruchung auftretenden Zug- und Druckspannungen. Die Kernschicht nimmt entsprechend dem Steg des Doppel-T-Trägers, die Schubbeanspruchungen und die Biegequerkräfte auf. Die Vergrößerung des Querschnitts durch das Kernmaterial führt zu einer Erhöhung des Flächenträgheitsmomentes, indem die Festigkeit gebenden Schichten möglichst weit von der neutralen Achse angeordnet werden. Dadurch erhöht sich die Steifigkeit der Konstruktion.

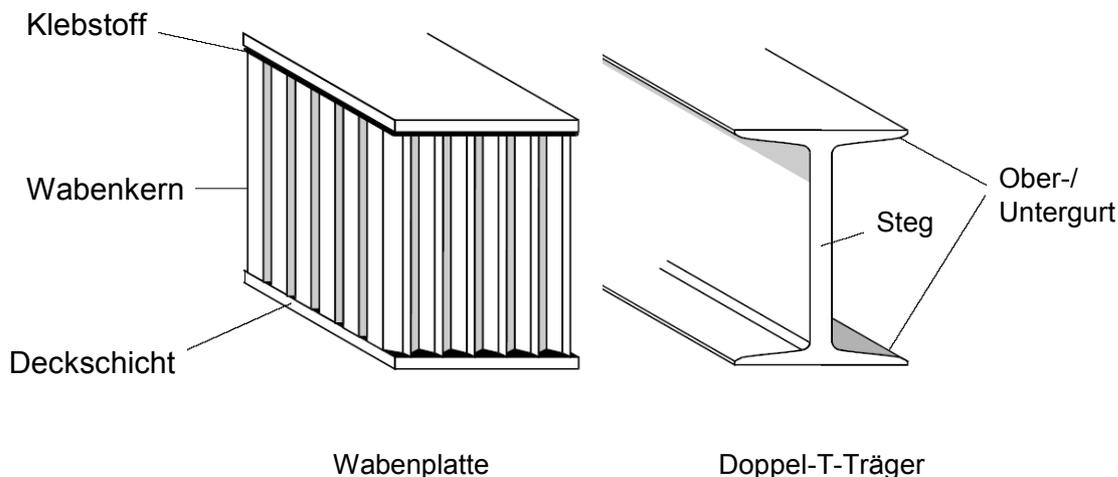


Abbildung 2: Vergleich einer Wabensandwichplatte mit einem T-Träger.

Damit werden in einer Sandwichbauweise verschiedene Materialien nach ihren spezifischen Eigenschaften zweckvoll kombiniert. Sandwichmaterialien unterscheiden sich nach der Struktur ihres Kernes. Es gibt homogene und inhomogene Kernmaterialien. Sandwichplatten

¹ Sandwichplatten tragen ihren Namen der Legende nach von John Montagu, dem vierten Earl of Sandwich (1718-1792). Der passionierte Kartenspieler wies seinen Butler an, ihm ein paar belegte Brote zu richten, das so genannte Sandwich. Eine Mahlzeit, die er mit einer Hand essen konnte, ohne die Karten aus der Hand zu legen.

mit einem homogenen, massiven Kern wurden bereits in 2.2 erwähnt. Für die Möbelfertigung sind dies in erster Linie die Schaumplatten und streng genommen auch die Tischlerplatten. Zu den Sandwichplatten mit inhomogenem Kernmaterial gehören die Wabenplatten. Durch den Einsatz von Wabenplatten lassen sich ähnlich wie mit den Schaumplatten enorme Gewichtsersparnisse erzielen.

Das Spektrum der Anwendungen, in denen Wabenplatten zum Einsatz kommen, ist vielfältig. Dementsprechend groß ist die Bandbreite der Materialien und Zellstrukturen, die den Wabenkern bilden. Die Form der Zellen muss dabei nicht unbedingt an die von Bienen angelegten Honig-Waben erinnern. Die Zellen können quadratisch, rechteckig, dreieckig, gewellt oder sogar rund sein, bilden aber immer eine Fläche aus sich wiederholenden, identischen Strukturen. Als Materialien kommen je nach Einsatzort und Beanspruchung Metalle, Kunststoffe, Keramiken oder Papier zum Einsatz. Hochwertige Waben sind meist aus Aluminium oder imprägnierten Aramid- oder Glassfasermatten wie die Nomex[®]-Wabe. Diese werden in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt oder dienen der Herstellung von hochwertigen Sportgeräten. Die Bodenplatten der Passagiergastzelle eines Verkehrsflugzeuges sind beispielsweise aus einer 10 mm dicken Wabenplatte gefertigt. Charakteristisch für Wabenplatten ist die in sich aufgelöste Struktur der Kernschicht. Dies ermöglicht eine im Verhältnis zum Gewicht äußerst hohe Tragfähigkeit und Stabilität, bedingt aber auch Schwierigkeiten bei der Kantengestaltung und der Realisierung von Kraffteinleitungspunkten.

Im Möbelbau und bei Bauelementen wie Zimmertüren werden aus Preisgründen meist einfache Altpapierwaben eingesetzt. Vereinzelt werden auch Waben aus Aluminium oder Polypropylen angeboten, die für Anwendungen mit erhöhten Anforderungen an den Brandschutz, Festigkeit oder die Feuchteresistenz in Frage kommen. Das Raumgewicht der Wabenplatten im Möbelbau liegt ca. zwischen 150-450 kg/m³. Dabei ist neben der Stärke der Platte natürlich auch die Konstruktion (mit oder ohne internem Rahmen) und die Wabenart entscheidend für das Gewicht. Papierwaben werden derzeit ausschließlich für stärkere Platten eingesetzt. Dünne Platten (< 20 mm) werden für Möbel nicht oder wenn nur mit Aluminium oder Kunststoffwaben verwendet.

Das derzeit größte Einsatzgebiet für Wabenplatten sind die Mitnahmemöbel. Hier werden Wabenplatten mit internem umlaufenden Rahmen eingesetzt. Diese werden als Fixmaßplatten auf speziellen Anlagen hergestellt. IKEA allein setzt jährlich ca. 10 Millionen m² Wabenmaterial für seine Möbel ein. Großformatige Wabenplatten ohne internen Rahmen erscheinen erst in der jüngsten Vergangenheit am Markt. Diese werden bisher für Möbelkleinserien, spezielle Möbel-Projekte oder den Messebau produziert. Kleine mittelständische Unternehmen besetzten bisher alleine diese Nische. Klassische Holzwerkstoffhersteller scheinen aber Interesse zu haben in diesen Markt mit einzusteigen. Die Firma Unilin stellte dazu auf der diesjährigen ZOW erste Entwicklungen aus.

2.4 Materialien und Herstellung

2.4.1 Decklagen

Als Decklagen für Wabenplatten im Möbelbau kommen verschiedene Materialien zum Einsatz. Je nach Zweck und Belastung der Platten reicht die Spanne von plattenförmigen dünnen Holzwerkstoffen, Furnieren, dicken Papierlagen bis hin zu HPL-Dekorlaminaten. Die meisten Wabenplatten sind mit dünnen Holzwerkstoffen als Decklagen versehen. Waren es in den Anfängen der Wabenplatten in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts meist dünne Sperrholzplatten², so sind es heute entweder Dünnspon- oder MDF/HDF-Platten. Diese Holzwerkstoffe werden in Europa entweder auf kontinuierlich arbeitenden Doppelband-Pressen oder Kalandern gefertigt. Die Platten sind je nach Material ab ca. 2 mm Stärke am Markt verfügbar. Als Decklage für Wabenplatten werden sie jedoch meist in einem Bereich von 3 mm bis 8 mm Dicke eingesetzt. Entscheidend für die Auswahl des Materials ist die zu erwartende Belastung der Wabenplatte und deren Beschichtung bzw. Oberflächenbehandlung. Allgemein sind dabei folgende Eigenschaften von Interesse:

- hohe Biegesteifigkeit
- hohe Zug- und Druckfestigkeit
- hohe Stoßfestigkeit
- hohe interne Festigkeit (Querzugfestigkeit)
- gute Oberflächenbeschaffenheit
- Kosten

Die Decklagen bedingen mit ihren Festigkeiten die Eigenschaften der Wabenplatte. Jedoch tritt der Einfluss der Decklagen auf die Eigenschaften der Wabenplatte mit abnehmender Gesamtstärke der Platte zurück. Vielmehr kommt es bei geringen Decklagenstärken auf ein optimales Zusammenspiel zwischen Wabenkern und Decklagen an. Je geringer die Festigkeiten der Decklagen, desto größer muss die Unterstützung durch die Waben sein. Da Wabenplatten im Möbelbau meist weitmaschige Wabenkerne besitzen, müssen die Decklagen ein Mindestmaß an Biege- und Stoßfestigkeit besitzen, um die geringe Unterstützung der Waben auszugleichen. Andernfalls kann es bei Bauteilquerbelastungen leicht zu Einbeulungen oder sogar schlimmstenfalls Durchstoßungen kommen. Im Hinblick auf eine mögliche Verankerung von Verbindungselementen und Beschlägen ist eine hohe Querzugfestigkeit des Decklagenmaterials von großer Wichtigkeit (Albin et al. 1991)

Je nachdem, welches Kriterium für den Hersteller von Wabenplatten im Vordergrund steht, wird die Wahl auf den einen oder anderen Holzwerkstofftyp fallen (Riepertinger 2004):

Festigkeiten:

Sperrholz >> HDF/MDF-Platten > Dünnsponplatten > Hartfaserplatten

Oberflächengüte:

HDF/MDF-Platten > Dünnspanplatten > Hartfaserplatten³ > Sperrholz

Preis:

Sperrholz >> HDF/MDF-Platten > Dünnspanplatten > Hartfaserplatten

Bei den derzeit eingesetzten Wabenplatten für den Möbelbau wird in der Regel nur noch zwischen Dünnspanplatten und HDF/MDF-Platten ausgewählt. Dabei werden alle Wabenplatten, die direkt lackiert werden aus HDF/MDF-Platten hergestellt. Wabenplatten, die mit Furnier, HPL oder Folien beschichtet werden, können auch, bei leichter Abnahme der Festigkeiten, aus Dünnspanplatten produziert werden. Vorteil ist dann der geringere Preis.

Bei statisch nicht belasteten Bauteilen wie Türfüllungen oder Verkleidungen können die Waben auch direkt mit HPL- Dekorschichtstoffen oder starken Papieren beschichtet werden.

2.4.2 Wabenkerne

Im Bereich der Wabenkerne gibt es zahlreiche Materialien und Strukturen, die im Laufe der Zeit entwickelt wurden. Das erste Patent zur Herstellung von Kraftpapier-Waben ist das Budwig Patent, das 1905 in Deutschland angemeldet wurde. In den dreißiger Jahren wurden einfache Papierwaben erstmals in Möbeln eingesetzt, die dort mit dünnen Sperrhölzern oder Furnieren beplankt waren. Erst nach dem zweiten Weltkrieg folgte die Entwicklung höherwertiger Wabenmaterialien aus Aluminium und Kunststoffen, die dann vornehmlich in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wurden (Bitzer 1997). Für Anwendungen in der Möbelindustrie kommt abgesehen von Spezialanwendungen weiterhin nur Papier als Wabenmaterial zum Einsatz.

Im Bereich der Papierwaben gibt es zwei verschiedene Systeme, die sich bezüglich ihrer Herstellung als auch ihrer Eigenschaften stark unterscheiden. Es ist einmal die aus Zimmertüren seit Jahrzehnten bekannte Endlos-Wabe mit klassischer hexagonaler Zellform sowie die Wellstegeinlagen mit einer sinusförmigen Wabe (Abbildung 3).

² Span- und MDF-Platten wurden zu der Zeit noch nicht industriell hergestellt.

³ Hartfaserplatten haben zwar eine sehr glatte Oberfläche aber einen dunklen Farbton, der manche Oberflächenbeschichtungen erschwert.

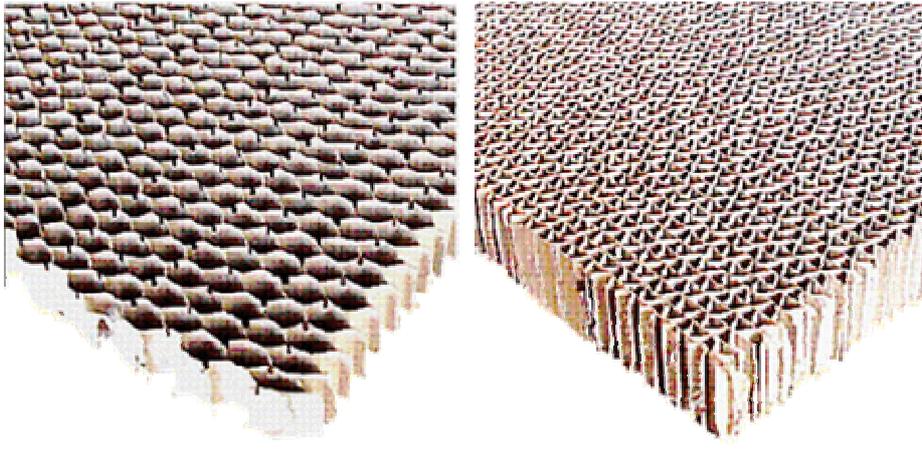


Abbildung 3: Endlos-Honigwaben (Honicel) (links), Wellstegeinlage (SWAP) (rechts)

Die Wellstegeinlage wird aus einseitig beschichteten Wellpappen hergestellt. Diese bestehen aus der eigentlichen Welle, einer Papierbahn, die mit Hilfe von gezähnten Doppelwalzen ihre charakteristische Welle erhält, und einer Absperrung aus einem hochfesten Liner. Als Papierrohstoff wird Recyclingpapier verwendet. Die einzelnen Pappbögen werden auf der Seite der Absperrung beleimt und dann übereinander angeordnet und zu einem Block verpresst. Von diesem Block können dann die Wellstegeinlagen in der gewünschten Stärke vom Stirnende her abgetrennt werden.

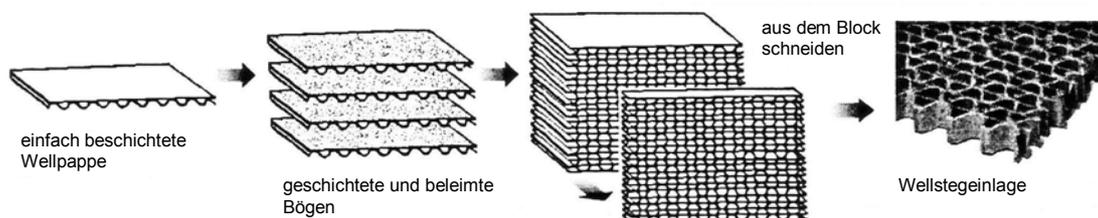


Abbildung 4: Herstellung von Wellstegeinlagen (nach Pflug 2004)

Bei Verwendung von Standard Wellpappen ergibt sich eine Zellgröße von 5 mm. Der führende Hersteller dieser Wellstegeinlagen bietet diese in Formaten bis 3050 mm Länge und 1250 mm Breite an. Die Stärke kann beliebig zwischen 6 – 95 mm gewählt werden. Bei Verwendung eines Papiers mit einer Grammatur von 115 g/m², liegt das Gewicht bei ca. 85 g/m² pro Millimeter Dicke (SWAP).

Außer im Möbelbereich wird dieses Material noch für Displays im Messe-, Laden- und Kulissenbau, als Verpackungsmaterial in Form von Paletten und Schutzbehältern und als Kernmaterial für Verkleidungsteile im Automobilbereich verwendet.

Wellstegeinlagen bieten aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Zellgröße und der plattenförmigen Produktion eine relativ hohe Druckfestigkeit und hohe Biegesteifigkeit. Die Platten verhalten sich, bezogen auf ihr Biegeverhalten, orthotrop. Das bedeutet, das Material hat rechtwinklig aufeinanderstehende Hauptrichtungen. In Richtung des Verlaufs der Absperrschicht sind die Wellstegeinlagen wesentlich biegesteifer als rechtwinklig dazu.

Das Material wird plattenförmig beim Kunden angeliefert und kann direkt weiterverarbeitet werden. Es ist mit allen gängigen Maschinen in der Möbelindustrie zu bearbeiten. Entscheidender Nachteil ist der große Platzbedarf bei Transport und Lagerung. Transportfahrzeuge werden nur zu einem geringen Maß ihrer möglichen Zuladung ausgelastet. Das macht den Transport und die Lagerung teuer. Hinzu kommt der hohe Preis für dieses Material. Trotzdem ist dieses Wabenmaterial, wenn es um die Herstellung rahmenloser Wabenplatten geht, bisher führend am Markt.

Wie die Wellstegeinlage, werden auch die Endlos-Honigwaben aus günstigem Recyclingpapier (Testliner) hergestellt. Dazu wird ein Klebstoff, Wasserglas oder PVAc-Leime in mehreren Linien auf eine Papierbahn aufgebracht. Der Abstand der Klebstofflinien bestimmt dabei die spätere Zellgröße. Anschließend werden mehrere Blätter von dieser Papierbahn versetzt übereinander zu einem Stapel verleimt. Die Stapel werden dann in Streifen geschnitten. Das Schneiden kann auch vor dem Verleimen zum Stapel durchgeführt werden. Die Streifenbreite entspricht dabei der gewünschten Höhe des Wabenmaterials. Schließlich werden die streifenförmigen Stapel um 90° gedreht und zu einer Endlosmatte miteinander verleimt.

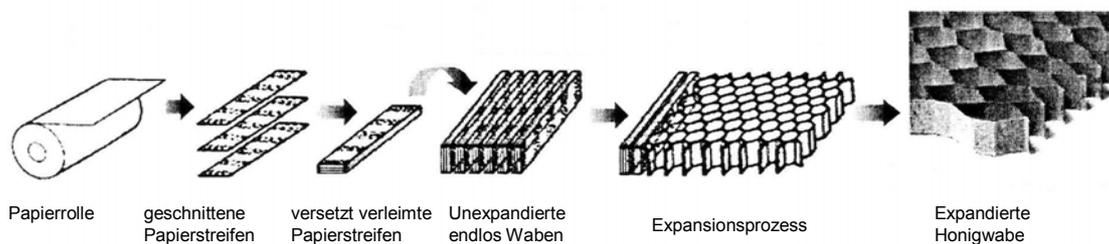


Abbildung 5: Herstellung von Endlos-Honigwaben (nach Pflug 2004)

Die Endloswaben werden in der Regel auf Paletten platzsparend verpackt, so dass sich ca. 30000 m² Wabenmatte auf einem LKW transportieren lassen. Erst beim Kunden wird die Wabenmatte expandiert, wodurch die typische hexagonale Form der Zellen entsteht. Der Expandierungsprozess findet in einer speziellen Maschine statt. Hier wird die Matte so weit auseinander gezogen, bis die Zellen ihre volle Größe erreicht haben. Die expandierte Matte durchläuft dann eine Trockenstufe, in der das Papier auf ca. 3 % Feuchte getrocknet wird. Durch die Wärmeeinwirkung werden Spannungen, die durch das Auseinanderziehen der Waben entstanden sind, abgebaut. Dadurch wird die Wabenmatte in dieser expandierten Form fixiert. Eine Kalibrierstufe sorgt anschließend für den Ausgleich produktionsbedingter Schwankungen der Dicke des Materials und vergrößert durch die Aufrauung der Papierstege

die verleimungswirksame Oberfläche. Abschließend bringen Sägeaggregate die Matte auf das gewünschte Format.

Endlos-Honigwaben sind in verschiedenen Abmessungen und unterschiedlichen Zellweiten zu beziehen. Die minimale Zellgröße und Wabenhöhe liegt dabei gewöhnlich bei 10 mm. Das Verleimen und Schneiden wird bei kleineren Größen zu zeit- und damit kostenaufwändig. Die Stärke des Wabenmaterials kann zwischen 10 mm und 100 mm frei gewählt werden. Zellgröße und Grammaturn des Papiers richten sich nach dem Verwendungszweck und der zu erwartenden Belastung. Die Zellweiten liegen zwischen 10 mm und 30 mm und können sowohl aus 140 g/m², als auch 170 g/m² schwerem Papier hergestellt werden. Für jeden Wabentyp ergeben sich damit unterschiedliche Festigkeiten und auch Raumgewichte. Als Richtwert wird die Druckfestigkeit und das Gewicht für jeden Wabentyp vom Hersteller angegeben. Für waagrecht angeordnete Möbelteile werden Zellweiten von 15 bis 21 mm empfohlen, für stehende Teile Zellweiten von 25 – 30 mm (Honicel).

Für Spezialanwendungen können die Waben aus kunstharzimprägnierten Papieren hergestellt werden; dadurch werden sie feuchte- bzw. feuerresistent.

Wird die Wabenplatte heiß verpresst, sollten die Waben vom Hersteller mit Entlüftungsnuten versehen werden. Damit ist ein problemloses Entgasen während der Verpressung gewährleistet. Andere Hersteller perforieren die Papierwaben, um den gleichen Effekt zu erzielen. Entsprechende Entgasungsvorrichtungen sind auch bei Lösungsmittelhaltigen Klebstoffen erforderlich, da die flüchtigen Lösungsmittel beim Abbindevorgang nach Außen gelangen müssen.

Charakteristisch für Papierwaben ist ihre geringe Resistenz gegenüber Feuchtigkeit. Diese führt zu einem Aufweichen des Papiers und senkt die Festigkeiten der Wabe. Ähnlich wie Holz ist Papier hygroskopisch. Es kann den Wasserdampf in der Umgebungsluft aufnehmen und sorptiv binden. Papier ist bestrebt, bezüglich seines Feuchtigkeitsgehaltes mit der umgebenden Luft einen Gleichgewichtszustand herzustellen. Dadurch stellt sich immer eine der relativen Luftfeuchtigkeit entsprechende Papierfeuchte ein (Abbildung 6). Unter dem Feuchtegehalt in Prozent versteht man die Masse Wasser im Papier, bezogen auf die Masse des absolut trockenen Materials. Dieser darf nicht mit dem absoluten Feuchtegehalt verwechselt werden, der bei der Papierherstellung als Mess- und Regelgröße dient.

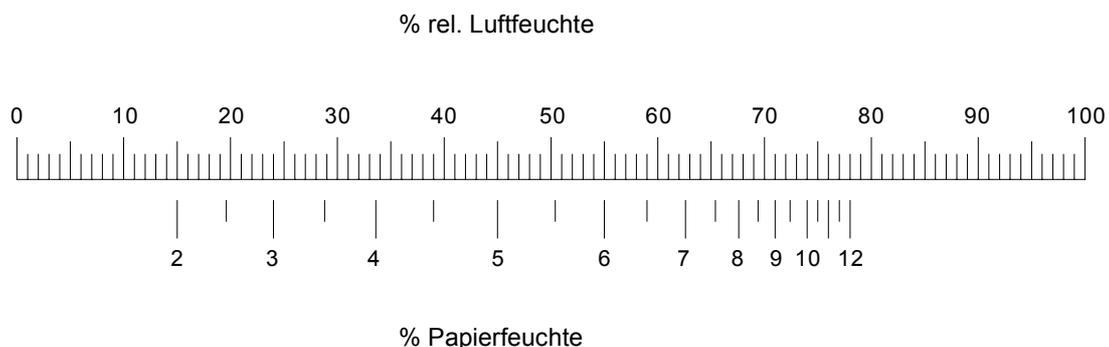


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen rel. Luftfeuchte und Papierfeuchte (Honicel)

Die Waben werden mit einer Papierfeuchte von ca. 12-15 % beim Kunden angeliefert. In der Expandiermaschine, bzw. Trockenofen werden sie dann auf ca. 3 % runtergetrocknet. Das Trocknen dient nicht nur der Fixierung der Waben in der expandierten Form, sondern soll einerseits sicherstellen, dass möglichst wenig Wasser in das Sandwich eingebracht wird, und andererseits die Festigkeiten der Waben erhöhen. Erst bei ca. 3 % Papierfeuchte erreicht das Wabenmaterial die vom Hersteller angegebene Druckfestigkeit (Abbildung 7). Gerade für den Pressvorgang muss die Wabe diese Druckfestigkeit halten können, später nimmt die Wabe je nach Umgebungsbedingungen mit der Zeit wieder eine Feuchte von 8 – 10 % an.

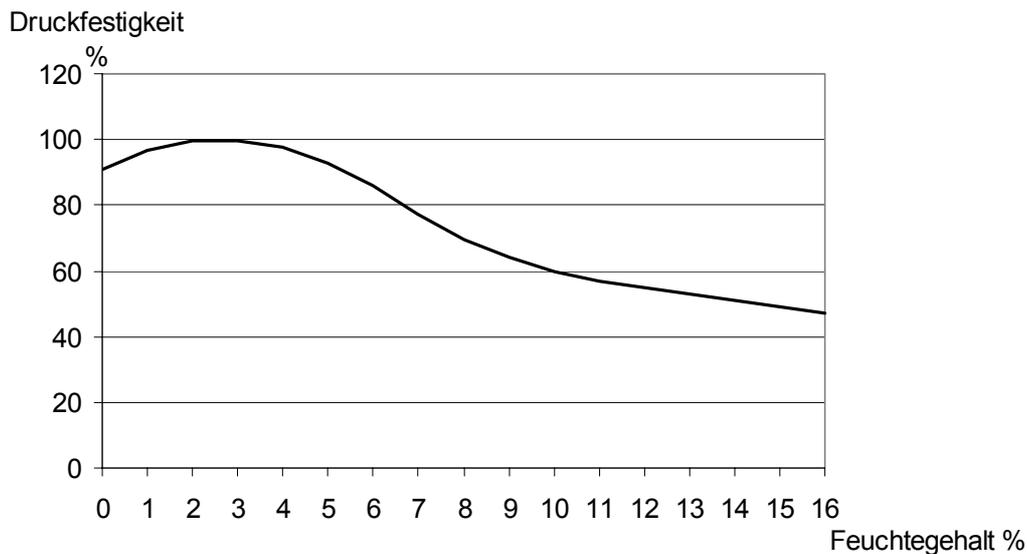


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Papierfeuchte und Druckfestigkeit
(nach Honicel)

Wie die Wellstegeinlagen sind auch die Endlos-Honigwaben aus Herstellungsgründen orthotrop. Die Wabenstege sind in Querrichtung verdoppelt, zudem sind sie quer zur Expansionsrichtung ausgerichtet (Abbildung 8). Dadurch ist die Biegesteifigkeit und -festigkeit sowie die Schubsteifigkeit und -festigkeit gegenüber der Expansionsrichtung erhöht.

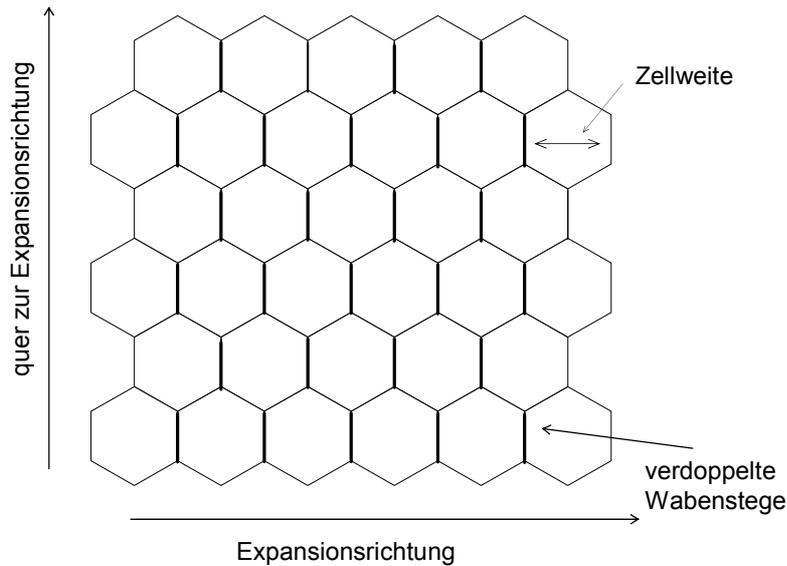


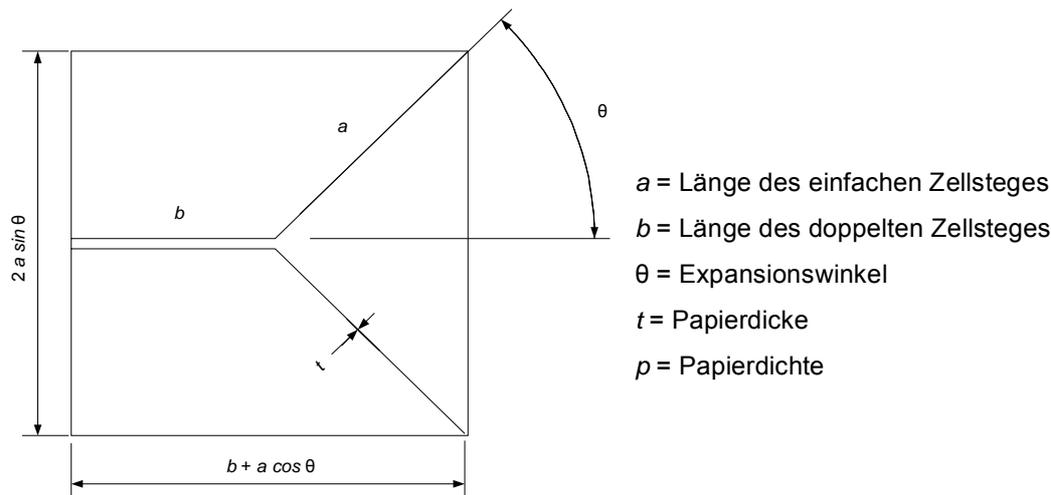
Abbildung 8: Betrachtungsrichtungen von Waben

Für Wabenplatten mit internem Rahmen werden ausschließlich die Endlos-Honig-Waben eingesetzt. Sie haben verglichen mit Wellstegeinlagen entscheidende Vorteile beim Preis, sind aufgrund ihrer größeren Zellgrößen wesentlich leichter und die Transportkosten sind geringer. Zudem sind bei einer Anwendung in Verbindung mit einem internen Rahmen die gegenüber einer Wellstegeinlage geringeren Festigkeiten nicht so entscheidend.

Honig-Waben lassen sich durch mathematische Modelle beschreiben. Ihr Gewicht oder die effektive Klebefläche der Wabenstege lassen sich auf diese Weise errechnen. Damit können Auswirkungen der Eigenschaften der Wabenmatte auf das Sandwich vorausberechnet werden⁴.

Das Standard Honig-Wabenelement besteht dabei aus einem verdoppelten Steg und zwei einfachen Stegen. Auf Basis dieses Elements lassen sich die folgenden Beziehungen aufstellen (Bitzer 1997).

⁴ Die Querkzugfestigkeit hängt maßgeblich von der effektiven Klebefläche ab.



Für eine sechseckige Struktur gilt: $a = b$ und $\theta = 60^\circ$. Bei Endlos-Honig-Waben ist $b < a$ und $\theta \approx 55^\circ$.

$$\text{Dichte} = \frac{2(b+a)t\rho}{(b+a\cos\theta)(2a\sin\theta)} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\text{effektive Klebefläche} = \frac{2(b+a)t}{(b+a\cos\theta)(2a\sin\theta)} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Werte für a , b und t müssen bei Papierwaben direkt abgemessen werden, da der Hersteller keine Angaben dazu macht. Für die praktische Anwendung in Wabenplatten sind diese theoretischen Betrachtungen unnötig, zumal die Dichte schon vom Hersteller der Waben angegeben wird. Sinnvoll könnte aber die Berechnung der effektiven Fläche z.B. für eine Untersuchung der Korrelation zwischen Querkzugfestigkeit und effektiven Klebefläche sein.

2.4.3 Klebstoffe

Der Klebstoff dient dazu, Decklagen und Kernschicht schub- und zugfest miteinander zu verbinden. Damit die Kernschicht ihre Hauptaufgaben, nämlich die Übertragung der Schubkräfte und die Deckschichtstabilisierung, im vollen Umfang übernehmen kann, muss die Klebeverbindung eine ausreichende Festigkeit haben. Dabei gilt allgemein für Sandwichverbundstrukturen, dass nach Möglichkeit die Schub- und Zugfestigkeit der Verbindung die Schub- und Zugfestigkeit des Kernmaterials übertreffen soll, damit die Traglast der Sandwichplatte nicht alleinig durch die Güte der Verbindung bestimmt wird (Stamm und Witte 1974). Die hauptsächlich auf Abreißen gefährdete Verbindung zwischen Wabenkern und Decklagen verlangt einen Klebstoff, der in der Lage ist, Kehlnähte auszubilden (Wiedemann 1989). Eine schematische Darstellung von Kehlnähten ist in Abbildung 9 zu sehen.

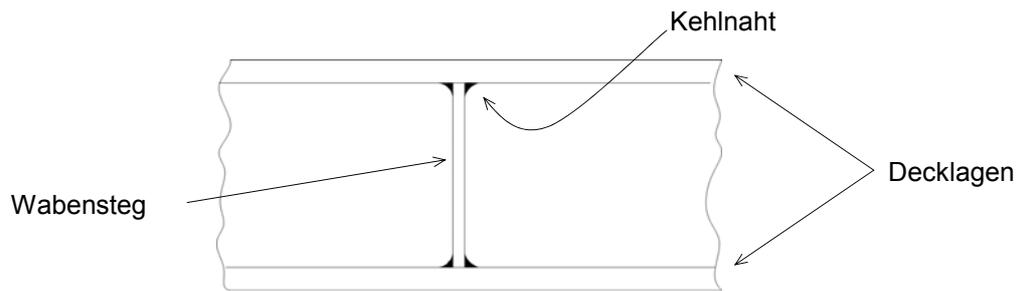


Abbildung 9: Ausbildung einer Kehlnaht

Kommt es nicht zur Ausbildung einer Kehlnaht, besteht die Klebefläche einzig aus der geringen Oberfläche des Wabensteges. Aus diesem Grund werden in vielen Fällen die Waben an ihrer Oberfläche aufgeraut bzw. gestaucht⁵, um die effektive Fläche zu vergrößern. Problematisch bei der Verleimung zum Sandwich ist immer die Klebeverbindung zur oberen Decklage. Die Viskosität des Klebstoffs darf nicht zu gering sein, andernfalls läuft er durch die Schwerkraft an den Wabenstegen hinab und steht der Verklebung nicht mehr zur Verfügung.

Für die Herstellung von Wabenplatten im Möbelbau werden in den meisten Fällen einer der drei Klebstoffarten eingesetzt:

- Dispersionsklebstoffe, z.B. Polyvinylacetat (PVAc)
- Polykondensationsklebstoffe, z.B. Harnstoff-Formaldehydharz-Klebstoffe (UF)
- Polyadditionsklebstoffe, reaktive Polyurethan-Schmelzklebstoffe (PUR).

Bis in die jüngste Vergangenheit hinein wurden Wabenplatten in der Möbelindustrie, sowie die auf diese Weise gefertigten Zimmertüren, mit PVAc- Leimen oder UF-Harz-Leimen gefertigt. Diese beiden Leime sind in der Holzverarbeitung traditionell verwurzelt. Sie dienen der Herstellung von Holzwerkstoffen, der Beschichtung mit Furnieren und als Montagekleber. Im Umgang mit ihnen und der Verarbeitung bestehen meist langjährige Erfahrungen, und die bestehende Maschinenteknik ist auf sie abgestimmt. Nachteil beider Klebstoffsysteme ist, dass sie Wasser als Lösungsmittel beinhalten. Die Festigkeit der Papierwaben lässt bei Kontakt mit Wasser sofort nach. Bei längerer Einwirkung kommt es zu einem Aufweichen des Papiergefüges. Aus diesem Grund werden diese Klebstoffe ausschließlich auf den Decklagen aufgetragen. Damit kommt es allerdings zu einem erhöhten Verbrauch an Klebstoff, da nur ein Bruchteil der beleimten Fläche auch später Kontakt zu den Wabenstegen hat. Ein Auftrag direkt auf die Waben wäre aber maschinell ungleich schwieriger umzusetzen, und das Wasser im Leim würde die Papierwaben bis zum Verpressen schon erweichen lassen, so dass sie beim Verpressen nicht mehr genügend Druckfestigkeit hätten. Selbst der kurze Moment, während die Wabe in dem noch flüssigen Leimbett auf der Decklage steht, reicht aus, um die Wabenstege an ihren Enden soweit zu erweichen, dass sie durch die Einwirkung von Druck und Temperatur beim Verpressen etwas gestaucht werden. Damit kann es leicht

⁵ Das Aufrauen der Wabenstege geschieht in der Kalibrierstufe der Expandiermaschine.

zu unterschiedlichen Höhen zwischen dem Wabenkern und dem internen Rahmen der Wabenplatte kommen, der sich dann an der Oberfläche abzeichnet. Das Schrumpfen der Papierwaben gegenüber dem Rahmen wird ausgeglichen, indem die Höhe des Wabenkerns wenige Zehntel Millimeter größer als die Rahmenstärke gewählt wird.

Gerade wenn Wabenplatten bei der Herstellung gleichzeitig auch mit Furnier beschichtet werden sollen bieten sich UF-Harz-Klebstoffe an, dann können die Decklagen in einem Arbeitsgang beidseitig mit Leim beaufschlagt werden. Ein solch integrierter Produktionsablauf ist einem zweistufigen Ablauf, in dem erst die Wabenplatte hergestellt wird und dann die fertige Platte furniert wird, vorzuziehen. Der Klebstoffauftrag geschieht sowohl bei PVAc-Leimen als auch bei UF-Harzen im Walzenauftrag. Die Auftragsmengen liegen zwischen 100 g/m² - 130 g/m². Für den Abbindevorgang ist bei beiden Leimen ein Verdampfen des überschüssigen Wassers notwendig; solange muss die Sandwichplatte unter Druck gehalten werden. PVAc-Leime können kalt aushärten, UF-Harz-Leime können dagegen nur in beheizten Pressen wirtschaftlich verarbeitet werden. Je nach integrierter Härterkomponente kann dabei die für die Abbindereaktion notwendige Temperatur deutlich unter 100°C gesenkt werden. Temperaturen unter 100°C sind im Hinblick auf die Dampfentwicklung im Sandwich erstrebenswert. Anderenfalls muss dafür Sorge getragen werden, dass der verstärkt entstehende Dampf aus dem Sandwich gelangen kann, damit es nicht zu einem Aufplatzen des Verbundes kommt.

Neu für den Einsatz zur Herstellung von Wabenplatten sind die reaktiven Polyurethan-Schmelzklebstoffe, kurz PUR-Hotmelt genannt. Im Gegensatz zu herkömmlichen thermoplastischen Schmelzklebstoffen, die bei relativ hohen Temperaturen (bis zu ca. 240°C) verarbeitet werden, liegt die Applikationstemperatur der PUR-Hotmelts in Bereichen von 120°C-140°C. Wichtig bei der Herstellung von Sandwichplatten ist, dass der Klebstoff eine gewisse offene Zeit haben muss, bis das Sandwich gelegt und in die Presse befördert worden ist. Herkömmliche Schmelzkleber weisen diese Eigenschaft nicht auf. Ein weiterer Unterschied zu thermoplastischen Schmelzklebstoffen ist, dass diese auch nach dem Abbinden der Klebschicht als Thermoplaste vorliegen, wohingegen die reaktiven PUR-Schmelzklebstoffe über eine Vernetzungsreaktion zu einem Duromer / Elastomer aushärten (Habenicht 1997).

PUR-Hotmelts werden schon seit längerer Zeit in der Möbelindustrie bei der Profilmantelung sowie der Schmalflächenbeschichtung eingesetzt. Verschiedene Klebstoffhersteller haben neue Formulierungen reaktiver PUR-Schmelzklebstoffe mit hoher Anfangsfestigkeit und gleichzeitig langer Offener Zeit entwickelt. Damit sind auch Flächenbeschichtungen möglich geworden. Für die Herstellung von Sandwichplatten mit Papierwabenkern erscheint dieser Leim besonders geeignet. Anders als die wässrigen Leimsysteme ist er vollständig wasserfrei, so dass die Papierwaben nicht mehr beim Legen und Verpressen erweichen. Damit besteht auch nicht die Gefahr, dass sich bei Wabenplatten mit internem Rahmen dieser auf der Oberfläche abzeichnet. Die Reaktivität des Klebstoffs mit einer hohen Anfangsfestigkeit erlaubt es, die Wabenplatten nicht wie bisher in Etagenpressen, sondern auf einer Kalanderpresse im Durchlauf herzustellen. Rollenkalender sind wesentlich einfacher und preiswerter in ihrer Bauart und in ihrem Unterhalt als hydraulische Pressen. Zudem benötigen sie weni-

ger Platz und lassen eine kontinuierliche Arbeitsweise zu, die eine direkte Weiterverarbeitung der Platten möglich macht.

PUR-Hotmelts sind verglichen mit UF-Harzen und PVA_c-Leimen sehr teuer. Um dem hohen Preis Rechnung zu tragen, setzt man bei der Herstellung von Wabenplatten auf eine direkte Beleimung der Waben, um den Klebstoff möglichst effektiv auszunutzen. Die Auftragsmenge liegt dadurch nur noch bei 25 g/m² - 40 g/m², bezogen auf die Decklagenfläche. Zum Auftrag stehen zwei unterschiedliche Methoden zur Verfügung, die neueren Schlitzdüsensysteme oder die bewährten Walzensysteme (Kunkel 2004). Der Walzenauftrag funktioniert entsprechend wie bei anderen Klebstoffen, jedoch mit dem Unterschied, dass bei Hotmelts die Auftragswalze beheizt ist. Um den Klebstoff aufzuschmelzen werden Vorschmelzer vorgeschaltet, die den Kleber schon flüssig an die Walze liefern. Der Kleber muss dabei einen fadenfreien Abriss beim Beschichten der Waben garantieren, da sonst die entstehenden Klebstofffäden zu einem Verschmutzen der Maschinenstraße führen. Vor Arbeitsbeginn benötigen solche Anlagen eine gewisse Zeit bis alle Aggregate die notwendige Temperatur erreicht haben. Genauso müssen nach der Arbeit alle mit dem PUR-Hotmelt in Kontakt kommenden Bauteile gründlich gereinigt werden. Der dafür notwendige Zeitaufwand ist nicht zu unterschätzen (Schumacher 2004).

Schlitzdüsensysteme sind vollständig geschlossene Systeme; der Hotmelt wird geschmolzen und durch die Düsen an die Wabe abgegeben. Dabei haben die Düsenköpfe direkten Kontakt mit den Wabenstegen. Die Wabenmatte wird an den Düsenköpfen vorbeigefördert, wodurch der Kleber vom Düsenaustritt auf die Wabe abgestreift wird. Die Auftragsmenge wird dabei über die Austrittsgeschwindigkeit des Klebers aus der Düse gesteuert. Geregelt wird dies durch eine Pumpe, die den geschmolzenen Klebstoff in dem System fördert. Der Vorteil gegenüber einem Walzenauftrag liegt in dem geringeren Wartungsaufwand und der schnelleren Verfügbarkeit. Langwieriges Aufheizen des Systems und die Reinigung der Walzen und der Schmelzeinrichtungen entfällt. Dadurch können auch kleinere Serien wirtschaftlich hergestellt werden.

Die Festigkeit der Klebeverbindung soll bei Verwendung von PUR-Hotmelts trotz des geringen Leimauftrags ähnliche Ergebnisse liefern wie die PVAc- oder UF-Harz-Klebstoffe bzw. diese noch übertreffen. Dies wurde anhand von Probestplatten nachgewiesen (Weber 2004). Von Anwendern wird aber noch von Problemen bezüglich der Festigkeit berichtet. Zum einen muss der Kleber höher dosiert werden, um die gewünschten Festigkeiten zu erreichen, zum anderen wird erst nach einer gewissen Lagerungszeit der Platte die volle Festigkeit der Klebeverbindung erreicht. Deshalb sollten die Platten nach diesen Aussagen nicht am gleichen Tag weiterverarbeitet werden.

2.4.4 Herstellung

Für die Großserienproduktion von Möbeln werden bislang ausschließlich Wabenplatten mit internem Rahmen produziert. Diese werden dann vom Möbelhersteller selber oder einem Zulieferbetrieb direkt in den benötigten Maßen hergestellt. Rahmengeometrie und alle zusätzlichen Verstärkungen für Beschläge müssen dafür im Vorfeld durch die Konstrukteure

festgelegt werden. Dies entspricht nicht dem Produktionsablauf von Möbeln auf Basis von Span- oder MDF-Platten. Hier wird das Material in großformatigen Platten (bis zu 5600 mm x 2200 mm) eingekauft und dann mit Plattensägen verschnittoptimiert zu den einzelnen Bauteilformaten zugesägt.

Um die Produktion von Wabenplatten mit internem Rahmen effektiver zu gestalten, werden zum Teil mehrere Formate zusammengelegt und als eine Platte produziert. Diese Platten werden anschließend wieder in die einzelnen Formate zerlegt, wobei der Sägeschnitt im internen Rahmenmaterial liegt. Diese Methode verspricht eine bessere Auslastung der Produktionsstraße, und personalintensive Legeprozesse werden reduziert. Jedoch bedarf es weiterhin einer genauen Produktionsvorbereitung, um die dann wesentlich aufwendigere Rahmengeometrie festzulegen.

Der nächste Schritt zu einer individuellen Fertigung ist durch den Verzicht eines Rahmens zu erreichen. Erst dann können, ähnlich wie bei den herkömmlichen Holzwerkstoffen, alle Möbelteile aus einer großformatigen Platte nach Bedarf herausgesägt werden. Gerade Möbelbetriebe, die nicht in Großserien produzieren oder bei denen viele Sondermaße (Küchenmöbel) vorkommen, könnten dann auch auf Wabenplatten als Werkstoff zurückgreifen. Bisher sind rahmenlose Wabenplatten am Markt erst vereinzelt zu beziehen und werden großteils nur Projekt bezogen hergestellt.

Der Produktionsablauf zur Herstellung von Wabenplatten ist in seinen Grundsritten immer identisch. Unterschiede liegen in der Ausgestaltung der einzelnen Verfahrensschritte und in dem Automatisierungsgrad. Im Folgenden wird die Herstellung von Wabenplatten mit internem Rahmen beschrieben. Rahmenlose Wabenplatten werden derzeit nur mit Wellstegeinlagen produziert. Dadurch setzen diese Platten in der Produktionskette entsprechend erst mit dem Legen zum Sandwich an.

Die Herstellung einer Wabenplatte mit internem Rahmen besteht immer aus den fünf Kernproduktionsschritten:

1. Rahmenbildung
2. Wabeneinlage
3. Beleimung
4. Sandwichbildung
5. Pressen

Hinzu kommen entsprechende Transportmechanismen, die die einzelnen Schritte mehr oder weniger automatisiert miteinander verketteten.

Die Rahmenbildung besteht aus dem Zusammenfügen der Quer- und Längsriegel und evtl. zusätzlichen Verstärkungen. Das Rahmenmaterial ist meist Spanplatte, die entweder in der benötigten Stärke eingekauft wird oder aus Verschnittresten anderer Produktionszweige stammt. In diesen Fällen sind die Spanplatten meist rechtwinklig zur Plattenebene, also mit stehenden Spänen angeordnet. Anders ließen sich die benötigten Rahmenstärken nicht verwirklichen. Andere HWS-Materialien sind natürlich auch denkbar, werden aber aufgrund des

höheren Preises gegenüber der Spanplatte nicht eingesetzt. Massivholz eignet sich nicht, da sich durch das stärkere Quell- und Schwindverhalten der Rahmen auf der Oberfläche der Platte abzeichnen würde. Die in ihren Längen schon fertig vorbereiteten Riegel werden dann entweder von Hand mit Klammern zusammengeschossen oder mit Schmelzkleber miteinander verklebt. Je nach Kapazität der Anlage erfolgt die Rahmenbildung an einem oder zwei gegenüberliegenden Arbeitsplätzen mit jeweils zwei Arbeitskräften. Die Rahmen können auch fertig von einem Zulieferer bezogen werden. In diesem Fall entfällt der Arbeitsschritt ganz. Moderne Herstellungsanlagen sehen eine vollkommen automatisierte Fertigung des Rahmens vor. Die Riegel werden dann aus Magazinen automatisch an einen Rahmenpressautomaten abgegeben, der ihn fertig verleimt oder zusammentackert (Soine 2004a).

Die Wabeneinlage, soweit es sich um Endlos-Waben handelt, wird in einer separaten Maschineneinheit vorbereitet. Die schon unter 2.4.2 erwähnte Expandier- und Trockenanlage nimmt die Endloswaben von einer Palette auf, expandiert sie zur ihrer optimalen Zellweite und trocknet die Papierwabenmatte, um sie in diesem Zustand zu fixieren. Eine Kalibriereinheit kann zur Vergrößerung der Wabenstegoberfläche und zum Ausgleich produktionsbedingter Schwankungen der Stärke noch zusätzlich integriert werden. Mit einer Schneideeinrichtung werden die Segmente auf Einlegebreite des Rahmens zugeschnitten. Auf eine solche Maschineneinheit kann verzichtet werden, wenn entweder schon vorexpandierte Waben eingesetzt oder Wellstegeinlagen als Kernmaterial genutzt werden. In einer noch weitgehend manuellen Fertigung werden die fertig formatierten Wabeneinlagen auf einem Förderband weitergefördert und anschließend von Hand in den Rahmen eingefügt. Bei automatisierten Maschinenkonzepten geschieht das Einlegen der Waben in den Rahmen mit Hilfe von speziellen Greifern.

Die Beleimung kann je nach verwendetem Leim ganz unterschiedlich gestaltet sein. Herkömmliche Anlagen arbeiten mit PVAc-Leimen oder UF-Harzen. In diesem Fall werden die Decklagen beleimt. Der Leimauftrag geschieht in der Regel durch Walzenauftragsmaschinen. Die Zufuhr der Decklagen kann je nach Automatisierungsgrad mit Fördereinrichtungen in Verbindung mit einem Portalkran und Vakuumsaugern vollkommen automatisch ablaufen oder die Beschickung geschieht von Hand. Sollen die Wabenplatten in dem Herstellungsprozess gleichzeitig furniert werden, so werden die Decklagen beidseitig beleimt. Bei Einsatz von PUR-Hotmelts in modernen hochautomatisierten Anlagen, wird der Klebstoff direkt auf die Wabenmatte aufgegeben, entweder durch einen Walzenauftrag oder Düsenauftrag (siehe Abschnitt 2.4.3).

Das Zusammenlegen zum Sandwich geschieht meist noch von Hand. Der Rahmen mit den eingefügten Wabeneinlagen wird zur Legestation gefördert. Gleichzeitig werden von der gegenüberliegenden Seite die beleimten Decklagen durch einen Transportmechanismus bereitgestellt. Der Rahmen wird dann manuell auf die untere Decklage gelegt und anschließend mit der oberen Decklage abgedeckt. Durch geeignete Fördermechanismen kann dieser Verfahrensschritt halbautomatisch durchgeführt werden. Dies erhöht die Leistung der Anlage und verringert die körperliche Belastung des Arbeiters. Im Falle eines gleichzeitigen Belegens mit

Furnieren müssen diese entsprechend an diesem Arbeitsplatz bereitstehen. Die Furniere bilden dann die unterste und oberste Schicht im Sandwich.

Bei vollautomatisierten Anlagen mit PUR-Hotmelt Walzenauftrag wird der Rahmen mit Wabeneinlage zunächst einseitig beleimt und dann mit einer Decklage belegt. Ein 180° Wender dreht das Teil, es wird dann auf der anderen Seite beleimt und die zweite Deckschicht aufgetragen. Das Legen der Deckschichten geschieht über Portalkräne mit Vakuumsaugern, die die Decklagen von einem Stapel abnehmen und präzise auf dem beleimten Rahmen positionieren (Kuper 2005).

Das anschließende Verpressen geschieht bei Verwendung von UF-Harzen als Klebstoff in einer beheizten Etagenpresse. Die Presse kann je nach Kapazität der Anlage ein- bis mehretagig sein. Oft werden 10-Etagen-Pressen verwendet, die kontinuierlich beschickt bzw. entleert werden können. Die Auslegung der Presse bestimmt sich dabei nach der Kapazität der Anlage. Bei Verwendung von PVAc-Klebern werden entweder Etagenpressen eingesetzt, die dann für eine schnellere Abbindung des Leims auch etwas beheizt sind. Es bieten sich bei einer Kaltverpressung aber auch Blockpressen an. Dazu werden mehrere Sandwichplatten übereinander gestapelt und dann im Stapel verpresst. Bei Verwendung eines PUR-Hotmelts als Klebstoff, ist eine klassische Presse nicht mehr notwendig. Diese Wabenplatten werden mit Hilfe eines Presskalenders im Durchlauf zusammengefügt (Soine 2004).

Die geschilderte Anordnung entspricht der einer klassischen Wabenplattenfertigung, die praktisch an die Produktion von Zimmertüren angelehnt ist. Je nach Automatisierungsgrad und Kapazität ist hierfür mit einem Personalaufwand von 2-8 Personen zu rechnen. Eine andere Verkettung der Produktionsschritte ergibt sich bei Verwendung eines Düsenauftrags in Verbindung mit PUR-Hotmelts. Bei diesen ebenfalls vollautomatisierten Anlagen wird der Rahmen nicht parallel gefertigt, sondern die ganze Wabenplattenfertigung baut gleich auf der unteren Decklage auf. Diese wird in den Bereichen der Längs- und Querriegel beleimt. Die Riegel werden aus einem Magazin automatisch aufgebracht, damit wird der Rahmen gleich auf der Decklage zusammengelegt. Der PUR-Hotmelt macht es möglich, dass der Rahmen anschließend nur durch Druckrollen mit der Decklage fest fixiert wird. Die Wabeneinlagen werden dann auf ihrer Unterseite durch Schlitzdüsen mit dem Kleber beaufschlagt und zwischen den Rahmen eingebracht. Eine Andruckrolle fixiert die Wabenmatte auf der Decklage. Nachfolgend wird auf die Oberseite der Wabenmatte und des Rahmen Klebstoff aufgebracht und mit der oberen Decklage abgedeckt. Das Verpressen geschieht wieder in einem Presskalender. Ähnlich wie bei der vollautomatisierten klassischen Verkettung wird diese Anlage auch von zwei Personen bedient (Buck 2004).

Die modernen Maschinenkonzepte am Markt erreichen durch ihre weitgehende Automatisierung einen sehr geringen Personalbedarf und hohe Leistungen. Von Nachteil ist aber, dass durch die automatische Rahmenbildung der interne Rahmen der Wabenplatte möglichst einfach gehalten werden muss. Lokale Verstärkungsstücke im Kern der Platte wie sie z.B. bei Tischplatten zur Befestigung der Tischbeine benötigt werden, können mit solchen Anlagen nicht ohne weiteres eingebracht werden. Alle in der jüngsten Vergangenheit vorgestellten Maschinenkonzepte dienen einer immer weiter rationalisierten Herstellung von Wabenplatten

mit internem Rahmen. Anlagen zur Herstellung von rahmenlosen Wabenplatten mit einem Kernmaterial aus Endloswaben sind derzeit nicht in der öffentlichen Diskussion. Hier wird weiter abgewartet, wie sich der Markt entwickelt und wie die in Abschnitt 2.5 dargestellten Problemfelder in Zukunft gelöst werden. Das sich dann aber die Herstellung solcher Platten, in den von den Möbelherstellern verlangten Qualitäten, als schwieriger herausstellt als derzeit vermutet, ist zu erwarten.

2.5 Besonderheiten bei der Verwendung

Wabenplatten sind in der Möbelindustrie derzeit zwar ein viel diskutiertes Thema, doch letztendlich geht es dabei meist um Wabenplatten mit internem Rahmen. Dieses Konzept ist allerdings nicht neu, sondern wird z.B. von IKEA schon seit über zwanzig Jahren für die Herstellung von Möbeln angewendet. Ein großer Innovationsschritt wäre es, wenn rahmenlose Wabenplatten als Großformate am Markt angeboten würden. Gegen die Einführung eines solchen Materials sprechen aber diverse Hindernisse, die es zu lösen gilt, bevor sich ein solcher Werkstoff in der Möbelindustrie durchsetzen kann. Die größten Schwierigkeiten liegen dabei im Bereich der Schmalflächenbeschichtung und der Beschlagstechnik.

2.5.1 Beschlags- und Verbindungstechnik

Die Beschlagstechnik im Bereich der Wabenplatten gilt als Haupthinderungsgrund für die anstehenden Innovationsschritte. Erst wenn es möglich ist, sicher Beschläge in riegellosen Wabenplatten zu befestigen, wird sich dieses Material großflächig im Möbelbau durchsetzen können.

Keinerlei Problematik besteht bei der ersten Evolutionsstufe der Wabenplatte, nämlich bei Verwendung eines internen Rahmens. Dieser wird so geplant, dass alle Kräfteinleitungspunkte durch massive Einlagen oder Riegel im Kern unterstützt werden und damit die Verbindungsmittel auf herkömmliche Art und Weise eingebracht werden können.

Problematisch ist die Beschlagsbefestigung bei Wabenplatten ohne Riegelmaterial. Die traditionell auf Schraub-, Klemm- oder Spreizmechanismus basierenden Befestigungstechniken lassen sich aufgrund der fehlenden Verankerungsmöglichkeit in der Wabenstruktur des Kerns, nicht anwenden. Daher wird aus Sicht der Beschlaghersteller der Weg zur Einführung der rahmenlosen Wabenplatte nur über eine weitere Evolutionsstufe führen, nämlich den Wabenplatten mit relativ dicken Decklagen (>5 mm). Häfele als einer der großen deutschen Hersteller von Beschlägen und Verbindungsmitteln hat für solche Platten Beschläge und spezielle Schrauben entwickelt, die bereits verfügbar sind. Die dafür vorgesehenen Schrauben besitzen ein spezielles Gewinde mit sehr flachen und weit ausladenden Flanken. Diese Schrauben sollen sowohl den herkömmlichen, als auch speziell für Wabenplatten entwickelten Beschlägen genügend Halt in einer Decklage bieten. Die speziellen Beschläge unterscheiden sich von herkömmlichen in der Art, dass versucht wird, die eingeleiteten Kräfte auf eine größere Fläche zu verteilen. Aus diesem Grund sind sie von ihrer Bauart meist etwas größer als einfache Beschläge. Zusätzlich zu dem Halt, den die Schrauben geben, sind die

Beschläge so konzipiert, dass sie sich hinter der Decklage über Widerhaken verankern. Teilweise haben diese Beschläge einen zusätzlichen Einbohrtopf, um noch mehr Decklagenfläche in die Befestigung mit einzubeziehen (Abbildung 10).

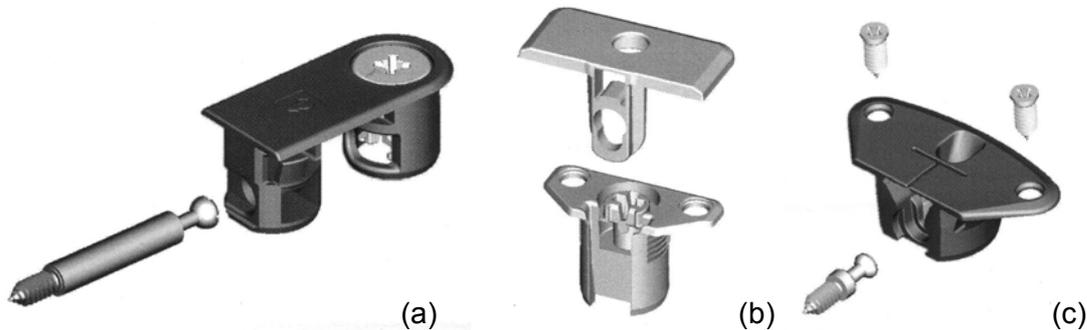


Abbildung 10: (a) Minifix Adapter HC, (b) Tab A, (c) Rafix HC (Häfele 2005)

Andere Hersteller setzen auf Spreizdübel die in die Decklagen eingebohrt werden. Beim Eindrehen der Schraube spreizen sie sich auf und verankern sich hinter der Decklage. Diese Spezialdübel sollen damit herkömmlichen Beschlägen genügend Halt bieten (HD Möbelzubehör). Eine andere Möglichkeit der Befestigung von Beschlägen sind Blindnietmutter. Diese setzt die Firma Toms Gerber in Verbindung mit den von ihnen hergestellten Wabenplatten ein. Diese Metallhülsen haben ein Innengewinde und können von einer Seite „blind“ gesetzt werden. Dazu werden sie in die Wabenplatte eingebohrt. Ein Bolzen in der Hülse wird mit einem Ziehborn nach außen gezogen, dadurch wird das Hülsenmaterial gestaucht. Durch das Stauchen bildet sich hinter der Decklage eine Wulst aus, die den Niet fest mit der Decklage verbindet. Blindnieten die sich rückseitig aufspreizen sind noch besser geeignet, da sie eine großflächigere Verbindung schaffen. Die Außenwand der Hülse ist geriffelt, damit kann sie sich besser in der Decklage verankern und den beim Einschrauben auftretenden Torsionsbeanspruchungen Widerstand leisten. Die Kopfgröße der Blindnietmutter richtet sich dabei nach der Stärke des Materials. Sie sollte bei sehr dünnen Decklagen möglichst groß gewählt werden, um eine sichere Verankerung zu gewährleisten. Die so eingebrachten Nieten bilden die Basis für die Verankerung von herkömmlichen Beschlägen.

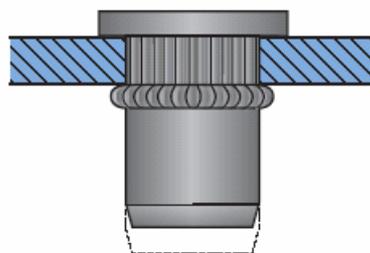


Abbildung 11: Beispiel für eine Blindnietmutter (Böllhoff)

Die bisher vorgestellten Konzepte haben den Vorteil, dass sie problemlos von der Möbeldustrie eingesetzt werden können. Herkömmliche Lochreihenmuster können beibehalten werden und in der Produktion bedarf es keiner Umstellung auf andere Bohrautomaten. Nachteilig ist, dass diese Systeme alle auf Wabenplatten mit relativ dicken Decklagen beschränkt bleiben und das grundsätzliche Prinzip, nur eine Decklage mit in die Befestigung mit einzubeziehen, Risiken birgt. Wie in 5.2 noch hinreichend dargelegt wird, ist die Klebeverbindung zwischen Decklagen und Wabenkern das schwächste Glied im Verbund einer Wabenplatte. Selbst wenn die Verbindungsmittel in der Decklage ausreichend fest verankert sind, besteht immer noch die Gefahr, dass es zu einer Delaminierung der Decklage vom Kernmaterial kommt.

Um auch für Wabenplatten mit dünneren Decklagen Lösungen im Bereich der Beschlags-technik zu entwickeln, lohnt sich der Blick in die Luftfahrtbranche. Hier gehören Wabenplatten, wenn auch aus sehr viel höherwertigen Materialien, zum täglichen Geschäft. Da dort die Decklagen um einiges dünner sind als bei den Wabenplatten im Möbelbereich verbietet sich eine Befestigung in nur einer Decklage. In solchen Platten werden entweder lokale Verstärkungen durch Injektion von Harz oder Schäumen geschaffen, oder es kommen Metall-Inserts zum Einsatz, die eingebohrt werden und anschließend über eine Öffnung im Insert Klebstoff eingebracht wird (Klein et al. 1995)

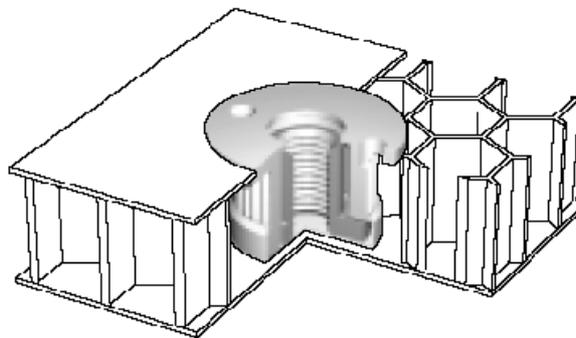


Abbildung 12: Insert aus der Luftfahrtbranche (The Young Engineers, Inc.)

Eingeklebte Inserts haben dabei den Vorteil, dass der umliegende Kern stabilisiert wird und damit eingeleitete Kräfte strukturgerecht auf beide Deckschichten übertragen werden. Damit werden Belastungsrichtungen parallel und senkrecht zur Deckschicht ermöglicht. Preislich liegen diese Befestigungsmethoden wohl weit über der für die Herstellung von Möbeln zu verkraftenden Größen aber sie zeigen eine Möglichkeit auf, Beschläge in Wabenplatten mit extrem dünnen Decklagen zu befestigen. Mit entsprechender Modifikation in Material und Funktion lassen sich eventuell Lösungen erarbeiten, die preislich in den Gesamtrahmen passen. Erste Ansätze hierzu gab es bereits. Die Firma Woodwelding hatte dazu ein Konzept vorgestellt, bei dem ein Kunststoffadapter in die Wabenplatte eingebohrt wird und per Ultra-

schall dort mit beiden Decklagen verschweißt wird. Dieser Adapter nimmt dann dafür entwickelte Beschläge auf. Damit sollen die gleichen Festigkeitswerte erreicht werden wie bei herkömmlichen Spanplattenverankerungen (Aeschlimann 2004).

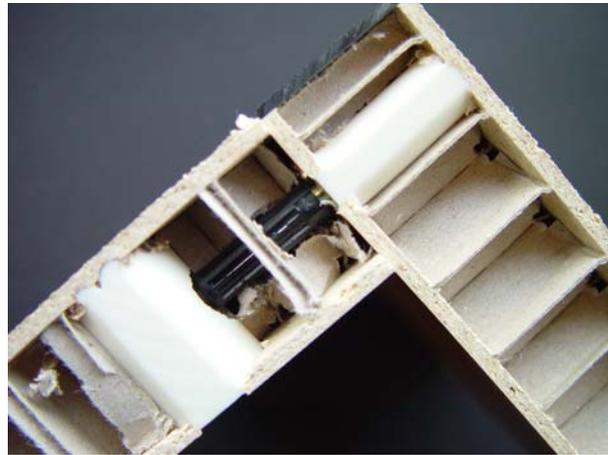


Abbildung 13: Querschnitt einer Eckverbindung nach dem Woodwelding-Prinzip (Kvist 2004)

Der Nachteil dieses Systems liegt sicherlich darin, dass es sich nur schwer in bestehende Produktionsanlagen der Möbelindustrie integrieren lässt und dazu noch ein vergleichsweise hoher Preis zu erwarten ist. Leider findet auch hier keine zusätzliche Verankerung im Kernmaterial statt. Bei einer Torsionsbelastung des Inserts durch das Eindrehen eines Beschlages, kann es evtl. leicht zu einem Abscheren der Verbindungsfläche mit den Decklagen kommen. Die punktuelle Krafteinleitung auf die Decklagen erfordert auch bei diesem System eine gewisse Decklagenstärke, um ein Abzeichnen auf der Oberfläche zu verhindern. Nichts desto trotz zeigt dieses Konzept einen weiteren möglichen Weg auf. Allerdings ist diese Technologie in Verbindung mit Wabenplatten seit ihrer Vorstellung Anfang 2004 nicht weiter in Erscheinung getreten.

Allgemein sollten sich zukünftige Beschlagssysteme für rahmenlose Wabenplatten an folgenden Zielen orientieren:

- Die Preise für die Beschläge müssen sich in dem Rahmen herkömmlicher Beschlagssystemen befinden bzw. durch Einsparung an der Anzahl der benötigten Beschläge einen Mehrpreis wiederum ausgleichen.
- Die Beschlagstechnik sollte mit den herkömmlichen Anlagen der Möbelindustrie umsetzbar sein.
- Es müssen der Belastung entsprechende Festigkeiten erreicht werden. Da leichte Plattenmaterialien nicht so hohe Ansprüche an die Festigkeit der Beschläge stellen, müssen diese auch nicht zwingend die Festigkeiten herkömmlicher Beschläge in massiven Holzwerkstoffen erreichen.

- Neue Lösungen sollten nach Möglichkeit dem Trend zur Miniaturisierung der Beschläge in der Möbelindustrie folgen.

2.5.2 Schmalflächenbeschichtung

Die Bearbeitung der Schmalflächen von Wabenplatten ohne umlaufenden Rahmen gilt als problematisch. Die Inhomogenität des Papierwabenkerns stellt für die Kantenbearbeitung eine besondere Herausforderung da. Die Deckschichtdicke und die Wabenzellgröße bestimmen dabei Kantenaufbau und Kantenqualität. Aktuell verfügbare, rahmenlose Wabenplatten haben zumeist eine Wellstegeinlage als Kernmaterial. Diese bietet, mit ihrer geringen Zellgröße, der Kante noch relativ viel Unterstützung und Halt. Endloswaben mit ihren größeren Zellweiten geben kaum noch Halt für die Kantenverklebung, so dass die Abreißfestigkeit der Kante nahezu ausschließlich auf der Haftfestigkeit auf den beiden Deckschichten beruht.

An eine Möbelkante bestehen dabei die Anforderungen, dass sie einerseits fest mit dem Werkstück verbunden ist. Die Haftung wird dabei durch 90°-Rollenschältests überprüft. Weiterhin darf sich das Wabenkernmaterial nicht auf der Kante abzeichnen, da dadurch eine zu starke Oberflächenunruhe hervorgerufen wird. Außerdem sollte die Kante ein fühlbares Eindringen beim drüber streichen mit den Fingern z.B. beim Staub wischen, nicht zulassen. Grundsätzlich gilt es bei der Kantengestaltung und der Qualität, den Einsatzbereich zu beachten. Eine Anwendung als Einlegeboden, mit drei nahezu unsichtbaren Kanten, stellt andere Ansprüche an die Kantengestaltung, als eine Anwendung als Tischplatte, bei der permanent die Schmalfläche belastet wird.

In eigenen Versuchen wurden Wabenplatten mit 2,7 mm dicken Decklagen und 15 mm großen Endlos-Wabenzellen an einer HOMAG-Kantenbearbeitungsmaschine bekanntet. Es zeigte sich, dass bei Dickkanten (>2 mm), seien sie aus ABS- Kunststoff oder Holz, keinerlei Probleme entstehen. Die hohe Eigensteifigkeit und Festigkeit führt zu ruhigen Oberflächen und genügend Haftfestigkeit. Es ist unter normalen Bedingungen nicht möglich, die Kante mit den Fingern im Kernbereich einzudrücken. Die Flächenhaftung war, nach dem haptischen Eindruck bewertet, vollkommen ausreichend, eine Überprüfung der Haftfestigkeit wurde aber nicht durchgeführt. Bei Dünnkanten (0,6 und 0,8 mm), die an das gleiche Plattenmaterial angefahren wurden, kommt es zu einer starken Oberflächenunruhe, bei Druck mit dem Finger besteht die Gefahr, die Kante in das Kernmaterial einzudrücken. Es kommt zusätzlich zu einem Schüsseln der Kante, sie ist konkav zum Kern hin gebogen. Die Flächenhaftung erreicht nach visuellen und haptischen Gesichtspunkten nicht die Festigkeit, wie sie bei Dickkanten erzielt wurde. Ein Problem, das sich bei der Bekantung ergab, war der Druck, der durch die Kantenbearbeitungsaggregate, im speziellen des Kapp-Aggregates auf die Oberseite der Wabenplatte ausgeübt wurde. Dieser führt dazu, dass die Platte am Ende, beim Abkappen der Kante, in ihrer Stärke gestaucht wird. Dadurch wird die angefahrte Kante an der Stelle wieder abgeschert. Diese Versuche zeigten, dass einerseits Konzepte gefunden werden müssen, die es möglich machen, Kanten mit der notwendigen Festigkeit und Oberflächenqualität an Wabenplatten zu befestigen. Andererseits muss die Verfahrenstechnik der Kantenbearbeitung an die speziellen Eigenschaften des Kernmaterials angepasst werden.

Die bei der Kantenbearbeitung verwendeten Drücke dürfen nicht die höchst zulässige Druckbelastung der Platte überschreiten. Ähnliche Probleme wurden bei Bekantungen von Wabenplatten mit Kraftliner-Papier-Decklagen beschrieben, hier kam es beim Anfahren der Kante zu einem Verdrücken der Decklagen und des Kernmaterials (Hänel und Weinert 2004). Diese Problematik wird nicht auf Papierdecklagen beschränkt bleiben, wenn die Decklagendicke von Wabenplatten in Zukunft auf ein Minimum reduziert würde. Zur Lösung des Problems wurde ein Verfahren vorgeschlagen (Abbildung 14), dass mit Hilfe eines Kantenschuhes, der in die Kantenanleimmaschine im Bereich der Andruckrollen integriert wird, den Druck weitgehend vom Plattenmaterial ableitet (Hänel und Weinert 2004).

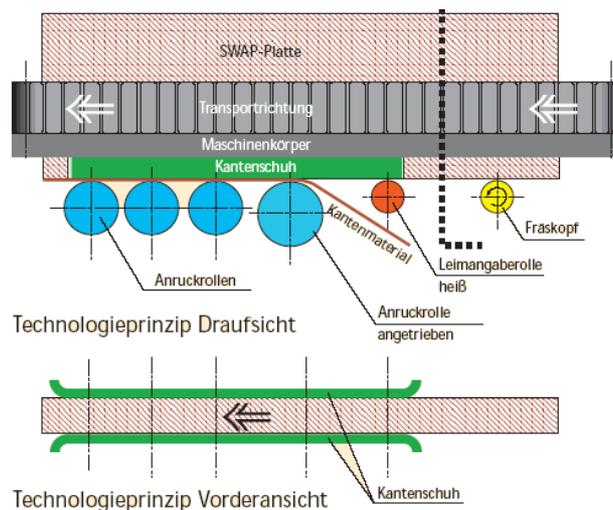


Abbildung 14: Technologie des Kantenschuhes vom ihd (Hänel, Weinert 2004)

Im Bereich der Kantenbearbeitung von Wabenplatten tritt besonders die Firma IMA Klessmann, ein Hersteller von Kantenbearbeitungsmaschinen, hervor. Diese wollen mit mehreren Konzepten die Entwicklung zur rahmenlosen Wabenplatte vorantreiben. Mit Hilfe verschiedener Verfahren ist es damit möglich, auch an weitmaschigen Wabenplatten, Kanten jeder Art zu befestigen. Die Konzepte beruhen dabei auf unterschiedlichen Prinzipien. Schon Anfang 2004 wurde das Verfahren mit einer Stabilisierungskante vorgestellt. Hierzu wird zuerst eine 2-3 mm starke Blindkante aufgebracht, die dann die Basis für die eigentliche Dekor-Kante bildet. Die Stabilisierungskante wird in einen zuvor in Decklagen und Wabenkern gefrästen Falz eingeleimt (Abbildung 15a). Die Blindkante kann aus Recycling-Kunststoff oder dünnem MDF gefertigt sein, da sie später nicht mehr sichtbar ist. Das Anfahren der Stabilisierungs- und der Dekor-Kante könnte im Durchlauf von einer Kantenbearbeitungsmaschine übernommen werden. Laut Hersteller ist dieses System sowohl für sehr dicke Wabenplatten, als auch für Wabenplatten mit dünnen Decklagen geeignet. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass sich auch Freiformflächen auf diese Weise bekanten lassen. Freiformflächen lassen sich in der herkömmlichen Wabenplattenbauart mit internem Rahmen nicht herstellen, werden aber zunehmend am Markt verlangt.

Für dünne Wabenplatten wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem die Stabilisierungskante aus einer der Decklagen gewonnen wird. Hierzu wird die obere Decklage und das Wabenmaterial im Kantenbereich freigefräst. Die überstehende Decklage wird eingekerbt, in die V-Nuten Klebstoff angegeben und anschließend wird die Decklage um 90° hochgeklappt, so dass sie mit der oberen Decklage eine Einheit bildet (Abbildung 15b). Die so entstehende Fläche würde wiederum die Basis für eine herkömmliche Kante bilden und wird der Platte zusätzlich Steifigkeit verleihen. Das als Folding-Verfahren zur Herstellung von Korpusmöbeln bekannte Prinzip, ist hier auf eine Wabenplatte umgesetzt worden.

Das so genannte Post-Frame-Verfahren ist ein Lösungsansatz, für Fälle wo auf eine rahmenlose Wabenplatte zurückgegriffen werden soll, gleichzeitig aber nicht auf die Funktion des Rahmen verzichtet werden kann, sei es aus Gründen der Beschlagstechnik oder der Festigkeit. Bei diesem Verfahren wird ein Rahmenholz in einen tief ausgefrästen Falz in Decklagen und Wabenkern im Durchlauf eingeleimt (Abbildung 15c). Das nachträgliche eingebrachte Rahmenholz bildet dann die Basis für herkömmliche Kantenbearbeitung und Beschlagstechnik (Reichling, 2004).

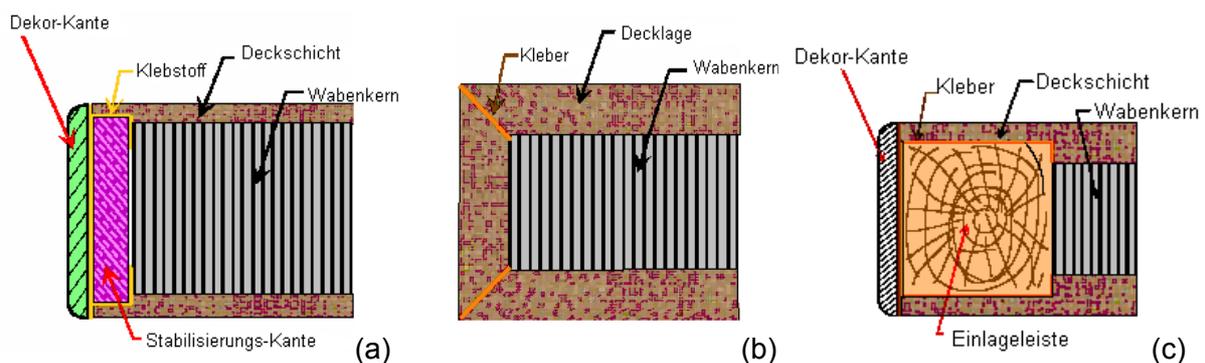


Abbildung 15: Kantenbeschichtungsverfahren: (a) Stabilisierungskante, (b) Folding-Verfahren, (c) Post-Frame-Verfahren (IMA Klessmann GmbH)

Diese drei Verfahren machen auf den ersten Blick einen aufwändigen Eindruck. Es ist aber zu bedenken zu geben, dass es sich hier um erste Entwicklungsformen handelt. Falls sich rahmenlose Wabenplatten durchsetzen können, bilden diese Verfahren einen möglichen Lösungsansatz, von dem aus mit der nötigen Weiterentwicklung, sich der Problempunkt Kantenbearbeitung lösen lässt.

In anderen Branchen, in denen Sandwichplatten und hochwertige Wabenplatten eingesetzt werden, geht man andere Wege zur Kantengestaltung. Diese könnten auch für die Möbelindustrie als Vorbild dienen. In der Luftfahrtindustrie werden die Kanten von Wabenplatten mit Harzen oder Schäumen verfüllt, bevor sie bekantet werden. Dies geschieht dort weitgehend manuell. In der Möbelindustrie wäre dies aus Kostengründen so nicht denkbar. Es gibt bereits erste Ansätze zur maschinellen Umsetzung dieses Prinzips. In dem Fall werden aufschäumende Kleber in Form von Stützraupen in die Wabenstruktur eingebracht, die für eine zusätzliche Verbindung mit der Kante sorgen (Reichling 2004). Oft werden die Kanten von

hochwertigen Wabenplatten mit Profilblechen abgeschlossen. U- oder S-Profile, die zwischen die Decklagen geleimt werden, wirken zusätzlich extrem aussteifend, sind aber nur in Verbindung mit einem angepassten Möbeldesign denkbar z.B. als umlaufender Zierrahmen oder integrierte Griffleiste. Diese Profile könnten gleichzeitig zur Aufnahme von Beschlägen dienen.

Eine andere Form der nachträglichen Kantenanbringung wäre ein extrudiertes Kunststoffprofil (Abbildung 16). Diese werden flächig auf die Decklagenkanten und Wabenstege verklebt und mit Hilfe von ein oder zwei Stegen in dem Wabenmaterial zusätzliche verankert. (Hexcel 1986). Bei Benutzung eines schäumenden Klebstoffes würde dies eine feste Verbindung ergeben.

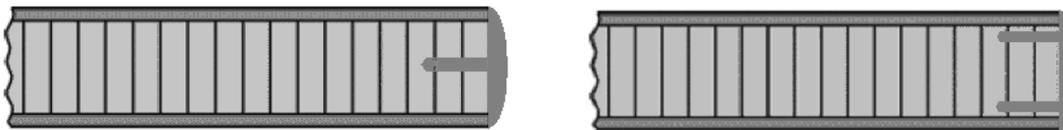


Abbildung 16: Kunststoffprofile für den Kantenabschluss

2.5.3 Sonstige Hindernisse

Oberflächengüte und Stehvermögen

Bei Wabenplatten wird oft ein Telegraphieeffekt beobachtet. Die Struktur des Wabenkerns zeichnet sich auf den Decklagen ab. Dies tritt vor allem bei glänzenden und hochglänzenden Oberflächen zu Tage. Vermutlich sind Decklagenmaterial und -dicke, Klebstoff und Zellgröße an diesem Effekt beteiligt. Selbst bei sehr hochwertigen Wabenplatten für den Flugzeuginnenausbau tritt der Telegraphieeffekt auf und führt zu nicht akzeptablen Oberflächen. Bei Wabenplatten im Möbelbau wurde bisher hauptsächlich das Abzeichnen des Rahmenmaterials auf der Oberfläche beobachtet. Dies kommt durch den Wassereintrag des Klebstoffs beim Verpressen zustande, siehe hierzu Abschnitt 2.4.3. Die Struktur des Wabenkerns dagegen, zeichnet sich bei Decklagendicken um die 3 mm höchstens auf Hochglanzflächen ab.

Rückwandanbindung

Die Gestaltung von Rückwandanbindungen, wie sie in der Möbelindustrie üblich sind, z.B. durch Einsetzen der Rückwand in eine Nut oder einen Falz, sind momentan nur mit Wabenplatten mit entsprechend positioniertem Rahmenholz möglich. Bei rahmenlosen Wabenplatten ist aufgrund der Inhomogenität des Kernmaterials eine solche Anbindung der Rückwand nur schwer möglich. Denkbar sind Lösungen, bei denen die entsprechenden Bereiche ausgeschäumt werden und damit das Kernmaterial verfestigt wird. Eine andere Möglichkeit liegt in speziellen Beschlägen, die die Rückwand an den Korpus anbinden. Hier sind die Be-

schlaghersteller und Möbelkonstrukteure gleichermaßen aufgefordert Lösungen zu entwickeln.

Nicht lösbare Korpusverbindungen

Die lösbaren Eckverbindungen wurden schon unter 2.5.1 mit den Beschlägen erörtert. Nicht lösbare Korpusverbindungen, wie sie bei massiven Holzwerkstoffen mit Dübeln, Formfedern oder direkten Verleimungen in der Möbelindustrie angewandt werden, sind bei Wabenplatten momentan nur mit entsprechenden Rahmen bzw. massiven Kraffteinleitungspunkten möglich. Sollen feste Korpusverbindungen mit rahmenlosen Wabenplatten verwirklicht werden, wird wiederum ein Ausschäumen der entsprechenden Bereiche, in Verbindung mit den herkömmlichen Verbindungsmitteln (Dübel, Formfeder) die Grundlage für denkbare Lösungsansätze sein. Das Institut für Holztechnik Dresden (IHD) hat hierzu mehrere Versuche durchgeführt. Unter anderem wurden zwei Wabenplatten auf Gehrung, durch eine PUR-Schaum Injektion in eingefräste Nuten, fest verbunden (Hänel und Weinert 2004). Das Problem mit nichtlösba- ren Eckverbindungen ist allerdings als gering zu bewerten, da der Motor des Fortschritts im Bereich der Wabenplatten, die Mitnahmemöbelhersteller sind. Diese benutzen ausschließlich lösbare Korpusverbindungen.

3 Kosten

Leichtgewichtige Konstruktionen in der Möbelindustrie zu verwirklichen darf nicht nur dem Zweck der reinen Gewichtsersparnis dienen, sondern die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen muss nachweisbar sein:

- die Kosten einer neuen Produktlösung sollten dabei maximal gleich den bisherigen Produktlösungen entsprechen,
- wenn die Kosten oberhalb derer bestehender Produktlösungen liegen, dann muss ein höherer Nutzen und zusätzliche Wertschöpfung erkennbar sein.

In der Möbelindustrie sind nur geringe Kostensteigerungen durchsetzbar. Der Einsatz von Leichtbauwerkstoffen darf also nicht deutlich teurer sein als die bisher verwendeten Werkstoffe.

Gemessen werden die Kosten für Wabenplatten immer an dem Preis von Spanplatten, gegebenenfalls noch der MDF-Platte. Die Stärke, ab dem sich die Wabenplatte gegenüber einer Vollspanplatte lohnt, wird in der Branche sehr kontrovers diskutiert. Während in diversen Veröffentlichungen Stärken von 18 - 22 mm im Gespräch sind gehen andere davon aus, dass Wabenplatten immer teurer sein werden als Spanplatten. Es ist ein Trugschluss, Leichtbau automatisch mit einem niedrigeren Preis gleichzusetzen. Die Materialersparnis gegenüber einem massiven Werkstoff muss sich nicht in einem niedrigeren Preis widerspiegeln. Im Gegenteil, gerade Branchen wie der Automobilbau zeigen, dass Leichtbaukonstruktionen eher teurer sind als herkömmliche Werkstoffe. Bei der Betrachtung der Kosten von Wabenplatten ist es wichtig, immer auch die verwendeten Materialien und das Herstellungsverfahren mit zu berücksichtigen. Vermutlich sind so differierende Meinungen über die Kosten von Wabenplatten zu erklären. Diese beziehen sich dann auf unterschiedliche Ausprägungen von Wabenplatten.

Haupteinflussfaktoren auf die Kosten einer Wabenplatte sind:

- die verwendeten Materialien,
- die Gesamtstärke und Fläche,
- die eingesetzte Anlagentechnik,
- die Personalkosten.

Der Hauptkostenfaktor einer Wabenplatte sind ihre Materialkosten. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten für die Decklagen, dem Wabenmaterial und dem Klebstoff. Die Auswahl in Frage kommender Materialien ist groß (siehe 2.4). Dadurch ergibt sich eine weite Spanne, in der sich die Materialkosten bewegen. Die Einflussfaktoren sind vielfältig und sollen im Einzelnen für die drei Bestandteile erläutert werden:

| <u>Decklagen</u> | <u>Wabenkern</u> | <u>Klebstoff</u> |
|---------------------|------------------|------------------|
| - Decklagenmaterial | - Wabenart | - Klebstoffart |
| - Decklagenstärke | - Wabenstärke | - Auftragsmenge |
| | - Zellweite | |
| | - Papiergewicht | |

Die meisten Wabenplatten für Möbelanwendungen sind mit Decklagen aus HDF- oder Dünnsplattplatten hergestellt. HDF-Platten sind aufgrund des aufwendigeren Herstellungsprozesses ca. 20% teurer als Dünnsplattplatten. Genaue Preise sind schwer zu erfragen, da sich die Holzwerkstoffhersteller in diesem Bereich sehr bedeckt halten. Weiterhin beeinflusst die Dicke der Decklagen den Preis. In dem für Wabenplatten üblichen Bereich zwischen 3 - 8 mm steigt der Preis pro Volumeneinheit mit abnehmender Stärke an. Dies liegt an den verfahrenstechnischen Anforderungen, die bei dünneren Platten umso größer sind. Ein höherer Presszeitfaktor und der größere Verschleiß an der Presse führen zu höheren Herstellungskosten gegenüber dickeren Platten. Auf den Preis wirken sich zusätzlich die Abnahmemenge und die Transportentfernung aus. Die Transportkosten von dünnen Holzwerkstoffen sind aufgrund ihres hohen Gewichtes sehr hoch. Daher sollte die Entfernung nicht zu weit sein, da sonst die Kosten für den Transport einen unverhältnismäßig hohen Anteil an dem Preis für den Holzwerkstoff einnehmen. Innerhalb Deutschlands liegen die Transportkosten schon bei ca. 10% des Preises.

Bei dem Kernmaterial kommen hauptsächlich Papierwaben in Frage. Zwischen den Preisen der beiden meist verwendeten Typen, der Wellstegeinlage und den Endlos-Honigwaben, liegt ein erheblicher Preisunterschied. Die Wellstegeinlagen sind bei gleicher Stärke etwa drei bis fünfmal teurer als Endloswaben. Ein Vergleich ist problematisch, da die Wellstegeinlagen eine wesentlich geringere Zellweite besitzen und sich daraus Vorteile in anderen Bereichen ergeben. Bei Wellstegeinlagen kann nicht aus verschiedenen Zellweiten und Papiergewichten gewählt werden. Daher schlagen sich nur Variationen in den Abmessungen auf den Preis nieder. Bei Endlos-Honigwaben kann aus verschiedenen Typen mit unterschiedlichen Zellweiten und Papiergewichten ausgewählt werden. Die Zellweite in Verbindung mit der Wabenstärke bedingt dabei den Verbrauch an Papier und damit direkt auch den Preis. Der Papierpreis macht ca. 60% des Wabenpreises aus. Die Entscheidung zwischen einem 140 g/m² schweren Papier und einem 170 g/m² Papier ergibt einen Preisunterschied von ca. 25%. Bei Endloswaben wird außerdem bei Wabenhöhen unter 28 mm und über 50 mm ein Zuschlag erhoben, da diese Maße aufwendiger zu fertigen sind.

Der Preis für beide Wabentypen ist stark abhängig von der Abnahmemenge. Die Firma Honigel erhebt Zuschläge zwischen 5% und 25% bei Abnahmemengen unter 5000 m². Entsprechend werden Großabnehmern deutliche Rabatte gewährt. Ab einer Abnahme von 50000 m² sinkt der Preis um 15%.

Was für Decklagen und Wabenmaterial gilt ist auch bei den Klebstoffen zu beobachten. Auch hier gibt es Variationsmöglichkeiten, die sich auf den Preis niederschlagen. Die Kostenver-

hältnisse zwischen den drei zur Herstellung von Wabenplatten üblichen Klebstoffen, PVAc-Leim, UF-Harzen und den PUR-Schmelzklebern ist in etwa 1,5 : 1 : 7. Der extreme Preisunterschied zwischen einem PUR-Schmelzkleber und den PVAc- bzw. UF-Harz-Leimen wird allerdings relativiert durch eine wesentlich geringere Auftragsmenge. Diese kann bei PUR-Schmelzklebern über 60% niedriger liegen als bei den anderen beiden Klebstoffsystemen (siehe 2.4.3.).

Eine Aufstellung der gängigsten Materialien soll zeigen wie stark der Materialkostenanteil einer Wabenplatte variieren kann. Die in Frage kommenden Materialien sind mit ihren Preisen aufgelistet. Da die einzelnen Preise stark von den zuvor geschilderten Einflussfaktoren abhängen, werden hier nur Preisspannen angegeben in denen sich die Preise bewegen. Die Durchschnittswerte wurden auf eine 1 m² große Wabenplatte bezogen.

| Decklagen | | bezogen auf 1x1m ² Platte | |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| HDF | 1,20 - 1,30 €/m ² | | 2,50 €/Teil |
| Dünnspan | 0,8 - 0,95 €/m ² | | 1,80 €/Teil |
| Klebstoff | | | |
| UF-Harze | 1 €/kg | 110g/m ² | 0,22 €/Teil |
| PVAc | 1,5 €/kg | 110g/m ² | 0,33 €/Teil |
| PUR-Hotmelt | 7-8 €/kg | 40g/m ² | 0,63 €/Teil |
| Wabenmaterial | | | |
| Endloswabe | 24 mm Stärke | 0,27-0,53 €/m ² | 0,40 €/Teil |
| Wellstegeinlage | 24 mm Stärke | 1,50-2,00 €/m ² | 1,75 €/Teil |

Dadurch ergibt sich je nach Auswahl der Materialien ein Materialkostenanteil von minimal 2,42 € und maximal 4,88 € für eine 1 m² große Wabenplatte.

Die Herstellungskosten einer Wabenplatte ergeben sich nicht nur aus den Materialkosten allein, sondern bestehen auch aus Anlagen- und Personalkosten. Die Anlagenkosten bilden sich aus fixen und variablen Maschinenkosten. Die fixen Kosten setzen sich aus den jährlichen Abschreibungen, Zinskosten, Instandhaltungskosten und den Raumkosten zusammen. Die variablen Kosten bestehen aus den Aufwendungen für Energie, den Werkzeugverbrauch und den variablen Instandhaltungskosten.

Wie schon in Abschnitt 2.4.4 dargelegt unterscheiden sich die Produktionsmethoden für Wabenplatten⁶ hauptsächlich in ihrem Automatisierungsgrad und damit im Personalbedarf. Während an alten Anlagen bis zu acht Personen arbeiten, kommen moderne hoch automatisierte Anlagen mit zwei Personen, bei gleichzeitig vergrößerter Leistung aus. Dies senkt erheblich den Personalkostenanteil einer Wabenplatte.

⁶ In diesem Fall: Wabenplatten mit internem Rahmen.

Der Anteil der Anlagenkosten an den Herstellungskosten richtet sich nach der Auslastung der Kapazität der Anlage. Um diesen Anteil möglichst gering zu halten, bedarf es einer guten Auslastung der Anlage. Dies gilt vor allem für die Presse. Je besser die zur Verfügung stehende Pressfläche der Etagenpresse⁷ ausgelastet wird, desto mehr Platten bzw. Möbelteile können produziert werden. Sind dagegen die Teile bzw. Platten zu kleinflächig, nimmt der Aufwand für das Legen des Sandwichs zu und die Auslastung der zur Verfügung stehenden Pressfläche sinkt. Dadurch verringert sich die Leistung der Anlage. Aus diesem Grunde sehen Anlagenkonzepte zur Herstellung von Fixmaßwabenplatten mit internem Rahmen ein Zusammenlegen von kleinen Möbelteilen zu großen Platten vor. Ein entsprechend gelegter Rahmen ermöglicht es, dass die Platten nach dem Verpressen auf einer Plattensäge in die benötigten Kleinformate aufgetrennt werden können.

Wie sich die Kosten für eine Wabenplatte im Einzelnen zusammensetzen verdeutlicht die Abbildung 17. Sie bezieht sich auf eine Wabenplatte mit internem Rahmen von 1 m² Fläche und 24 mm Stärke. Die Platte hat Dünnspon-Decklagen und einen Endloswabenkern mit 21 mm Zellweite. Wabenkern und Decklagen sind mit einem UF-Harz verklebt. Die Berechnung der Anlagen- und Personalkosten bezieht sich auf eine Kuper-Anlage mit einer 10-Etagenpresse, die von insgesamt fünf Personen bedient wird.

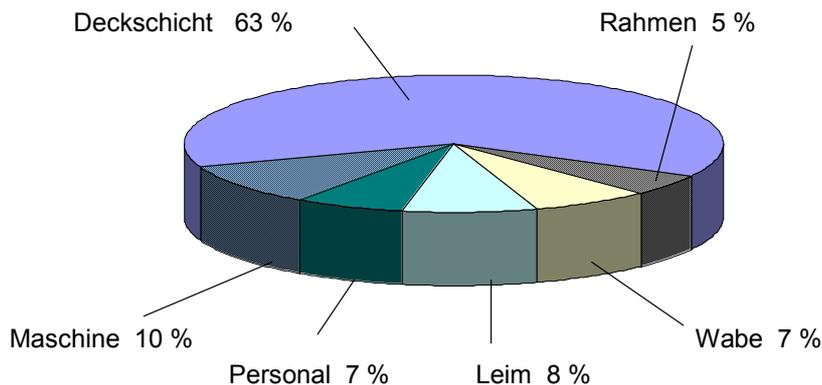


Abbildung 17: Herstellungskosten einer Wabenplatte

Betrachtet man die einzelnen Kostenpunkte so fällt auf, dass 83 % der Kosten auf das Material entfallen. Hauptkostenfaktor sind dabei die Decklagen mit 63 %. Ausgerechnet die größten Kostenpunkte fallen in die Bereiche, die unabhängig von der Stärke der Wabenplatte sind. Der Verbrauch an Decklagenmaterial und Klebstoff und die Aufwendungen für die Herstellung sind bei Wabenplatten vollkommen unabhängig von der Stärke der Platte. Nur der Verbrauch an Rahmen- und Wabenmaterial wächst mit der Stärke der Platte an, also gerade die Kostenpunkte, die bei einer Wabenplatte relativ günstig sind. Aus Sicht der Herstellungskosten ist es also nicht sinnvoll Wabenplatten unter einer gewissen Mindestdicke herzustellen, da sich die Hauptkostenpunkte dadurch nicht weiter reduzieren lassen. Abbildung 18

⁷ Bei Kalanderpresse entsprechend die Kalanderbreite.

zeigt, wie gering die Abhängigkeit der Herstellungskosten von der Stärke der Platte ist. Lediglich die Kosten für das Rahmen- und Wabenmaterial steigen geringfügig an.

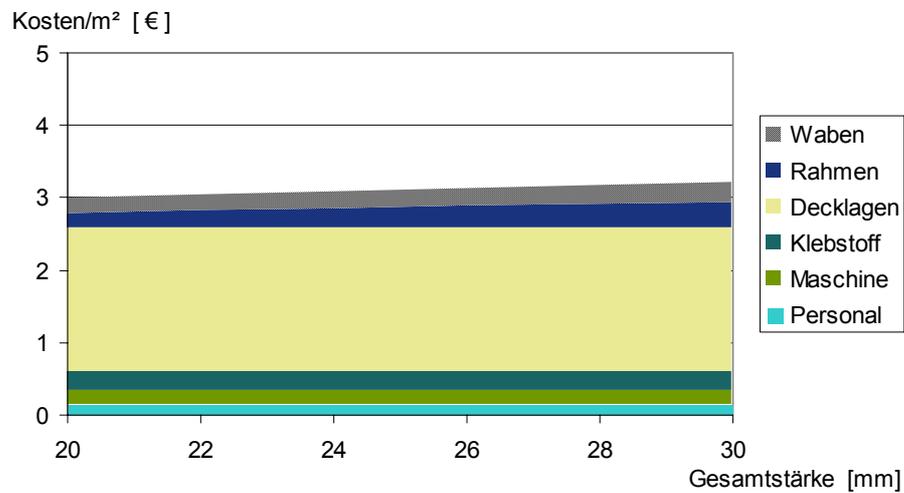


Abbildung 18: Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit der Gesamtstärke

In dieser Entwicklung liegt der Vorteil gegenüber den herkömmlichen Holzwerkstoffen begründet. Wabenplatten werden aufgrund des sehr preiswerten Kernmaterials auf ihr Volumen bezogen in größeren Stärken immer günstiger. Das bedeutet, ab einer bestimmten Plattenstärke kann die Wabenplatte gegenüber massiven Holzwerkstoffen enorme Preisvorteile erzielen. Abbildung 19 zeigt, wie sich die Kosten einer Spanplatte im Vergleich zu einer Wabenplatte bei zunehmender Gesamtstärke entwickeln. Während bei einer Spanplatte die Kosten mit jedem Millimeter Gesamtstärke deutlich ansteigen, fallen die Steigerungen bei einer Wabenplatte sehr gering aus.

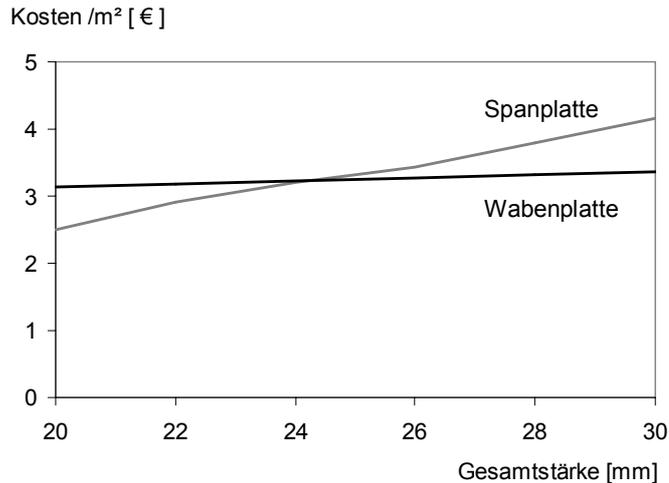


Abbildung 19: Entwicklung der Kosten in Abhängigkeit der Gesamtstärke bei einer Spanplatte im Vergleich zur Wabenplatte

Ab welcher Plattenstärke sich eine Kostenäquivalenz zwischen den Kosten der Spanplatte und einer Wabenplatte einstellt, ist letztlich wieder abhängig von den verwendeten Materialien, dem Anlagentyp und deren Auslastung. In diesem Fall wurden die gleichen Parameter für die Wabenplatte wie für die Kostenstruktur in Abbildung 17 gewählt. Die Preise für die Spanplatten sind nach Auskunft aus der Holzwerkstoffindustrie entsprechend für die verschiedenen Stärken gebildet worden. Aus Abbildung 19 wird deutlich, dass sich der Äquivalenzpunkt in einem Bereich zwischen 24 - 26 mm befindet. Damit erscheinen die Angaben in den veröffentlichten Beiträgen, wonach sich der Einsatz von Wabenplatten ab 25 mm lohnt, als realistisch (Anonymus 2004c). Es ist aber darauf hinzuweisen, dass sich diese Berechnungen auf die Herstellung von Wabenplatten mit internem Rahmen beziehen. Die Anlagen hierfür müssen, um diese Kosten zu erreichen, optimal durch große Stückzahlen ausgelastet werden. Gleiches gilt für die Materialkosten, die sich nur bei entsprechend großer Abnahmemenge in dieser Größenordnung befinden. Werden Wabenplatten nicht mit einem Kernmaterial aus Endloswaben, sondern mit einer Wellstegeinlagen hergestellt, verschiebt sich der Äquivalenzpunkt gegenüber der Spanplatte über 35 mm Gesamtstärke. Damit erreichen nur Wabenplatten auf Basis von Papier-Endloswaben mit internem Rahmen auch in Bereichen unter 30 mm Gesamtstärke einen Kostenvorteil gegenüber einer Spanplatte. Die derzeit am Markt befindlichen rahmenlosen Wabenplatten mit Wellstegeinlagen als Kernmaterial bleiben, in den für die Möbelindustrie relevanten Materialstärken, derzeit teurer als Spanplatten. Diese Form der Wabenplatte kann damit außer ihrem Gewichtsvorteil keinen zusätzlichen Kostenvorteil gegenüber der Spanplatte geltend machen.

Neben den reinen Herstellungskosten für die Wabenplatte muss natürlich bei einer Umstellung auf diesen Werkstoff die Veränderung der gesamten Produktions- bzw. Produktkette mitberücksichtigt werden. Eine ganzheitliche Betrachtung der Veränderung der Kosten bleibt nicht nur auf die Kosten des Werkstoffes beschränkt. Betrachtet man die Gesamtkosten bei der Herstellung von Möbeln aus Wabenplatten, so ergeben sich Mehrausgaben für den

Werkstoff, die Weiterverarbeitung und Verbindungsmittel. Dies gilt nicht für Wabenplatten mit internem Rahmen, da dieser eine herkömmliche Verarbeitung und Beschlagstechnologie ermöglicht. Dagegen sind die derzeit am Markt verfügbaren rahmenlosen Wabenplatten wesentlich teurer als herkömmliche Spanplatten. Ihre Weiterverarbeitung zu Möbeln erfordert einen höheren verfahrenstechnischen Aufwand im Vergleich zu massiven Holzwerkstoffen. Eine aufwendigere Kantenbearbeitung und Beschlagstechnik lassen deutliche Kostensteigerungen erwarten (vergl. Abschnitt 2.5). Dagegen ergeben sich mögliche Ersparnisse aus einer Verringerung der Anzahl der notwendigen Beschläge. Ein leichter Plattenwerkstoff stellt geringere Anforderungen an die Beschläge, somit können diese auf ein Minimum reduziert werden. Insgesamt werden die Fertigungskosten des Möbels aber höher sein als bei einer Fertigung aus Spanplatten.

Gegen diese Mehrausgaben bei der Fertigung lassen sich geringere Kosten bei Transport, Montage und Reklamationen aufrechnen. Beginnend mit dem innerbetrieblichen Handling während der Produktion, können beispielsweise bei Einsatz leichter Werkstoffe kostenintensive Zwei-Mann-Handhaben großer Möbelteile entfallen. Weiter sind geringere Kosten für die Verpackungen zu erwarten, da das geringere Gewicht des Möbels eine weniger aufwendigere Verpackung erfordert. Die Reduzierung des Gewichtes führt zu einer besseren Auslastung der Transportmittel, zu einem geringeren Energieverbrauch und eventuell zu niedrigeren Fahrzeuginvestitionen. Dies wirkt sich günstig auf die Transportkosten aus. Bei leichten Möbeln besteht außerdem eine wesentlich geringere Gefahr der Beschädigung während des Transports oder der Montage. Entsprechende Schäden werden über Reklamationen abgewickelt und haben sich in der Möbelindustrie zu einem nicht unerheblichen Kostenfaktor entwickelt. Die größte Ersparnis kann sich aber durch den nicht direkt quantifizierbaren Zugewinn über Marketingerfolge ergeben. Wenn sich der Einsatz von Wabenplatten in höheren Verkaufszahlen und Umsätzen niederschlägt. Derzeit ist der Marketingerfolg bei Standardmöbeln noch zu hinterfragen, da leichten Möbeln noch immer ein Image von minderwertiger Qualität anhaftet. Anders ist dies in Bereichen, wo leichte Werkstoffe zwingend notwendig sind (z.B. Caravanausbau), dort werden nahezu ausschließlich Leichtbauwerkstoffe eingesetzt. In solchen Bereichen wird das Gewicht jetzt schon als Qualitätsmerkmal erkannt und rechtfertigt somit einen höheren Preis. Setzt sich die Beurteilungsweise beim Möbelkunden durch, ein geringes Gewicht als Qualitätsmerkmal zu betrachten, wird sich auch die Nachfrage nach entsprechenden Möbeln entwickeln.

4 Prüfung und Normung

Fragen nach der Gebrauchsfähigkeit und damit meist nach der Festigkeit von Möbelkonstruktionen werden in der Praxis häufig gestellt. Dabei wurde früher ausschließlich nach Erfahrung konstruiert, wohingegen heute Nachweise von den Herstellern für die Belastungsfähigkeit von Möbelbauteilen gefordert werden. Für den Möbelbau existieren bisher nur wenige verbindliche Richtlinien wie sie aus anderen Bereichen z.B. des Holzbaus mit der DIN 1052: 2004 bekannt sind. Bei Möbeln steht die Funktionsfähigkeit und die Ästhetik im Vordergrund und nicht so sehr sicherheitstechnische Gesichtspunkte wie man sie aus dem Baubereich kennt⁸, daher beziehen sich die Prüfungen auf eine Sicherstellung der Funktion des Möbels über seine Lebensdauer.

Obwohl die meisten Normen sich auf die Konstruktion von Möbeln beziehen, betreffen sie doch mit ihren Bestimmungen meist auch die Grundwerkstoffe, aus denen sie gefertigt werden. Fragen der maximalen statischen Belastung von Möbelböden (DIN 68874: 1985), maximale Belastungen an Türen, Klappen und Schubkästen (EN 1727: 1998), Standsicherheit und Schwerpunkt von Möbeln (EN 1727: 1998), Resistenz der Oberfläche gegenüber dynamischen Stoßbelastungen (DIN ISO 4211-4: 1995) und Einwirkung von Umwelteinflüssen (DIN 68930: 1998) sind nur im Zusammenspiel zwischen der Konstruktion und den Eigenschaften der verwendeten Materialien zu sehen. Dazu ein Beispiel: zur Realisierung einer bestimmten Last auf einem Möbelboden lässt sich entweder ein sehr biegesteifes Material verwenden oder wenn dies nicht der Fall ist, muss von Seiten der Konstruktion die Stützweite angepasst werden. Hieraus lässt sich auch erklären, warum es keine allgemein gültigen Anforderungen an die Grundwerkstoffe gibt. Die bestehenden Normen sind so formuliert, dass sie sowohl von Seiten der Konstruktion als auch der Materialeigenschaften erfüllt werden können.

Für die herkömmlichen Grundwerkstoffe der Möbelindustrie, die Span- und MDF-Platten, gibt es genormte Anforderungen an den Werkstoff (Spanplatten DIN EN 312: 2003; MDF DIN EN 622: 2003). Hier werden die relevanten mechanischen Eigenschaften, Biegefestigkeit, Querzug- und Abhebefestigkeit aufgeführt, die es dem Konstrukteur von Möbeln ermöglichen, die Bauteile entsprechend ihrer Belastung zu dimensionieren. Für Wabenplatten gibt es keine vergleichbaren Normen, da es sich bei diesem Produkt nicht um einen derart vergleichbaren Werkstoff wie z.B. die Spanplatte handelt.

In Zukunft wird es also notwendig sein, dass sich die Hersteller von Wabenplatten auf relevante mechanische Eigenschaften einigen, die von ihrer Seite geprüft und angegeben werden, um so den Möbelherstellern eine Grundlage für die Konstruktion bieten. Dabei ist es natürlich wichtig, dass die Prüfungen der Materialeigenschaften nach vergleichbaren Metho-

⁸ Eine Ausnahme bilden dabei Möbel für Arbeitsplätze und Kindermöbel.

den durchgeführt werden, um die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Angaben zu gewährleisten.

Erfassung relevanter Eigenschaften

Die Anforderungen an die Holzwerkstoffe von Seiten der Normung, werden vor allem durch die folgenden qualitativen Eigenschaften des Werkstoffes beschrieben (DIN EN 312: 2003, DIN EN 622: 2003)

- Biegefestigkeit
- Biege-Elastizitätsmodul
- Querkzugfestigkeit
- Abhebefestigkeit (bei Spanplatten)
- Dickenquellung
- Schraubenauszieh Widerstand
- Maßänderung bei Feuchteeinwirkung
- Rohdichte

Vergleichbare Ausführungen gibt es für Leichtbauplatten, insbesondere Wabenplatten nicht. Die Möbelindustrie hat keine allgemein gültigen Mindestanforderungen, die sie an ihre Werkstoffe stellen. Die Anforderungen ergeben sich individuell auf ein Bauteil bezogen. Aus diesem Grunde liegen keine Werte vor, in welchem Rahmen sich Wabenplatten im Bezug auf ihre qualitativen Eigenschaften bewegen müssen. Damit bleibt nur ein Vergleich zu den üblichen Holzwerkstoffen, der aber dem besonderen Aufbau einer Wabenplatte und den zum Teil gravierenden Gewichtsunterschieden nicht gerecht wird.

Die Prüfung der folgenden Eigenschaften erscheint dabei im Bezug auf Wabenplatten im Möbelbau als sinnvoll.

Biegefestigkeit und Biege-E-Modul

Die Biegefestigkeit und der Biege- E-Modul des Materials sind für die Dimensionierung der verwendeten Werkstoffe bei der Konstruktion eines Möbels von entscheidender Bedeutung. Jegliche Form von Möbelböden, aber auch die Korpusseiten werden beim Gebrauch des Möbels durch die auf ihnen lagernden Gegenstände statisch belastet. Diese Lasten rufen Durchbiegungen hervor. Je nach Gewichtskraft und Belastungsart können diese Durchbiegungen ein Maß erreichen, die eine Beeinträchtigung der Funktion einzelner Möbelteile zur Folge hat (z.B. klemmende Türen).

Die Biegefestigkeit und der E-Modul werden bei HWS nach DIN EN 310: 1993 geprüft. Hierzu werden schmale Streifen (50 mm Breite) des Werkstoffes durch Aufbringen einer Last im Drei-Punkt-Biegeverfahren bis zum Bruch belastet. Ob die in der Norm vorgeschlagene Probengröße sowohl in ihrer Breite als auch der Stützweite sinnvoll bei der Anwendung auf Wabenplatten ist, ist dabei noch zu diskutieren.

Querzugfestigkeit

Die Bestimmung der Querzugfestigkeit entspringt einer theoretischen Überlegung zur Überprüfung der internen Festigkeit eines Werkstoffes. Die Querzugfestigkeit ist, mit einer Belastung im Sinne der Prüfung, beim fertigen Möbel nicht entscheidend. Sie ist allerdings aus Sicht der Verbindungstechniken von Bedeutung. Die Festigkeit von Verbindungsmitteln, sowohl fester als auch lösbarer, beruht auf der internen Festigkeit des Plattenmaterials. Ist diese nicht ausreichend, kommt es zu einer ungenügenden Verankerung des Verbindungsmittels.

Obwohl bei Wabenplatten die Beschlags- und Verbindungstechnologie auf anderen Prinzipien beruht (siehe 2.5.1), kommt es auch bei diesen Platten auf die Festigkeit des Sandwichgefüges an. Der Zusammenhalt zwischen den drei Schichten, bei einer rechtwinklig zur Plattenoberfläche auftretenden Zugbelastung, ist gerade bei Beschlägen, die sich auf die Verankerung in einer Decklage beschränken, von großer Wichtigkeit.

Bei einem Vergleich der Querzugfestigkeit von Wabenplatten mit massiven Holzwerkstoffen ist zu bedenken, dass aufgrund des speziellen Kernmaterials der Wabenplatten keine vergleichbaren Werte erreicht werden können und deshalb ein Vergleich wenig aussagekräftig erscheint.

Bei der Prüfung des Querzuges tritt bei dieser Form der Wabenplatten immer ein Versagen der Klebeverbindung zwischen Wabe und Decklage auf. Diese Verbindung stellt sich auch bei anderen Prüfungen als das schwächste Glied im Aufbau einer Wabenplatte da. Aus diesem Grunde ist die Querzugprüfung ein geeignetes Mittel, um relativ einfach und schnell die Qualität verschieden hergestellter Wabenplatten zu beurteilen.

Die Prüfung selber wird bei Holzwerkstoffen nach der Norm EN 319: 1993 durchgeführt. Das Prinzip und der Versuchsaufbau entsprechen den Prüfmethode, die auch bei Wabenplatten anderer Branchen angewendet werden. Wabenplatten für den Möbelbau lassen sich auch nach dieser Methode prüfen, allerdings bleibt die Probengröße zu diskutieren. Bereits veröffentlichte Querzugfestigkeiten beziehen sich bisher auf eine Probengröße von 150 mm x 150 mm (Kunkel 2004). Dies bedeutet im Vergleich zu der Probengröße von 50 x 50 mm laut DIN EN 319: 1993 ein erheblich größerer Materialbedarf und Aufwand. Zusätzlich sind größere Ungenauigkeiten bei größeren Probenflächen zu erwarten, da eine vollflächige Belastung schwer zu garantieren ist.

Wichtig bei der Prüfung ist auch eine einheitliche Belastungsgeschwindigkeit; hier bestehen zwischen den bisher durchgeführten Tests an Wabenplatten große Unterschiede, die eine Vergleichbarkeit der Resultate untereinander nicht zulässt.

Druckfestigkeit

Die Prüfung der Druckfestigkeit gilt bei Untersuchungen an Wabekern-Sandwichmaterialien, neben der Prüfung der Scherfestigkeit, als die wichtigste Untersuchung. Im Allgemeinen wird die Druckfestigkeit für jeden Wabentyp vom Hersteller angege-

ben und die Prüfung dieser Eigenschaft gehört zur allgemeinen Qualitätsüberwachung von Seiten des Wabenherstellers.

Im Bereich der Wabenmaterialien gibt es zwei Methoden zur Prüfung der Druckfestigkeit. Die Prüfung des Wabenmaterials ohne Decklagen (Abbildung 20) und die Prüfung der gesamten Sandwichkonstruktion, das heißt mit aufgeklebten Decklagen. Die Prüfung ohne Decklagen ist schnell durchzuführen und findet in der Regel beim Wabenhersteller im Rahmen der Qualitätsüberwachung statt.

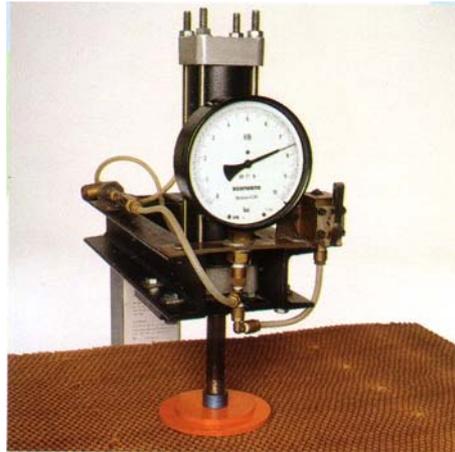


Abbildung 20: Prüfung der Druckfestigkeit des Wabenmaterials (Honicel)

Obwohl bei einer Sandwichkonstruktion die Druckfestigkeit allein vom Kernmaterial bestimmt wird, ergibt die Prüfung der Waben mit aufgeklebten Decklagen höhere Werte, da die Verklebung auf die Wabenzellen stabilisierend wirkt (Bitzer, 1997).

Die Druckfestigkeit bei Belastung senkrecht zur Plattenoberfläche ist bei der Verarbeitung von Wabenplatten zu Möbeln von Bedeutung. Nachträgliches Aufbringen von Beschichtungsmaterialien, z.B. Furniere, erfordern zum Teil hohe Flächendrücke. Ist die Wabenplatte diesen nicht gewachsen, kommt es zu einer Veränderung der Stärke der Platte. Zahlreiche Fördermechanismen und Bearbeitungsaggregate, insbesondere bei Kantenbearbeitungsmaschinen, üben bei der Verarbeitung der Platte hohe Drücke auf sie aus. Um diese an die Wabenplatte anzupassen und trotzdem ein Optimum an Führungspräzision zu ermöglichen, müssen die maximal zulässigen Druckkräfte auf eine Wabenplatte bekannt sein.

Auch für die Gebrauchsfähigkeit des Möbels spielt die Druckfestigkeit des Plattenmaterials eine Rolle. Große Fernseher, zum Teil über 60 kg schwer, übertragen ihr Gewicht über wenige Kunststofffüßchen auf die Platte. Bei einer derartigen Punktbelastung darf es nicht zu einem Eindrücken in das Möbel kommen.

Die Druckfestigkeit parallel zur Plattenoberfläche kommt in der Möbelkonstruktion bei Regalen und Korpusseiten zum Tragen. Ihre Dimensionierung hängt unter anderem von der Steifigkeit des Materials gegen Ausknicken bei Belastung ab.

Das Ausknicken soll bei der Prüfung der Druckfestigkeit parallel zur Plattenoberfläche überprüft werden. Bei einer Wabenplatte sind dabei die Druckfestigkeiten der Decklagenmaterialien entscheidend.

Prüfmethoden zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Holz, DIN 52185: 1976 (parallel) bzw. DIN 52192: 1979 (senkrecht), schließen sich aus, da die vorgeschriebenen Prüfkörper zu klein sind. Aus dem Bereich der Holzwerkstoffe ist eine Prüfmethode zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Sperrholz (DIN 52376: 1978) bekannt, die sich auch auf Wabenplatten anwenden lässt.

Klimabeständigkeit

Die Klimabeständigkeit, als Maß für die Dimensionsveränderung eines Werkstoffes unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen, wird im Bezug auf Holzwerkstoffe von der Norm EN 318: 2002 abgedeckt. Diese lässt sich auch auf Wabenplatten anwenden, allerdings wird die Veränderung der Flächendimension beim Einfluss unterschiedlicher Feuchten kaum von einer Betrachtung des Decklagenmaterials abweichen. Anders bei der Veränderung der Dicke. Diese wird stark durch das hygroskopische Verhalten des Papierwabenkerns beeinflusst⁹, wobei dieser entweder durch Kantenmaterialien und/oder einem Rahmen von der Umwelt abgeschlossen ist. Da Wabenplatten im Innenbereich Anwendung finden, ist nicht mit großen Feuchteschwankungen zu rechnen.

Schraubenauszieh Widerstand

Schraubenauszieh Widerstände werden bei Wabenplatten nur von der Decklagendicke und dem Decklagenmaterial beeinflusst. Eine Prüfung nach EN 320: 1993 an Wabenplatten bringt keine Veränderung gegenüber der Prüfung des Decklagenmaterials. Zudem ist bei Unterschreiten einer bestimmten Decklagendicke¹⁰ diese Prüfung nur noch wenig sinnvoll, da Schraubverbindungen dann keine Festigkeit mehr bieten.

Stoßprüfung

Stoßbeanspruchungen, wie es z.B. das Fallenlassen eines schweren Gegenstandes über einer Möbeloberfläche darstellt, können bei geringer Unterstützung der Decklage durch den Wabekern zu Einbeulungen oder gar Durchbrüchen führen. Dieses Verhalten lässt sich durch eine Stoßbeanspruchung mit einer Stahlkugel in Anlehnung an die Norm EN 438-2.12: 2005 aus dem Bereich Laminatböden prüfen. Hierzu wird eine in Größe und Gewicht definierte Stahlkugel aus einer festgelegten Höhe auf die Wabenplatte fallengelassen. Als Beschädigung gelten Haarrisse, durchgehende Risse und Einbeulungen. Die Stoßbeanspru-

⁹ Die Dimensionsänderung des Papiers durch Luftfeuchtigkeit, ist in Querrichtung (0,3% bis 0,7%) wesentlich größer, als in Laufrichtung des Papiers (0,1% bis 0,3%). Grund dafür, ist die stärkere Formveränderung im Durchmesser der Faser, als in der Länge. Bei der Papierherstellung orientieren sich die Fasern hauptsächlich parallel zur Sieb-Laufrichtung.

¹⁰ >4mm, bei Verwendung von Spezialschrauben

chung wird durch die maximale Fallhöhe ausgedrückt, bei der noch keine sichtbaren Beschädigungen auftreten.

Prüfung von Bauteilen

Da Wabenplatten heutzutage meist mit einem internen Rahmen versehen sind, lassen sich für diese Typen die vorgestellten reinen Werkstoffprüfungen nicht anwenden, da die Probengrößen eine Berücksichtigung des Rahmens nicht zulassen. Für diesen Fall empfiehlt es sich, eine Bauteilprüfung vorzunehmen.

Aus dem Möbelbereich bietet sich die Norm DIN 68874 „Möbel-Einlegeböden und Bodenträger“ an. Hier wird bei einem auf Biegung beanspruchten Möbelboden nicht die Biegefestigkeit ermittelt, sondern die maximale Durchbiegung bezogen auf ein Norm-Prüfgewicht. Das Ergebnis lässt Aufschluss auf die Biegesteifigkeit des Materials zu. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass ganze Bauteile, in diesem Fall eine Kombination aus mehreren Elementen, als Gesamtheit auf ihre Funktion hin überprüft werden. Diese Methode eignet sich auch für die Überprüfung des Kriechverhaltens von Wabenplatten. Das Kriechen beschreibt die Zunahme der Durchbiegung bei konstanter, ruhender Last. Der Verlauf der Kriechkurve ist abhängig von dem Belastungsniveau. Die Zunahme ist innerhalb der ersten Tage nach Lastaufbringung am stärksten ausgeprägt und nimmt im Laufe der Zeit ab. In der Regel ist sie nach einer gewissen Zeit kaum noch wahrnehmbar, kommt aber theoretisch nicht zum Stillstand. Dieser zeitliche Faktor wird in der Norm durch eine Prüfdauer von 28 Tagen berücksichtigt. Die auftretende Durchbiegung setzt sich zusammen aus einem elastischen und einem plastischen Anteil. Der elastische Anteil bildet sich nach der Entlastung wieder zurück, die Durchbiegung aus dem plastischen Anteil bleibt dauerhaft vorhanden, sie ist irreversibel.

5 Untersuchung elastomechanischer Eigenschaften

Die in der Literatur beschriebenen Eigenschaften von Wabenplatten beziehen sich in der Regel auf höherwertige Materialien und Einsatzgebiete außerhalb des Möbelbaus und lassen sich von daher nur bedingt auf dieses Thema anwenden. Wabenplatten für den Möbelbau sind im Hinblick auf Herstellung, Prüfung und charakteristische Eigenschaftswerte unbeschrieben. Lediglich in Firmenschriften und Vortragsmanuskripten wird vereinzelt auf Eigenschaften solcher Platten eingegangen. Art und Weise der Prüfungen bleiben dabei aber meist im Verborgenen oder müssen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit hinterfragt werden.

In diesem Teil der Arbeit galt es deshalb, den Einfluss der Prüfmethode auf die Festigkeitswerte zu untersuchen und orientierende Werte für die Festigkeiten von Wabenplatten zu generieren. Im Einzelnen wurden folgende Ziele verfolgt:

1. Erhalt von Eigenschaftskennwerten, die zur groben Einordnung und zum Vergleich mit herkömmlichen HWS dienen können. Diese sind im Hinblick auf die Bewertung der Zukunftsfähigkeit eines solchen Produktes erforderlich.
2. Untersuchung der angewendeten Prüfmethode auf ihre Eignung in Bezug auf ein derart inhomogenes Material. Dabei wird hauptsächlich der Frage nach der geeigneten Prüfkörpergröße nachgegangen.
3. Untersuchung des Einflusses von verschiedenen Zellweiten innerhalb der am Markt verwendeten Bandbreite auf die Festigkeitseigenschaften.
4. Untersuchung des Einflusses der Gesamtstärke bei gleich bleibender Decklagendicke auf die Festigkeitseigenschaften.

5.1 Material und Methoden

5.1.1 Vorversuche

In den Vorversuchen sollten verschiedene Leime (UF-Harze und PVAc-Leim) und Leim-Auftragsmengen bezüglich ihrer Verarbeitungsfähigkeit und ihren Verleimqualitäten untersucht werden. Außerdem sollte die Herstellung dieser Platten im Labormaßstab erprobt werden. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Entwicklung eines Verfahrens zur manuellen Expandierung des Wabenmaterials und zum Verpressen auf einer Furnierpresse. Notwendige Handgriffe, ungeeignete Methoden und Probleme ließen sich auf diese Weise erkennen und üben. Das Material aus den Vorversuchen wurde weiterhin, soweit es zu einer fertigen Wabenplatte geführt hat, zur Erprobung der Prüfmethode bei den Festigkeitsuntersuchungen genutzt.

Die Vorversuche wurden mit handelsüblichen, einseitig beschichteten HDF-Platten als Decklagen durchgeführt. Als Wabenmaterial wurden Papier-Endloswaben mit einer Stärke von 16 mm, einer Zellgröße von 15 mm und einem Papiergewicht von 140 g/m² eingesetzt.

Die Auftragsmenge des PVAc-Leims wurde variiert. Es sollte die Ausbildung einer beidseitigen Kehlnaht zwischen Papiersteg und der Decklage erreicht werden. Beim Verpressen konnte man jedoch feststellen, dass der mit einem größeren Leimauftrag verbundene erhöhte Wassereintrag, Probleme für die Festigkeit der Papierstege mit sich bringt. Die Stege weichen von ihren Enden her durch die Wasseraufnahme auf. Der Druck während des Pressvorgangs lässt die aufgeweichten Stegenden immer weiter einknicken. Es fehlt der für die Verpressung notwendige Gegendruck der Platte. Folglich fährt die Presse immer weiter zu, um den eingestellten Pressdruck zu erreichen. Ergebnis ist eine Platte mit stark reduzierter Dicke. Da eine Furnierpresse nach einem isobaren Pressprinzip arbeitet und nicht die Möglichkeit besteht, die Presse isochor zu steuern, wurden bei allen folgenden Verpressungen Distanzleisten verwendet. Hiermit sollte verhindert werden, dass bei mangelndem Gegendruck durch die Sandwichplatte¹¹, der Presstisch über die gewünschte Distanz zufahren kann.

Um bei einem minimalen Leimauftrag und damit verbundenem Wassereintrag die Ausbildung von Kehlnähten zu erreichen, wurde der PVAc Leim versuchsweise mit Stärkemehl vermischt. Die eigene Klebkraft und der quellende Charakter der Stärke bedingen eine bessere Kehlnahtausbildung. Auf eine weitere Optimierung in dieser Richtung wurde verzichtet, da bei Einsatz eine UF-Leimpulvers Viskosität und damit auch der Wassereintrag selbst reguliert werden kann. Nach Auswertung erster Festigkeitsuntersuchungen und positiver Resultate mit UF-Harz-verleimten Wabenplatten gegenüber PVAc-verleimten, fiel die Entscheidung auf die Verwendung eines UF-Harzes für die weiteren Versuche.

5.1.2 Materialien und Herstellung

5.1.2.1 Decklagen

Für die Hauptversuchsreihe wurden Dünnsplanplatten als Decklagen verwendet. Die Spanplatten sind auf einer Kalandieranlage hergestellt worden. Das Material lag ab Werk in einem Format von 213 cm x 100 cm vor und hatte eine Stärke von 2,7 mm. Die Platten waren beidseitig geschliffen. Proben aus den Platten ergaben eine mittlere Rohdichte von 757 kg/m³. Die Rohdichteprofile zeigten außerdem ein relativ symmetrisch aufgebautes Profil.

Die Platten wurden jeweils mittig in ihrer Länge nach aufgetrennt, um ein Maß von 106 cm x 100 cm zu erhalten. Dieses Format wurde aus Gründen des besseren Handlings beim späteren Verpressen und zur größtmöglichen Ausnutzung des Materials gewählt.

¹¹ Im Falle eines Aufweichens der Papierwaben.

5.1.2.2 Klebstoff

Als Klebstoff wurde ein UF-Harz, Typenbezeichnung 950.20, der Firma Jowat genutzt. Typische Anwendungsfälle sind das Verleimen von Furnieren, CPL- und HPL- Materialien auf Holzwerkstoffe in Warm- oder Heißpressen, oder die Produktion von Multiplex-Formteilen in HF-Pressen.

Der verwendete Klebstoff ist ein formaldehydarker Pulverleim mit eingebautem Härter und organischen Verdickungsmitteln.

Die Leimflotte wurde gegen Angaben des Herstellers in einem Gewichtsverhältnis von ca. 2,5 : 1 (Pulver-Wasser) angesetzt. Empfohlen ist ein Verhältnis von ca. 2 : 1. Der Wasseranteil der Leimflotte wurde bewusst kleiner gewählt, um den Wassereintrag in die Wabenplatte bei der Verpressung so gering wie möglich zu halten. Es ist darauf zu achten, dass die Viskosität nicht zu stark ansteigt, da sonst beim Leimauftrag Probleme hinsichtlich einer gleichmäßigen Verteilung auftreten.

Der Leimauftrag wurde mittels einer Handleimrolle durchgeführt. Um definierte Mengen aufzutragen, wurde pro Decklage die benötigte Menge Leim in einem Messbecher abgewogen und entsprechend in den Leimroller gefüllt. Da sowohl im Messbecher als auch im Leimroller immer eine Restmenge verbleibt, wurde diese im Vorfeld ermittelt und der ersten Charge entsprechend aufgeschlagen.

Die Leimauftragsmenge wurde auf ca. 190 g/m² festgelegt. In Vorversuchen zeigte sich, dass diese Menge mit der zur Verfügung stehenden Leimauftragsrolle zu einem relativ gleichmäßigen Auftragsergebnis führt. Geringere Auftragsmengen, die aus der industriellen Produktion von Wabenplatten bekannt sind und zwischen 100-120 g/m² liegen, waren mit dem Auftragsgerät nur schwer gleichmäßig aufzubringen. Außerdem führte eine zu dünne Leimschicht zu einem frühzeitigen Wegschlagen des Leims. Der erhöhte Leimverbrauch war bei der Herstellung im Labormaßstab zu vernachlässigen, wohingegen eine erhöhte Auftragsmenge bei der Beurteilung der Festigkeitswerte mit berücksichtigt werden muss.

5.1.2.3 Waben

Für die Versuchsplatten wurden ausschließlich Papier-Endloswaben eingesetzt. Dabei standen fünf verschiedene Typen zur Verfügung:

- drei verschiedene Höhen 10 mm – 16 mm – 32 mm
- drei verschiedenen Zellweiten 15 mm – 21 mm – 25 mm,

wobei die verschiedenen Wabenhöhen alle eine Zellweite von 15 mm hatten. Gefertigt waren alle Typen aus 140 g/m² schwerem Recyclingpapier.

Bis auf die 10 mm hohen Waben waren alle Typen mit Lüftungsschlitzen ausgestattet um bei einer Heißverpressung den Dampfaustritt zu ermöglichen. Das Fehlen dieser Entgasungsmöglichkeit wurde beim Verpressen berücksichtigt (siehe unter 5.1.2.4).

Das Wabenmaterial lag, wie dies für Endlos-Waben üblich ist, in einem nicht expandierten Zustand ab Lieferant vor. Die Breite des Endlos-Wabenmattenmaterials betrug 1250 mm. Durch das Expandieren kommt es zu einer Querkontraktion in der Breite, wodurch diese auf bis zu 900 mm¹² verjüngt wird. Bei der industriellen Produktion von Wabenplatten wird die Wabenmatte maschinell expandiert, dabei getrocknet und auf Maß geschnitten. In diesem Fall lag eine solche Maschine nicht vor, daher wurden alle Verfahrensschritte manuell durchgeführt.

Um die Waben zu expandieren, wird die Matte auf einer großen Arbeitsplatte ausgebreitet. Mit einer Nagelleiste, ähnlich einer breiten Harke wird die Matte am freien Ende eingespannt und das Wabenmaterial über die gesamte Breite relativ gleichmäßig auseinander gezogen. Die Nagelleiste wird ersetzt, indem die Papierwabe zwischen zwei Leisten mit Hilfe von vier Schrauben eingeklemmt wird. Dies hat den Vorteil, dass die Waben zwischen den Leisten gleichmäßiger gehalten werden und die recht erheblichen Spannungen¹³ beim Expandieren nicht zu einem Aufreißen einzelner Zellen führen. Auch die Querkontraktion der Wabenmatte kann durch diese Methode besser ausgeglichen werden. Die Klemmleisten können einfach mit ein wenig Abstand zur Nagelleiste innerhalb der Wabenmatte angesetzt werden, in einem Bereich, wo die Matte nahezu ihre Endkontraktion erreicht hat.

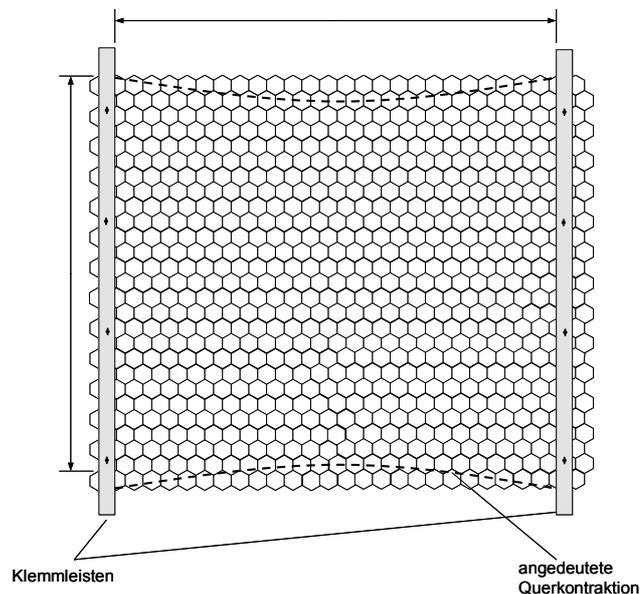


Abbildung 21: Querkontraktion der Wabenmatte

Das so eingespannte freie Ende der Wabenmatte wird auf dem Arbeitstisch mit Zwingen fixiert. Die Matte wird dann auf die gewünschte Endlänge expandiert. Für die Verpressung in

¹² abhängig von der Zellweite

¹³ je nach Zellgröße und Stärke

der Furnierpresse wurde eine Länge von 110 cm benötigt. Hierzu wird an der entsprechenden Stelle der Wabenmatte wiederum eine Klemmleiste angebracht (Abbildung 22). Es ist zu beachten, dass die Zellen dabei ihre vorgesehene Zellgröße erreichen. Damit liegt eine Wabenmatte in gewünschter Länge und mit optimalen Expansionsgrad zwischen den Fixierungsleisten vor und kann von dem Endlospaket abgetrennt werden. Ungleichmäßige Zellweiten im Bereich der Einspannungen, bedingt durch die Querkontraktion, können durch Lösen der äußeren Schrauben der Klemmleisten und einem leichten Verschieben der Waben behoben werden.



Abbildung 22: Expansion der Waben

Die so eingespannte Wabenmatte wird vor dem Verpressen vorgetrocknet. Dazu wird die Matte leicht zusammengestaucht, um aufrecht stehend in einem Trockenofen Platz zu finden. Idealer wäre ein Trocknen im expandierten Zustand, da der Trockenprozess die Wabe in diesem Zustand fixiert. In diesem Fall wurde das Trocknen nur durchgeführt, um das Material in einen Zustand mit optimalen Festigkeitseigenschaften zu versetzen¹⁴ und dem Aufweichen durch den Wassereintrag möglichst lange zu widerstehen.

Getrocknet wurde für ca. 20 Minuten, dadurch verringert sich die Papierfeuchte von ca. 9 % Ausgangsfeuchte bei Lagerung im Prüffeld auf 2,3 % nach dem Trocknen. Diese Werte wurden experimentell bestimmt, in dem bei zwei Trockenvorgängen jeweils eine Probe Wabenmaterial beim Trocknen zugegeben wurde. Diese Proben wurden vor und nach dem Trocknen gewogen und ihr Gewicht auf 0,001 g genau bestimmt. Anschließend wurden die Proben in einem Darrofen bei 103°C vollständig entfeuchtet und wiederum das Gewicht bestimmt. Nach folgender Formel wurden Anfangs- und Endfeuchte berechnet.

$$u = \frac{m_u - m_{dtr}}{m_{dtr}} \cdot 100 \quad [\%]$$

¹⁴ Laut Herstellerangaben liegt dieser bei 3% Papierfeuchte.

Eine Kalibrierung der Wabenmatte zur Egalisierung produktionsbedingter Dickenschwankungen und zur Vergrößerung der Fläche der Wabenstege, konnte leider in diesem Fall nicht durchgeführt werden.

5.1.2.4 Verpressen

Die Decklagen im Format 106 x 100 cm werden einzeln beleimt. Der Klebstoff wird auf die Kalandr abgewandte Seite aufgetragen, so dass später bei der fertigen Sandwichplatte die Kalandrseite außen liegt¹⁵.

Anschließend wird die beleimte untere Decklage auf eine Presszulage aus einer Hartfaserplatte mit der Abmessung 110 x 100 cm aufgelegt. Die getrocknete Wabenmatte wird auf 110 cm Länge von Hand expandiert und auf die untere Decklage aufgelegt. Die Klemmleisten der Wabenmatte werden hinter die Stirnenden der Presszulage geklemmt. Dadurch hält die untere Presszulage die Matte in einem expandierten Zustand und verhindert so, dass sich beim weiteren Händeln der Platte die Waben wieder zusammenziehen und den Leim von den Decklagen abstreifen. Anschließend wird die obere Decklage aufgelegt und wiederum mit einer Presszulage abgedeckt.

Das Sandwichpaket wird so in die Presse gelegt, dass die Einspannvorrichtungen der Wabenmatte parallel zu den Längsseiten der Presse angeordnet sind. Diese sollen dabei über die Pressbleche überstehen, damit die Pressfläche die Distanz von 110cm zwischen den Einspannvorrichtungen hält.

Bei der Presse handelt es sich um eine hydraulische 4-Kolben-Unterrahmenpresse der Firma Joos, mit einer Pressfläche von 220 cm x 110 cm.

Der Pressdruck beim Verpressen der Wabenplatte muss so hoch gewählt werden, dass die Klebeflächen an allen Stellen in Berührung gebracht werden und die Wabenstege in das vollflächige Klebstoffbett gedrückt werden. Die maximale Druckfestigkeit des Wabenmaterials darf dabei nicht erreicht werden, da es durch den Wasseranteil des Leims zu einem Aufweichen des Papiers kommt und die Waben rapide an Druckfestigkeit verlieren.

Aus der maximalen Druckfestigkeit der Papierwaben und den Erfahrungen aus den Vorversuchen wurde ein Pressdruck von max. 0,1 N/mm² für alle Plattentypen festgelegt.

Die Presse, auf 100°C Pressflächentemperatur aufgeheizt, wird vorsichtig zugefahren, damit sich die Einspannleisten der Wabenmatte nicht verkeilen und anschließend wird auf den erforderlichen Druck gepresst.

Um sicher zu gehen, dass bei ungleichmäßigem Zufahren der Presse oder bei einem Nachgeben der Waben die Sollstärke der Wabenplatte eingehalten wird, werden beim Pressen rechts und links von der Sandwichplatte Distanzleisten aus MDF mit in die Presse eingelegt. Die Leisten sollten direkt über den Kolbenpaaren angeordnet sein, um die Pressflächen op-

¹⁵ Erkennen lässt sich die Seite an der Krümmung der Platte.

timal zu belasten. Die Dicke der Distanzleisten ist so bemessen, dass sie 2/10 mm dünner sind als die aufsummierte Gesamtstärke der einzelnen Sandwichkomponenten.

Die Presszeit beim Heißabbinden berechnete sich nach der temperaturabhängigen Pressgrundzeit des Klebstoffs und der Durchwärmzeit. Die Durchwärmzeit wird von der Pressplattentemperatur beeinflusst:

Tabelle 1: Theoretische Gesamtpresszeit

| | |
|--|-------|
| Pressgrundzeit (bei 100°C) | 1 min |
| Durchwärmzeit (bei 2,7 mm + 3 mm, 100°C) | 6 min |
| errechnete Presszeit | 7 min |

Die Wabenplatten wurden für ca. 15 min, also wesentlich länger als benötigt in der Presse belassen, um ein vollständiges Abbinden des Leimes unter allen Umständen zu ermöglichen und ein Trocknen der durch den Leim aufgeweichten Papierwaben zu garantieren. Besonders wichtig ist ein langes Aufrechterhalten des Pressdruckes bei der Wabe ohne Entlüftungsschlitz (Typ IV). Da hier der entstehende Wasserdampf nicht direkt entweichen kann, wurde bei diesem Wabentyp die Temperatur auf 80°C gesenkt um eine geringere Dampfentwicklung während des Verpressens zu erreichen. Dadurch ergab sich eine erhöhte Pressgrundzeit von 3 min wodurch sich die Presszeit auf 9 min erhöht. Zusätzlich wurde der Pressdruck für weitere 30 min bei erkaltenden Pressblechen aufrechterhalten um der Platte genügend Zeit für einen Druckabbau zu geben.

5.1.2.5 Klimatisieren

Nach der Entnahme aus der beheizten Presse wurden die Wabenplatten senkrecht, allseitig offen im Raum abgestellt, um ein möglichst gleichmäßiges Auskühlen zu ermöglichen. Die richtige Nachbehandlung der Werkstücke nach dem Pressen ist von wesentlicher Bedeutung für die spätere Qualität, hinsichtlich der Verzugsfreiheit der Platte. Keine der Platten zeigte nach dem Verpressen starke Krümmungen oder Verwerfungen; allerdings lassen sich geringfügige Unebenheiten auf der Oberfläche beobachten, die praktisch ein Negativ der unebenen Pressbleche darstellen. Die Platten wurden mit einer durchlaufenden Produktionsnummer und dem Wabentyp beschriftet. Ober- und Unterseite wurden markiert, für eventuelle Rückschlüsse von Eigenschaften auf die Produktionsmethode.

Die eigentliche Klimatisierung erfolgte senkrecht gelagert im Prüffeld mit Normklima 20/65. Die Klimatisierung dient dazu, die Feuchteverschiebung im Pressgut durch den Einsatz wasserhaltiger Klebstoffe zurückzustellen.

5.1.2.6 Untersuchungsmaterial

Für die Festigkeitsprüfungen wurden insgesamt fünf verschiedene Plattentypen hergestellt. Drei verschiedenen Wabenstärken mit 10, 16 und 32 mm und drei verschiedenen Wabenzellgrößen mit 15, 21 und 25 mm jeweils in 16 mm Stärke. Das zur Verfügung gestellte Material

reichte dafür aus, von jedem Wabentyp jeweils drei Platten herzustellen. Eine größere Menge an Platten pro Typ wäre sicherlich im Hinblick auf eine größere Probenmenge wünschenswert gewesen, ließ sich in diesem Fall aber nicht realisieren.

Über die Art der hergestellten Platten und deren Kennzeichnung gibt Tabelle 2 Auskunft:

Tabelle 2: Untersuchungsmaterial

| Interne Kennzeichnung | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Decklagen | Dünnspon | Dünnspon | Dünnspon | Dünnspon | Dünnspon |
| Decklagenstärke [mm] | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| Wabenstärke [mm] | 16 | 16 | 16 | 10 | 32 |
| Zellweite [mm] | 15 | 21 | 25 | 15 | 15 |
| Papiergewicht [g/m ²] | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 |
| Klebstoff | UF-Harz | UF-Harz | UF-Harz | UF-Harz | UF-Harz |
| Auftragsmenge [g/m ²] | 190-200 | 190-200 | 190-200 | 190-200 | 190-200 |

Die Platten wurden in einem Format von 106 cm x 100 cm hergestellt. Da die Wabenmatte im expandierten Zustand durch die Querkontraktion nur ca. 95 cm breit ist, lag in den Randbereichen der fertigen Platte die Wabenkernschicht nicht vollflächig vor (vergl. Abbildung 21). Um einheitliche Prüfkörper zu gewährleisten wurden die Platten ringsum auf ein Maß von 100 cm x 90 cm formatiert. Die Expansionsrichtung der Wabenmatte verläuft parallel zu der längeren Plattenseite. Von jedem Plattentyp wurden nach einem festen Schnittplan die benötigten Proben für die nachstehenden Prüfungen geschnitten. Dabei sind die Schnittpläne so angelegt, dass das Probenmaterial für eine Untersuchung möglichst aus einer Platte geschnitten wird, um Einflüsse aus unterschiedlichen Produktionschargen zu vermeiden. Innerhalb der Platte sollten die Proben möglichst aus der gesamten Fläche entnommen werden. Dies erschwert zwar das Probenschneiden, da immer wieder ein neues Maß eingestellt werden muss, vermeidet aber, dass Proben gebündelt aus Bereichen entnommen werden, die aus produktionstechnischer Sicht nicht dem Optimum entsprechen¹⁶. Wichtig bei der Gestaltung der Schnittpläne ist die Beachtung der Legerichtung der Wabenmatte. Zu den benötigten Proben wurde ein gewisser Materialanteil als Reserve gerechnet. Die Schnittpläne für die einzelnen Plattentypen befinden sich im Anhang.

Die fertig zugeschnittenen und beschrifteten Proben wurden in einer Klimakammer mit Normklima 20/65 bis zur Gewichtskonstanz gelagert¹⁷.

¹⁶ z.B. zu stark oder zu schwach expandierte Waben, lokale Leimnester, Einbeulungen durch die Pressbleche

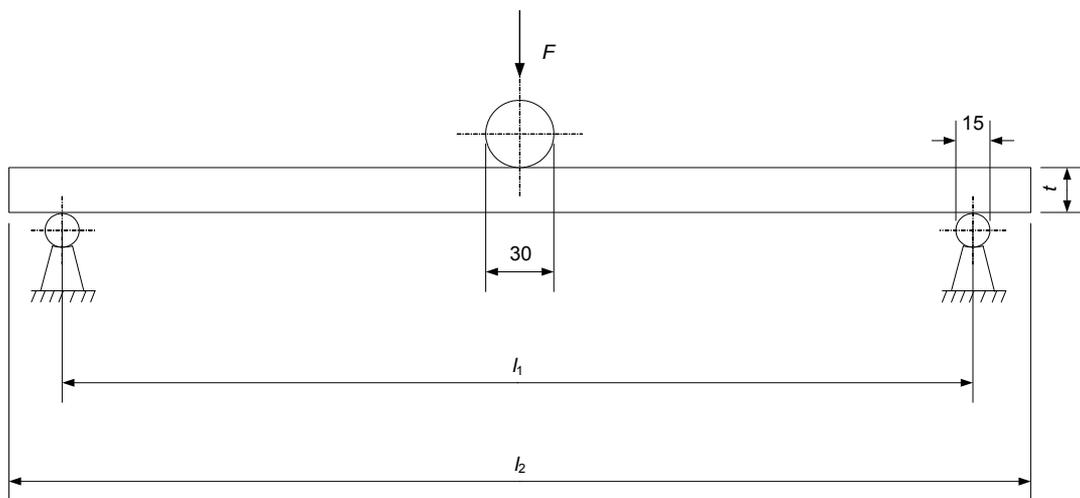
¹⁷ Die Gewichtskonstanz stellte sich recht rasch ein, da das Material schon vor dem Auftrennen klimatisiert war

5.1.3 Untersuchungsmethoden

Die Notwendigkeit geeigneter und einheitlicher Prüfmethode wurde bereits im Vorfeld beschrieben. Für die folgenden Untersuchungen wurden Prüfmethode angewandt, die hauptsächlich aus dem Bereich der Holzwerkstoffe stammen. Dies erscheint als sinnvoll, da es sich bei der beschriebenen Wabenplatte um ein mögliches Substitut für Span- und MDF-Platten handelt.

5.1.3.1 Biegefestigkeit und E-Modul

Die Biegeprüfung wurde in Anlehnung an die für Holzwerkstoffe gültige EN 310: 1993 durchgeführt.



F = Kraft

l_1 = Stützweite $20 \times t$

t = Dicke des Prüfkörpers

l_2 = Stützweite + 50 mm

Maße in Millimeter

Abbildung 23: Versuchsaufbau Biegeprüfung (nach EN 310, 1993)

Die Biegeprüfung entspricht einer Drei-Punkt-Biegung. Das bedeutet, dass der Prüfkörper durch Aufbringen einer Last in der Mitte der an zwei Punkten aufliegenden Probe belastet wird. Die Kraft wird so lange erhöht, bis es zum Bruch der Probe kommt. Der Bruch sollte dabei innerhalb von 60 (± 30) Sekunden eintreten. Die Biegefestigkeit f_m errechnet sich dabei aus der Maximalkraft F_{\max} , der Stützweite l und der Probenbreite b und Probendicke t nach folgender Formel:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot t^2} \quad [N / mm^2]$$

Um den Elastizitätsmodul zu ermitteln, muss die Kraft- und Durchbiegungszunahme im elastischen Bereich des Kraft-Verformungs-Diagramms ermittelt werden. Hierzu werden die Kraft-Weg-Paare für 10% und 40% von F_{\max} ($F_1 - a_1$; $F_2 - a_2$) von der EDV der Prüfmaschine aufgenommen. Der E-Modul errechnet sich dann nach folgender Formel:

$$E_m = \frac{l^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad [N / mm^2]$$

Im ersten Versuchsteil wurde der Einfluss der Probenbreite auf die Biegefestigkeit überprüft. Hierzu wurden Proben aller Typen in den Breiten 50 mm, 70 mm, 90 mm und 110 mm verwendet. Die Stützweite betrug, entsprechend der Norm, die 20-fache Nenndicke. Die Wabenmittellagen waren dabei in Expansionsrichtung orientiert.

Von jedem Plattentyp wurden jeweils fünf Proben pro Versuchseinheit geprüft.

Im zweiten Versuchsteil wurde der Einfluss der Stützweite auf die Biegefestigkeit überprüft. Dazu wurde bei einer Probenbreite von 50 mm eine Stützweite von der 23-fachen und der 25-fachen Nenndicke gewählt.

Von jedem Plattentyp wurden jeweils fünf Proben pro Versuchseinheit geprüft.

Im dritten Versuchsteil wurde die Biegefestigkeit von Proben mit quer zur Expansionsrichtung orientierten Wabenmittellagen (siehe Abschnitt 2.4.2) für jeden Typ geprüft. Die Probenbreite betrug auf Basis des ersten Versuchsteils 50 mm, die Stützweite die 20-fache Nenndicke.

Von jedem Plattentyp wurden jeweils fünf Proben pro Versuchseinheit geprüft.

Auf die Stützweiten müssen als Überstand noch 50 mm Zugabe gerechnet werden.

Durchgeführt wurden die Biegeprüfungen an einer Universalprüfmaschine mit Spindelbetrieb und einer 50 kN Messdose der Firma Frank.

Vor jedem Versuch wurden die Probenabmessungen gemessen und zusammen mit der Stützweite festgehalten. Die Bruchkraft F_{\max} sowie die Kraft- Weg-Paare bei 10% bzw. 40% der Bruchkraft wurden von der EDV der Maschine festgehalten und aufgezeichnet.

Um ein Einbeulen der Wabenplatte im Bereich des Lastkopfes zu verhindern, wurde zwischen Probenkörper und dem Biegestempel ein Reiter (45 mm x Probenbreite) gelegt.

5.1.3.2 Querzugfestigkeit

Die Querzugfestigkeit wurde in Anlehnung an DIN EN 319: 1993 „Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene bei Span- und Faserplatten“ durchgeführt.

Der Prüfkörper wird dabei mit einer gleichmäßig verteilten Zugkraft bis zum Bruch belastet. Die Zugfestigkeit ergibt sich aus dem Quotienten aus Bruchkraft und Querschnittsfläche des Prüfkörpers.

$$f_t = \frac{F_{\max}}{a \cdot b}$$

dabei ist:

F_{\max} die Bruchkraft in Newton

a, b die Länge und Breite des Prüfkörpers, in Millimeter

Die Prüfkörper mit einer Kantenlänge von 50 mm werden mit Aluminiumjochen unter Verwendung eines Schmelzklebers verklebt. Für die Prüfkörper mit den Kantenlängen von 100 mm, bzw. 150 mm waren keine Metalljoche vorhanden. Ersatzweise wurden diese Proben zwischen entsprechend großen Platten aus 32 mm starker Spanplatte mit PVAc-Leim verklebt¹⁸.

Die Joche werden auf beiden Seiten des Prüfkörpers mit einem Wellengelenk selbstausrichtend in die Prüfmaschine eingespannt. Bei den großen Prüfkörpern wurde auf die Spanplattenjoche eine 10 mm starke Stahlplatte aufgeschraubt, in die mittig zentriert die Aufnahme für die Einspannung eingeschraubt werden konnte (Abbildung 24).



Abbildung 24: Versuchsaufbau Querzugprüfung

Die Prüfkörper wurden bis zur Gewichtskonstanz im Normklima 20/65 klimatisiert und nach dem Aufbringen der Joche für weitere 24 Stunden im Normklima gelagert.

Der mit Jochen verklebte Prüfkörper wird in die Einspannvorrichtung der Zugmaschine eingehängt und bis zum Bruch belastet. Die Belastungsgeschwindigkeit ist konstant und so zu wählen, dass der Bruch innerhalb von (60 ± 30) Sekunden erreicht wird. Die Bruchkraft wird mittels Schleppzeiger auf dem Manometer abgelesen.

Alle Ergebnisse, bei denen ein Bruch in der Klebfuge zwischen Probe und Joch auftrat oder das Joch selber versagt hat, wurden nicht berücksichtigt.

¹⁸ Eine Verklebung mit Schmelzkleber war in diesen Fällen nicht möglich, da die notwendige Erhitzung der Spanplatten zu einem starken Verlust an Querzugfestigkeit dieses Materials führte. Gründe liegen wohl in einer Hydrolyse des UF-Bindemittels der Spanplatte.

Von jedem Typ wurden mindestens fünf Proben mit den Kantenlängen 50, 100 und 150 mm getestet.

5.1.3.3 Untersuchung der Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene

Auf eine Prüfung des Wabenkernmaterials auf seine Druckfestigkeit wurde verzichtet, da diese vom Hersteller für jeden Wabentyp angegeben wird.

Untersucht wurde die Druckfestigkeit der Wabenplatte senkrecht zur Oberfläche. Dies wurde einmal mit einem großen Druckstempel (\varnothing 100 mm) und einem kleinen Druckstempel (\varnothing 30,5 mm) durchgeführt (Abbildung 25 + Abbildung 26).



Abbildung 25: Versuchsaufbau Druckprüfung, Stempel \varnothing 100 mm



Abbildung 26: Versuchsaufbau Druckprüfung, Stempel \varnothing 30,5 mm

Die Prüfung wurde an einer Universalprüfmaschine der Firma Frank mit Spindeltrieb und einer 50 kN Messdose durchgeführt. Hierfür wurden die Proben zwischen zwei Druckstempeln gebracht. Mindestens einer der Stempel sollte sphärisch gelagert sein, um zu verhin-

dem, dass die Belastung nicht parallel aufgebracht wird. Eine Bestimmung des E-Modul wurde nicht durchgeführt, da die Erfassung des Maschinenweges bei derart geringen Verformungen nicht hinreichend genaue Werte ergibt und auf eine externe Aufnahme der Verformung verzichtet wurde.

Von jedem der hergestellten Plattentypen wurden jeweils fünf Proben für die Prüfung mit dem kleinen und dem großen Druckstempel überprüft. Die Probenabmessung wurde beim großen Stempel maximal gewählt. Das heißt, bei der Kreisfläche des Druckstempels mit einem Durchmesser von 100 mm kann eine quadratische Probe mit der Kantenlänge von ca. 70 mm verwendet werden, ohne dass sie über die Fläche des Druckstempels hinaussteht. Würde die Probe überstehen, erfahren die belasteten Bereiche, durch die Übertragung der Querdruckkraft durch die Decklagen, eine Unterstützung der Waben aus dem unbelasteten Bereich.

Die Probe sollte dabei gerade bei größeren Zellweiten so groß wie möglich sein, um Randeffekte durch angeschnittene Zellen zu minimieren (Bitzer 1997).

Geprüft wurde mit einer Geschwindigkeit von 1 mm/min, so dass die Höchstkraft F_{Dmax} nach 90 (± 30) Sekunden erreicht wird.

Die Kraft F_{Dmax} ist die Kraft, bei der die Steigung des Kraft-Längenänderungs-Diagrammes (angezeigt an der Prüfmaschine) erstmalig null ist. Proben bei denen der Anstieg des Spannungs-Dehnungs-Zusammenhangs zwar exponentiell abnimmt ohne dabei aber einen asymptotischen Grenzwert zu erreichen, haben kein eigentliches Versagenskriterium. In diesen Fällen wurde die Druckspannung entsprechend DIN EN 826: 1996 bei 10 % Stauchung ermittelt.

Bei der Prüfung mit kleinem Stempel wurden Proben mit ebenfalls 70 mm Kantenlänge verwendet. Hier wurde bewusst ein Überstehen des Probenkörpers über den oberen Druckstempel gewählt, um eine punktuelle Belastung z.B. durch Fernseherfüße im späteren Möbel zu simulieren. Für die Erfassung von F_{Dmax} galt gleiches wie im Test zuvor, allerdings wird in diesem Fall bei Proben ohne eigentliches Versagenskriterium nicht die Druckspannung bei 10 % Stauchung ermittelt, sondern bei einer maximalen Eindrückung von 1 mm. Dieser Wert ist nicht durch eine DIN festgesetzt, sondern ergibt sich aus dem Versuchsziel, eine maximale Druckspannung zu erhalten, die nicht zu einer optischen Beeinträchtigung der Oberfläche der Platte führt. Eine solche Beeinträchtigung, mit möglicher Beschädigung des Beschichtungsmaterials, wird ab 1 mm Durchsenkung der Plattenoberfläche angenommen.

5.1.3.4 Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Plattenebene

Da es keine entsprechenden Normen für Sandwichplatten auf Basis von Holzwerkstoffen und auch keine für Holzwerkstoffe allgemein gibt, wurde in Anlehnung an DIN 52376:1978 (Prüfung von Sperrholz) geprüft. Es gibt entsprechende Prüfmethode im Bereich der Honeycombs. Diese entsprechen in ihrer grundsätzlichen Methodik, wie auch der angewendeten Prüfkörpergröße dem nachfolgend beschriebenen Verfahren. Eine Ausnahme besteht allerdings; die Proben werden nicht lose zwischen den Druckstempeln angeordnet, sondern an ihren Enden eingespannt, um ein frühzeitiges Ausbrechen der Decklagen zu verhindern (Zenkert 1997).

Die Probe wird mit ihrer Längsachse entsprechend der Achse des Belastungssystems zwischen die Druckplatten der Prüfmaschine gesetzt und bis zum Bruch belastet. Einer der Druckplatten soll dabei in einer Kugelschale gelenkig gelagert sein. Die Druckkraft wird stetig mit einer konstanten Geschwindigkeit erhöht. Die Belastungsgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass der Bruch innerhalb von 90 (± 30) Sekunden eintritt.

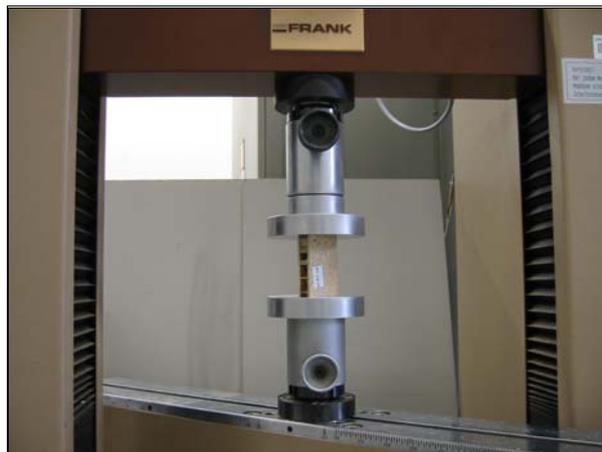


Abbildung 27: Versuchsaufbau Druckprüfung, parallel zur Fläche

Die Druckfestigkeit β_D als der Quotient aus der Höchstdruckkraft F_{\max} und der Querschnittsfläche S der Probe wird für jede Probe in N/mm^2 nach folgender Formel berechnet:

$$\beta_D = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} \quad [N / mm^2]$$

Die Prüfung wurde an einer Universalprüfmaschine der Firma Frank durchgeführt. Es handelt sich um eine spindelbetriebene Prüfmaschine mit einer 50 kN Messdose. Die Prüfgeschwindigkeit wurde auf 1,6 mm/min festgelegt und die Höchstkraft wurde jeweils auf 1N genau über die EDV aufgenommen.

Die Proben sind bis zur Gewichtskonstanz bei Normalklima, 20 (± 1)°C Temperatur und 65 (± 3) % relativer Luftfeuchte klimatisiert worden. Die Prüfung selber fand auch unter Normal-klimaverhältnissen statt.

Die Proben sollen folgende Abmessungen haben:

Dicke a : Dicke der Platte
Breite b : 50 mm
Länge l : 4mal die Nenndicke a

Vor jedem Versuch sind die Probenabmessungen, Breite b und Dicke a in mm zu messen.

Auf eine Bestimmung des Druck-E-Moduls wurde verzichtet, da die Aufnahme des Maschinenweges bei der Prüfung nicht hinreichend genaue Werte über die Stauchung der Probe liefert.

5.1.3.5 Zeitstandfestigkeit

Die Bestimmung der Zeitstandfestigkeit geschieht in Anlehnung an die Norm DIN 68874: 1985 „Möbel-Einlegeböden und Bodenträger“. Hierzu wird ein Möbel-Boden, im Flachbiegeversuch, im Konstantklima mit einer nach verschiedenen Beanspruchungsgruppen definierten Last über 28 Tage belastet.

In Anlehnung an diese Norm, wurde von jedem Typ eine Probe von 1000 x 250 mm verwendet. Diese wurden in einer geeigneten Vorrichtung, ähnlich einem Regal, beidseitig an ihren Stirnseiten aufgelegt. Als Bodenträger wurden Leisten mit einer Auflagefläche von 18 mm aus Eichenholz verwendet, die fest mit den Regalseiten verbunden waren. Die Dimensionierung und die Wahl des Werkstoffes für die Auflageleisten schließen eine Eigendurchbiegung aus. Die Stützweite zwischen den Auflageleisten betrug 964 mm (Abbildung 28).



Abbildung 28: Versuchsaufbau Zeitstandfestigkeit

Zur Bestimmung der Durchbiegung wurde eine Messschiene bestehend aus einem Aluminium Vierkantprofil und einer mittig angebrachten Messuhr (Ablesegenauigkeit 1/100 mm) benutzt (Abbildung 29).

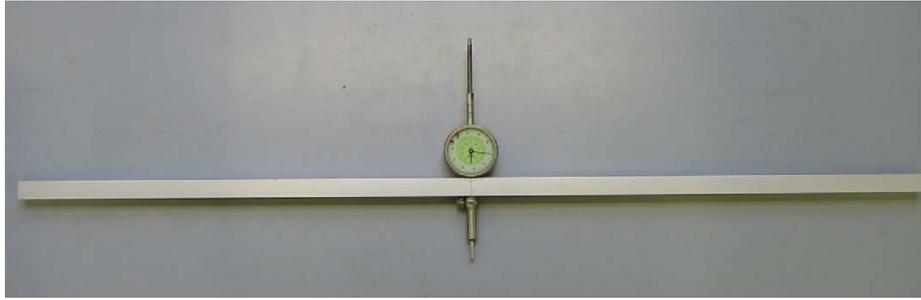


Abbildung 29: Messschiene

Die Messschiene wurde jeweils auf Auflagern, die unterhalb jedes Bodens am Regal im selben Abstand angebracht waren, aufgelegt. Bei der Messung sollte der Wegaufnehmer immer exakt in der Mitte des Bodens, 1 cm vom Rand entfernt abgreifen.

Laut Norm gibt es vier Beanspruchungsgruppen für Möbelböden. In diesem Fall wurde die Beanspruchungsgruppe L50 gewählt, die einer Nutzlast von 50 kg/m^2 entspricht. Geprüft wird bei der gewählten Beanspruchungsgruppe mit einer Prüflast von 100 kg/m^2 .

Die Prüflast wird dabei gleichmäßig auf dem Einlegeboden verteilt. Als Gewichtsstücke dienen in diesem Versuch KS- Mauersteine mit den Abmessungen von $24 \times 11,5 \times 7 \text{ cm}$ und einem Einzelgewicht von ca. $3,6 \text{ kg}$.

Die Prüfungsgewichte werden gleichmäßig so auf dem Prüfkörper verteilt, dass sie mit ihren kürzeren Seiten parallel zu den Längskanten des Einlegebodens angeordnet sind. Es werden jeweils 7 Steine auf einen Einlegeboden aufgelegt, so dass man auf ein Prüfungsgewicht von ca. 25 kg kommt, welches der nötigen Prüflast von 100 kg/m^2 entspricht.

Es konnten drei Böden gleichzeitig geprüft werden; die Prüfungsgewichte ergaben dabei folgende Gesamtgewichte:

- 1: $25,192 \text{ kg}$
- 2: $25,195 \text{ kg}$
- 3: $25,189 \text{ kg}$

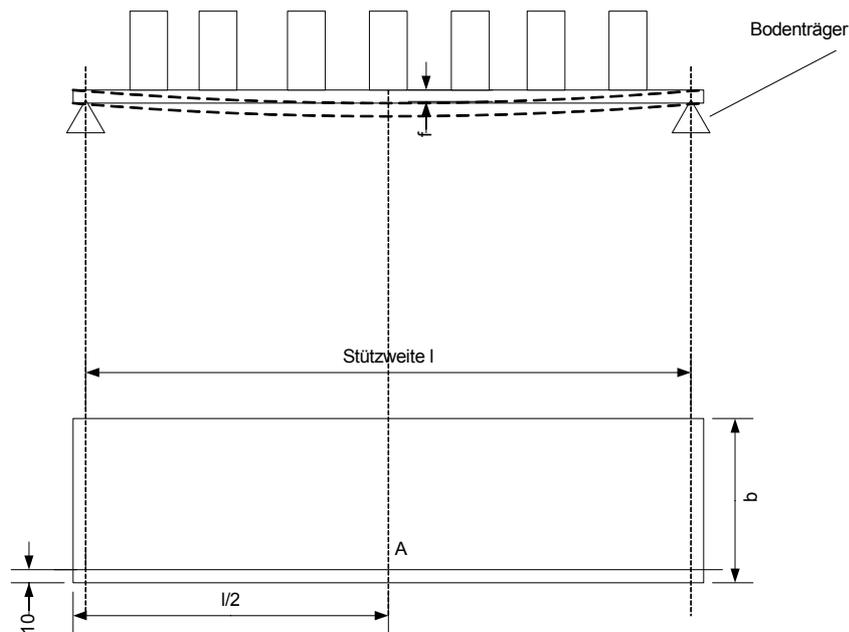


Abbildung 30: Versuchsaufbau Prüfung Zeitstandfestigkeit

Die Durchbiegung f der Platte am Meßpunkt A (Mitte der Platte) ist in der nachstehenden Reihenfolge zu messen:

- a) unmittelbar vor Aufbringen der Last,
- b) 5 Minute nach Aufbringen der Last,
- c) 14 Tage nach Aufbringen der Last,
- d) 28 Tage nach Aufbringen der Last,

die Messergebnisse sind dabei auf 0,1 mm anzugeben.

Die Durchbiegung f wird durch die Stützweite der Platte dividiert. Dieser Quotient wird auf zwei Dezimalstellen errechnet.

Die Anforderung an Möbelböden laut Norm ist dabei, dass die Durchbiegung f nicht größer als $1/100$ der Stützweite nach Beendigung des Tests ist.

Im Hinblick auf das Kriechverhalten¹⁹ des Materials lässt sich noch die Kriechzahl angeben. Diese beschreibt das Verhältnis von zeitabhängiger Durchbiegungszunahme unter Last zur elastischen Anfangsdurchbiegung (DIN ENV 1156: 1999).

¹⁹ laut Holz Lexikon: Kriechen, die trotz gleich bleibender Belastung im Laufe der Belastungszeit erfolgte Zunahme der Verformung.

Die Kriechzahl k_c wird nach folgender Formel für eine bestimmte Belastungsdauer T berechnet:

$$k_c = \frac{(a_t - a_0) - (a_1 - a_0)}{(a_1 - a_0)} = \frac{a_T - a_1}{(a_1 - a_0)}$$

dabei ist:

a_T die Gesamtdurchbiegung zum Zeitpunkt T in mm,

a_1 die Durchbiegung nach 5 Minuten in mm,

a_0 die Durchbiegung des unbelasteten, auf die Versuchsvorrichtung aufgelegten Prüfkörpers in mm,

$a_1 - a_0$ die elastische Anfangsdurchbiegung, 5 Minuten nach Lastaufbringung in mm. Die Kriechzahl ist dimensionslos.

Aufgrund der großen Probengrößen und des damit verbundenen Materialverbrauchs, ließen sich von jedem Plattentyp leider nur eine Probe prüfen.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Biegefestigkeit und Biege-E-Modul

Einfluss der Probenbreite

Im ersten Versuchsteil der Biegeprüfungen wurde untersucht, ob die Probenbreite einen Einfluss auf die Biegefestigkeit und den Biege-E-Modul hat. Für alle fünf Wabentypen wurden hierzu vier unterschiedlichen Probenbreiten 50 mm, 70 mm, 90 mm und 110 mm geprüft. Am Beispiel des Typ I (Typenbeschreibungen siehe Tabelle 2 auf Seite 59) soll graphisch gezeigt werden wie gering die Unterschiede zwischen den verschiedenen Probenbreiten ausfallen.

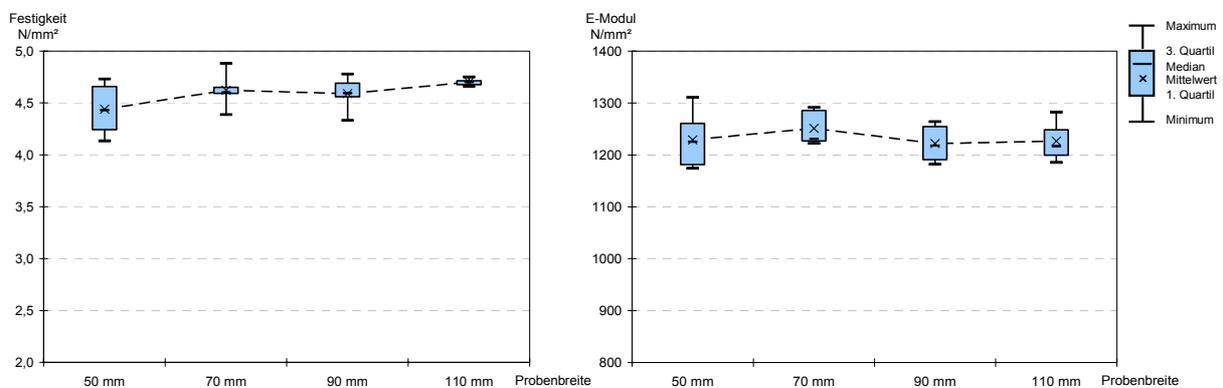


Abbildung 31: Einfluss der Probenbreite auf Biegefestigkeit und E-Modul bei Typ I

Die Abbildung zeigt die Entwicklung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls in Abhängigkeit von der Prüfkörperbreite. Es zeigt sich, dass keine deutlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Probenbreiten zu verzeichnen sind. Dies gilt für alle fünf Plattentypen. Im Anhang sind entsprechende Ergebnisse der übrigen Plattentypen aufgeführt. Die Schwankungen der Mittelwerte liegen für die Biegefestigkeit als auch den E-Modul bei allen Plattentypen im Bereich $< 6 \%$, mit Ausnahme des Typ V mit $10,51 \%$. Ein t-Test bestätigte, dass zwischen den Mittelwerten der Biegefestigkeit und des Biege-E-Modul der verschiedenen Probenbreiten kein signifikanter Unterschied besteht.

Beobachtet man dennoch die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Breiten, ist die Tendenz erkennbar, dass mit größerer Probenbreite sowohl die gemessene Biegefestigkeit, als auch der Biege-E-Modul ansteigen. Gleichzeitig nimmt die Streuung der Messergebnisse um den Mittelwert ab. Die Unterschiede sind jedoch so gering, dass es auf Basis dieser Überprüfung nicht zu rechtfertigen ist, für Wabenplatten eine größere Probenbreite zu wählen, als die in der Norm EN 310: 1993 vorgeschriebenen 50 mm. Betrachtet man die Art der Versagensfälle, so kommt es in den meisten Fällen bei Erreichen der Maximalkraft F_{\max} nicht zu einem klassischen Bruch. Vielmehr löst sich von einer Stelle ausgehend der Wabenkern von den Decklagen, bis er nur noch lose zwischen den Decklagen liegt. Die Prüfung wurde in diesen Fällen nach Erreichen von F_{\max} abgebrochen, ohne auf einen Bruch zu warten. Die Biegelinie ist meist nicht symmetrisch, sondern liegt einseitig rechts oder links vom Biegestempel, je nach Auftreten einer Schwachstelle im Gefüge.

Bei einem derart schubweichen Kernmaterial, wie es das Wabenmaterial ist, treten bei der Biegung erhebliche Schubspannungen auf. Diese führen zu Relativverschiebungen der Decklagen zueinander. Die Verschiebungen in Längsrichtung führen einerseits zu einem Abreißen der Klebeverbindung zwischen Wabenkern und Decklage, andererseits zu einem internen Aufreißen der Papierwaben (Abbildung 32).



Abbildung 32: Internes Aufreißen der Waben bei Biegung

Zu klassischen Brüchen kam es bei den Typen I-III in keinem Fall, beim Typ IV traten Brüche der Decklagen bei den Probengrößen 90 mm und 110 mm auf. In diesen Fällen brach immer

die Decklage auf der Zugseite, also der Unterseite der Biegeprobe. Bei Proben des Typ V kam es ab 50 mm Probenbreite vereinzelt zu Brüchen der Decklagen. Hier kam es wiederum durch die wirkenden Schubkräfte zu einem lokalen Ablösen des Wabenkerns von der Decklage. Dies führte zu einem Einknicken der Biegeprobe an diesen Stellen (Abbildung 33).

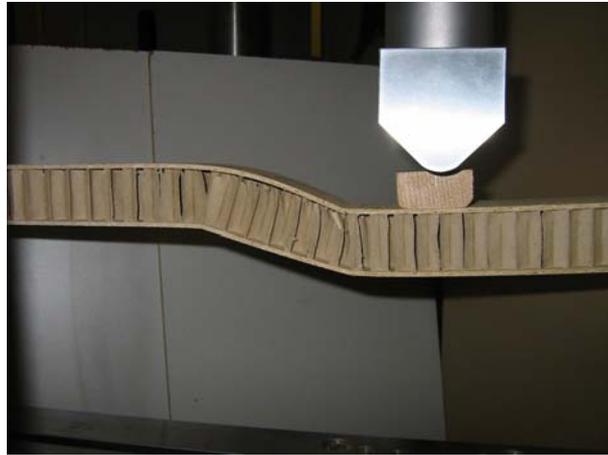


Abbildung 33: Einknicken der Probe bei Biegung

Einfluss der Stützweite

Im zweiten Versuchsteil sollte der Einfluss der Stützweite auf die Biegefestigkeit und den E-Modul überprüft werden. Die Norm EN 310: 1993 geht hier von einer Stützweite von der 20-fachen Nenndicke aus, da ab dieser Länge der Schubeinfluss auf die Biegung zu vernachlässigen ist (Baumann 1922). Da Wabenplatten wesentlich sensibler auf Schubeinflüsse reagieren, sollte überprüft werden, ob bei der Bestimmung der Biegefestigkeit von Wabenplatten eine größere Stützweite gewählt werden muss, um dem größeren Schubeinfluss bei der Biegung Rechnung zu tragen.

Im ersten Versuchsteil wurde jeweils der Norm entsprechend die 20-fache Nenndicke als Stützweite angenommen. In diesem Versuchsteil wurde die Stützweite auf das 23-fache, bzw. 25-fache der Nenndicke vergrößert. Die Probenbreite lag der Norm entsprechend bei 50 mm.

Die Abbildung zeigt wieder exemplarisch für den Plattentyp I (Typenbeschreibungen siehe Tabelle 2 auf Seite 59) den Einfluss einer Vergrößerung der Stützweite auf Biegefestigkeit und E-Modul. Die Ergebnisse für die 20-fache Stützweite stammen aus dem ersten Versuchsteil, entsprechend stammt das Material für die Proben aus einer anderen Platte.

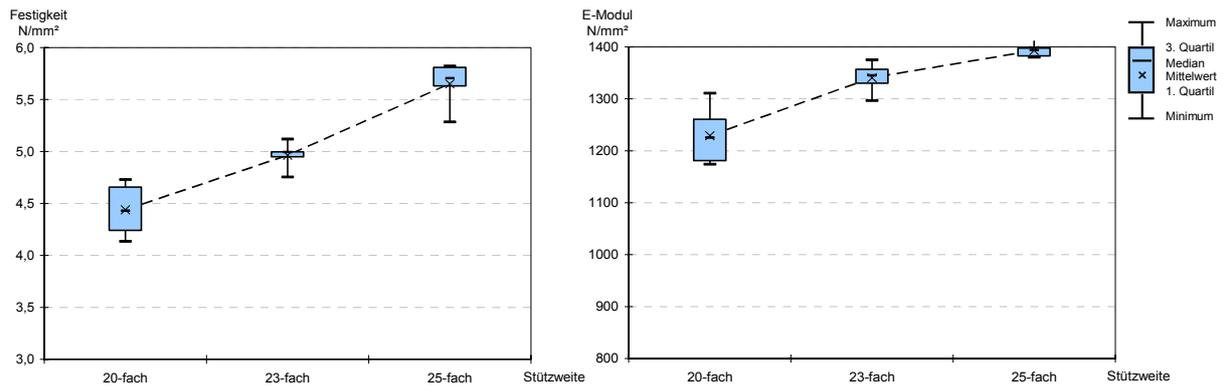


Abbildung 34: Einfluss der Stützweite auf Biegefestigkeit und E-Modul bei Typ I

Die entsprechenden Ergebnisse der anderen Plattentypen liegen als Tabelle im Anhang vor.

Die Abbildung zeigt deutlich, dass mit größerer Stützweite sowohl die Biegefestigkeit als auch der Biege-E-Modul ansteigen. Zwischen der Stützweite mit 20-facher und 25-facher Nenndicke ist bei allen Plattentypen eine Erhöhung der Biegefestigkeit von 15 % bis 27 % und des E-Modul zwischen 10 % und 17 % zu beobachten. Diese Anstiege lassen einen deutlichen Schubeinfluss bei der Biegung von Wabenplatten vermuten. Eine direkte Anwendung der Prüfbedingungen, wie sie die Norm EN 310: 1993 mit einer Stützweite von der 20-fachen Nenndicke vorsieht, ist damit zu hinterfragen. Die Variation der Stützweite führte auch zu anderen Bruchbildern und Versagensfällen. Bei Typ I, III und IV waren ausschließlich starke Schubverformungen der Waben mit anschließendem Abreißen in der Klebeverbindung zwischen Decklage und Wabenkern zu beobachten. Bei Typ V hingegen führte die größere Stützweite dazu, dass die meisten Proben eine klassische Biegelinie aufwiesen und nach geringer Durchbiegung mittig brachen. Der Bruch trat dabei plötzlich und deutlich hörbar auf. Bis zum Bruch waren wesentlich geringere Schubverformungen zu beobachten, als dies bei dünneren Platten der Fall war.

Einfluss der Orientierung des Wabenkerns

Im dritten Versuchsteil wurde die Abhängigkeit der Orientierung des Wabenkerns auf die Biegefestigkeit und den Biege-E-Modul überprüft. Die Wabenmatte allein betrachtet hat in Expansionsrichtung kaum Biegefestigkeit, wohingegen quer zur Expansionsrichtung das Wabenmaterial wesentlich biegefest ist. Inwieweit sich das anisotrope Verhalten der Waben auf die Biegefestigkeit der gesamten Platte niederschlägt, zeigt der Vergleich der Biegeproben mit entsprechender Legerichtung, mit den Biegeproben aus dem ersten Versuchsteil. Die Abbildung zeigt wieder exemplarisch am Plattentyp I (Typenbeschreibungen siehe Tabelle 2 auf Seite 59), dass ein deutlicher Unterschied zwischen Proben mit längs orientiertem Wabenkern und quer orientiertem Wabenkern besteht.

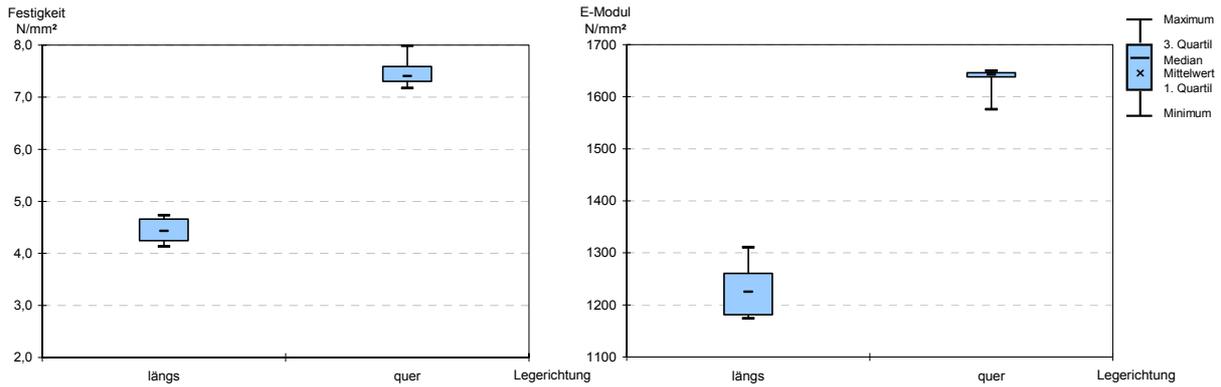


Abbildung 35: Einfluss der Legerichtung auf Biegefestigkeit und E-Modul bei Typ I

Die entsprechenden Ergebnisse der anderen Plattentypen liegen als Tabelle im Anhang vor. Es ergeben sich Steigerungen bei allen Plattentypen bei der Biegefestigkeit von 55 % bis 69 %. Beim E-Modul fallen die Steigerungen geringer aus. Hier liegen sie nur zwischen 25 % und 33 %.

Im dritten Versuchsteil kam es bei allen Plattentypen zu Brüchen der Decklagen. Bei Proben des Typ IV traten zudem noch Quetschungen des Wabenkerns durch die Querkräfte auf (Abbildung 36). Diese Quetschungen traten immer nur auf einer Seite des Biegestempels auf und führten letztendlich auf Höhe des Reiters zwischen Probe und Biegestempel zum Bruch der Platte.



Abbildung 36: Quetschungen des Wabenkerns durch Biegung

Biegefestigkeit und Biege-E-Modul auf Basis der Norm EN 310

Abschließend sollen für alle fünf Plattentypen die Ergebnisse der Biegefestigkeit und des Biege-E-Modul auf Basis der durch die Norm EN 310 vorgeschriebenen Prüfkörpergrößen zusammengestellt werden. Die Legerichtung des Wabenkerns ist jeweils längs zur Expansionsrichtung orientiert. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Einfluss der Zellweite anhand der Plattentypen I-III (Typenbeschreibungen siehe Tabelle 2 auf Seite 59). Es zeigt sich,

dass sich die Biegefestigkeit bei Wabenplatten mit einer Zellweite von 15 mm gegenüber denen mit 25 mm, um ca. 40 % verringert. Der E-Modul sinkt beim Vergleich zwischen diesen Zellweiten nur um ca. 20 %.

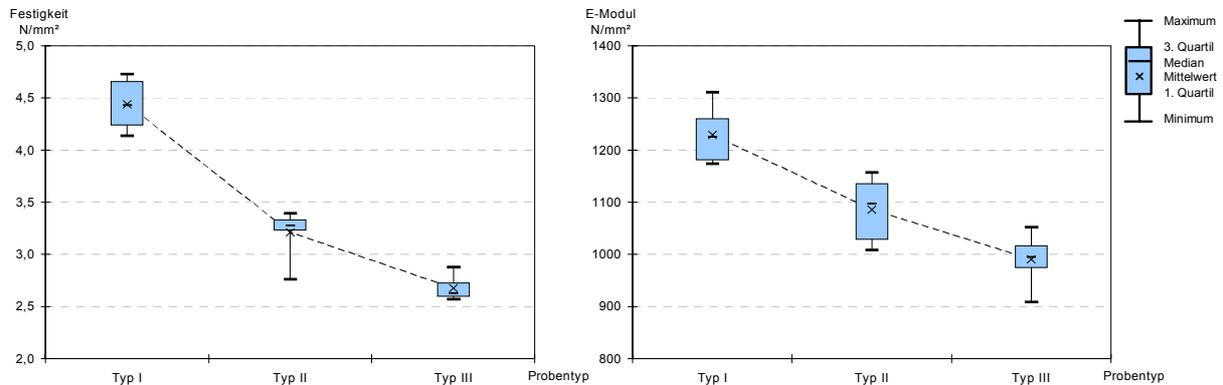


Abbildung 37: Biegefestigkeit und E-Modul in Abhängigkeit der Zellweite. Typ I, 15 mm; Typ II, 21 mm; Typ III, 25 mm.

Der Vergleich zwischen den Plattentypen mit unterschiedlicher Gesamtstärke (Typ I, IV, V) zeigt folgendes Bild.

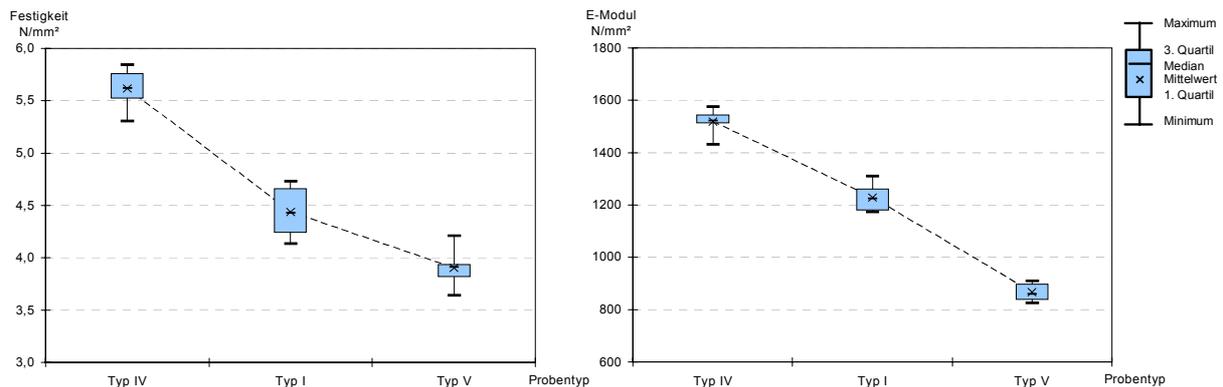


Abbildung 38: Biegefestigkeit und E-Modul in Abhängigkeit der Gesamtstärke. Typ I, 21,4 mm; Typ IV, 15,4 mm; Typ V, 37,4 mm.

Mit steigender Gesamtstärke von 15,4 mm (Typ IV) auf 37,4 mm (Typ V) bei gleich bleibender Decklagendicke verringert sich die Biegefestigkeit um ca. 30 %. Der E-Modul sinkt um ca. 43 %. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass die durchschnittliche absolute Bruchbelastung bei Typ IV bei ca. 140 N lag, wohingegen die Bruchbelastung bei Typ V mit 240 N wesentlich höher war.

Zusammenfassend ergeben sich für die fünf Plattentypen bei der Prüfung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Modul entsprechend der Norm EN 310 folgende Ergebnisse.

Tabelle 3: Biegefestigkeit

| Biegefestigkeit | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|--------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 4,73 | 3,39 | 2,88 | 5,85 | 4,21 |
| MW [N/mm ²] | 4,44 | 3,21 | 2,68 | 5,62 | 3,90 |
| Min [N/mm ²] | 4,13 | 2,76 | 2,57 | 5,31 | 3,64 |
| s | +0,25 | +0,23 | +0,12 | +0,20 | +0,21 |
| V | +5,70% | +7,10% | +4,40% | +3,50% | +5,30% |

Tabelle 4: Biege-E-Modul

| E-Modul | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Max [N/mm ²] | 1310,93 | 1156,60 | 1052,06 | 1576,42 | 910,46 |
| MW [N/mm ²] | 1229,03 | 1085,59 | 990,45 | 1518,74 | 866,78 |
| Min [N/mm ²] | 1174,02 | 1008,71 | 909,02 | 1430,83 | 826,66 |
| s | +55,29 | +64,13 | +48,79 | +49,22 | +36,40 |
| V | +4,50% | +5,90% | +4,90% | +3,20% | +4,20% |

5.2.2 Querzugfestigkeit

Die fünf Plattentypen wurden auf ihre Querzugfestigkeit hin überprüft, gleichzeitig wurde durch Variation der Probengröße untersucht, ob sich diese auf die erzielten Festigkeiten auswirkt. Hierzu wurde außer der von der Norm EN 319: 1993, angewendeten Probengröße mit 50 mm Kantenlänge zusätzlich noch Proben mit 100 mm und 150 mm Kantenlängen geprüft.

Die ermittelten Werte zeigen, dass die Querzugfestigkeit von der Zellgröße der verwendeten Wabe abhängt (Typ I-III). Dabei bedeutet eine kleine Zellgröße entsprechend mehr Kontaktfläche für die Verklebung und führt damit zu größeren Festigkeiten. Der Einfluss der Zellweite wird anhand der drei Plattentypen I-III in der folgenden Abbildung verdeutlicht (Typenbeschreibungen siehe Tabelle 2 auf Seite 59).

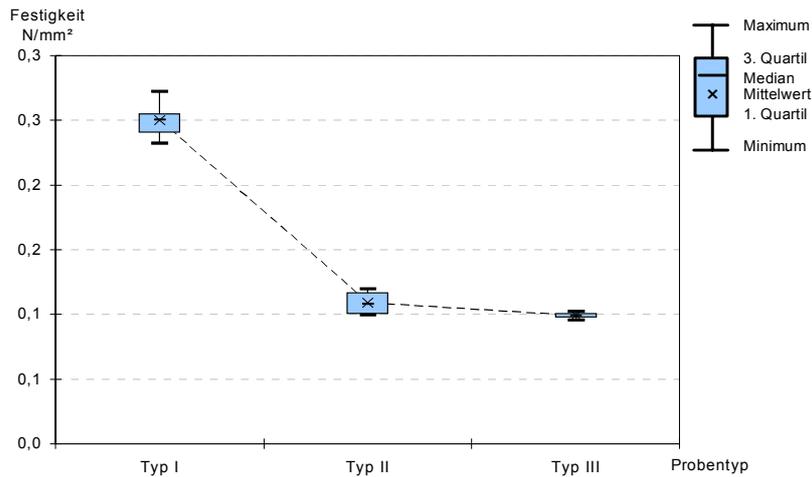


Abbildung 39: Einfluss der Zellweite auf die Querzugfestigkeit. Typ I, 15 mm; Typ II, 21 mm; Typ III, 25 mm.

Es ist davon auszugehen, dass die Höhe der Wabe (Typ I, IV, V) keinen Einfluss auf die ermittelten Querzugfestigkeiten hat. Es besteht aber ein erheblicher Unterschied zwischen den Werten des Typ V und den Typen I und IV trotz gleicher Zellweite. Dieser lässt sich mit einem zu geringen Expansionsgrad der Waben bei Typ V begründen. Anhand der zerrissenen Proben konnte das direkt beobachtet werden.

Tabelle 5: Querzugfestigkeit

| Querzug [N/mm ²] | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 50er | 0,2068 | 0,0893 | 0,0804 | 0,2737 | 0,3585 |
| s / V | 0,01 6,86% | 0,009 9,95% | 0,006 7,54% | 0,050 18,22% | 0,078 21,68% |
| 100er | 0,2501 | 0,1088 | 0,0992 | 0,2208 | 0,2422 |
| s / V | 0,014 5,66% | 0,009 8,46% | 0,002 2,35% | 0,036 16,33% | 0,037 15,34% |
| 150er | 0,1737 | 0,0968 | 0,0933 | 0,1323 | 0,1061 |
| s / V | 0,012 6,86% | 0,008 8,58% | 0,008 8,05% | 0,016 11,87% | 0,006 5,65% |

Ein Anstieg der Querzugfestigkeit mit steigender Probengröße konnte nur bei Typ I bis III beobachtet werden, allerdings fiel sie bei Proben mit 150 mm Kantenlänge wieder ab. Bei Typ IV und V wurden die höchsten Ergebnisse bei der Probengröße mit 50 mm Kantenlänge gemessen. Insgesamt ist es bei der Querzugprüfung zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen gekommen, was sich nicht zuletzt auch in hohen Variationskoeffizienten niederschlägt.

Die Versagensfälle sind alle mit einem Bruch der Klebeverbindung zwischen Decklage und Wabenkern verbunden. Teilweise tritt dieser lediglich an einer Decklage auf, teilweise aber auch an beiden, wobei hier der Wabenkern innerlich an manchen Stellen zerreißt. Bei Proben mit besonders hohen Bruchkräften ließ sich immer die Ausbildung von Kehl Nähten beobachten. Zum Teil gab es sogar vereinzelt ein Ausbrechen der obersten Decklagenschichten (Abbildung 40).

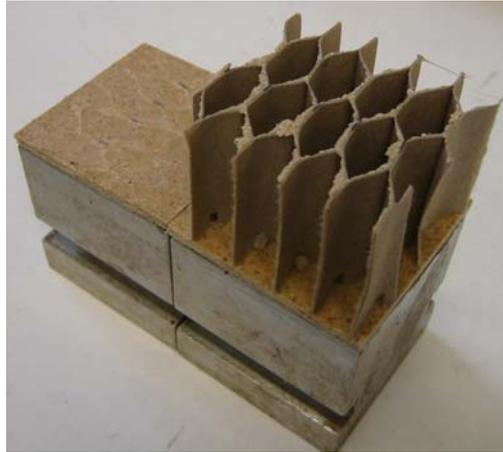


Abbildung 40: Zu geringer Expandierungsgrad bei Typ V

Diese Testmethode sagt alleinig etwas über die Qualität der Klebeverbindung zwischen Wabenkern und den Decklagen aus. Der Fall, dass die Waben oder gar die Decklagen zerreißen, ist bei den Versuchen nicht einmal vorgekommen.

5.2.3 Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene

Bei der Prüfung der Druckfestigkeit mit dem großen Druckstempel (\varnothing 100 mm), ergaben sich charakteristische Maximaldruckkräfte. Anhand der Ergebnisse lässt sich sehr gut der Einfluss der Zellweite auf die Druckfestigkeit ablesen. Typ I bis III unterscheiden sich nur in ihrer Zellweite. Es zeigt sich dabei, dass mit zunehmender Zellgröße die Druckfestigkeit absinkt. Bei Typ I mit 15 mm Zellgröße liegt die Druckfestigkeit bei 0,27 N/mm², bei Typ III mit 25 mm Zellweite nur noch bei 0,10 N/mm². Dies ist ein Rückgang der Festigkeit von über 60 % zwischen zwei Zelltypen, die beide in der Möbelindustrie zum Einsatz kommen. Zum Vergleich werden beim Furnieren Pressdrücke von 0,6 bis 1,2 N/mm² verwendet (Albin et al. 1991).

Tabelle 6: Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene, Stempel \varnothing 100 mm

| Druckfestigkeit | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|--------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 0,286 | 0,165 | 0,127 | 0,289 | 0,364 |
| MW [N/mm ²] | 0,2690 | 0,1366 | 0,1024 | 0,2659 | 0,3374 |
| Min [N/mm ²] | 0,250 | 0,112 | 0,082 | 0,230 | 0,280 |
| s | +0,02 | +0,02 | +0,02 | +0,02 | +0,03 |
| V | +6,74% | +12,91% | +16,46% | +8,90% | +9,81% |

Interessant ist, dass Typ IV und V, obwohl sie hinsichtlich der Zellgröße identisch mit Typ I sind, diesen in der Druckfestigkeit übertreffen. Hierfür sind entweder unterschiedliche Expandierungsgrade verantwortlich oder es besteht ein geringer Einfluss der Wabenhöhe auf die Druckfestigkeit des Wabenkerns (Jenkinson 1967).

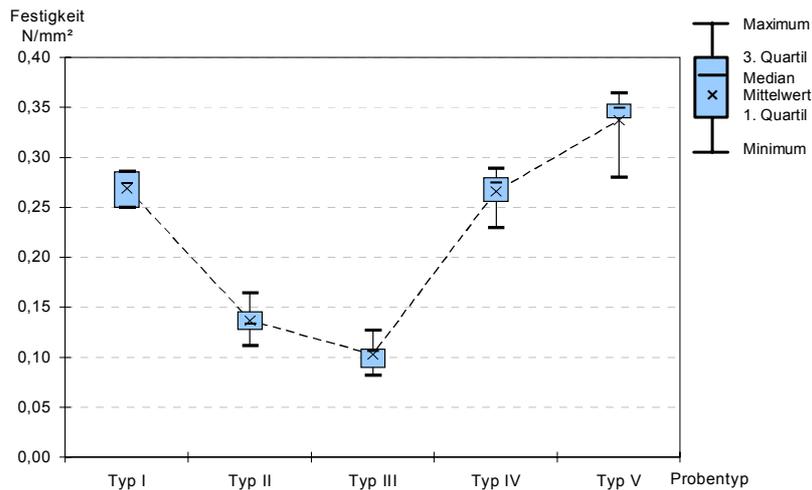


Abbildung 41: Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene, Stempel Ø 100 mm

Alle Typen bleiben deutlich unter der vom Hersteller der Papierwaben angegebenen Druckfestigkeit²⁰. Es werden dabei höchstens 75 % der angegebenen Festigkeitswerte erreicht. Laut Literatur sind bei Prüfung der Druckfestigkeit mit aufgeklebten Decklagen höhere Werte zu erwarten, als bei einer separaten Prüfung des Wabenkerns erzielt werden (Bitzer 1997). Dass dies in diesem Fall nicht zutrifft, unterstreicht den starken Einfluss der Papierfeuchte auf die Wabenfestigkeit (siehe 2.4.2).

Werden Proben mit gleichen Abmessungen mit einem kleinen Druckstempel (Ø 30,5 mm) belastet, um kleinflächige Punktlasten zu simulieren, ergeben sich weitaus höhere Druckspannungen. Da bei manchen Proben keine Maximaldruckkraft bis 1 mm Durchsenkung erreicht wurde und damit kein eindeutiges Versagenskriterium besteht, wurde in diesen Fällen die Druckkraft bei 1 mm Stauchung angenommen.

Tabelle 7: Druckfestigkeit senkrecht zur Platte, Druckstempel Ø 30,5 mm

| Druckspannung | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|--------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 0,863 | 0,627 | 0,550 | 0,994 | 1,123 |
| MW [N/mm ²] | 0,8252 | 0,610 | 0,5176 | 0,9186 | 1,0593 |
| Min [N/mm ²] | 0,796 | 0,589 | 0,473 | 0,884 | 0,967 |
| s | +0,02 | +0,02 | +0,04 | +0,05 | +0,07 |
| V | +3,03% | +2,59% | +6,90% | +4,97% | +6,64% |

Die auf diese Weise geprüften Proben liegen mehr als 200 % über denen, die mit einem großen Druckstempel geprüft wurden. Die Steigerung ergibt sich daraus, dass die Waben im nicht belasteten Bereich Unterstützung bieten und die Biegesteifigkeit der Decklage einen Widerstand gegen das punktuelle Eindringen darstellt. Die Verhältnisse zwischen den Wa-

²⁰ Die Herstellerangaben beziehen sich auf 3% Papierfeuchte

bentypen bleiben dabei entsprechend denen, die bei der Prüfung mit großem Stempel erzielt wurden (Abbildung 42).

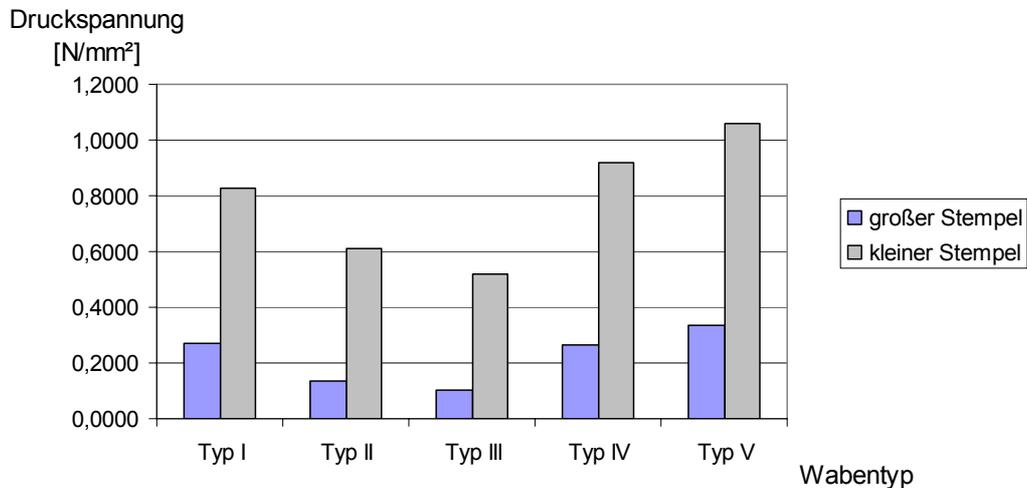


Abbildung 42: Vergleich der Druckfestigkeit, senkrecht zur Oberfläche mit großem und kleinem Stempel.

Werden diese Proben direkt nach der Belastung in ihrer Stärke vermessen, so zeigt sich, dass der Eindruck des Stempels bis auf 0,5 % bis 1 % wieder zurück geht, also die Rückstellkraft der Papierwabe dafür sorgt, dass durch die Belastung kaum irreversible Schäden entstehen.

5.2.4 Druckfestigkeit parallel zur Plattenoberfläche

Bei der Druckprüfung parallel zur Plattenoberfläche soll untersucht werden, wie sich ein Sandwichverbund bei dieser Belastung verhält. Der Wabenkern bietet in dieser Belastungsrichtung für sich genommen keine Festigkeit. Die Aufgabe der Waben besteht darin, die Decklagen, die die Spannungen aufnehmen, zu stabilisieren und zu verhindern, dass sie sich nach außen ausbeulen bzw. knicken.

Tabelle 8: Druckfestigkeit, parallel zur Oberfläche

| Druckfestigkeit | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 6,32 | 6,16 | 6,1 | 8,37 | 3,86 |
| MW [N/mm ²] | 6,12 | 5,91 | 5,95 | 8,02 | 3,77 |
| Min [N/mm ²] | 5,94 | 5,44 | 5,75 | 7,61 | 3,64 |
| s | + - 0,14 | + - 0,29 | + - 0,13 | + - 0,31 | + - 0,10 |
| V | + - 2,3% | + - 4,9% | + - 2,3% | + - 3,8% | + - 2,5% |

Zwischen den Typen I bis III besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit parallel zur Oberfläche. Die Unterschiede der Druckfestigkeiten resultieren meistens aus herstellungsbedingten Variationen der Plattendicke.

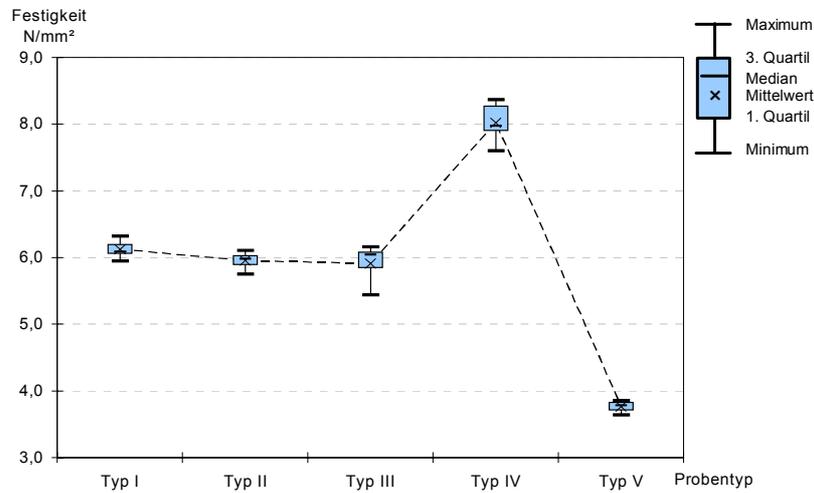


Abbildung 43: Druckfestigkeit, parallel zur Oberfläche

Die Ergebnisse zeigen, dass die Zellweite (Typ I bis III) auf die Druckfestigkeit, wenn überhaupt, nur einen geringen Einfluss hat, wohingegen sich die Dicke des Wabenkerns (Typ IV und V) bzw. der Abstand zwischen den Deckschichten deutlich auf die Festigkeit auswirkt. Je dicker der Wabenkern, desto größer der Gesamtquerschnitt. Aus dieser Zunahme ergibt sich eine größere Resistenz gegen Ausknicken, Ausbeulen oder Schubbrüche.

Tabelle 9: Gemessene Höchstkräfte bei Druck, parallel zur Oberfläche

| Höchstkraft F_{\max} | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Max [N/mm ²] | 6606,5 | 6563,5 | 6619,5 | 6297 | 7179,5 |
| MW [N/mm ²] | 6394,8 | 6235 | 6452,5 | 5988,2 | 7011,13 |
| Min [N/mm ²] | 6203 | 5699,5 | 6210 | 5628 | 6790,5 |
| s | + - 156,52 | + - 334,86 | + - 162,02 | + - 268,72 | + - 172,93 |
| V | + - 2,4% | + - 5,4% | + - 2,5% | + - 4,5% | + - 2,5% |

Dabei verhalten sich die gemessene Höchstkraft F_{\max} und die aus ihr resultierende Druckfestigkeit gegensätzlich: Obwohl F_{\max} mit zunehmender Stärke der Probe anwächst, nimmt die Druckfestigkeit (d.h. F_{\max} bezogen auf die Querschnittsfläche) ab. Somit ergibt sich für den Typ IV trotz der geringsten Höchstkräfte die größte Druckfestigkeit.

Die Proben zeigten entweder ein lokales Versagen der Decklagen, indem es auf einer Decklagenseite zu einem Stauchungsbruch innerhalb der Spanplatte kam. In anderen Fällen kam es zu einem parallelen Ausknicken beider Decklagen in eine Richtung. Meistens löste sich dann eine Decklage von der Wabenkernschicht und sprang ab. Das Ausknicken verlief um-

so spontaner, je größer die Wabenzellgröße war. Bei einigen der Proben vom Typ II verlief das Ausknicken derart heftig, dass die Proben seitlich aus der Apparatur flogen. Ein Ausbeulen vor dem eigentlichen Versagen der Proben wurde in diesen Fällen nicht beobachtet.

5.2.5 Zeitstandfestigkeit

In Anlehnung an die DIN 68874: 1985 wurden die fünf Plattentypen auf ihre Zeitstandfestigkeit geprüft. Die Norm fordert dabei von Möbelböden, dass sie sich nach 28 Tage nur um $\frac{1}{100}$ ihrer Stützweite durchbiegen. Bei einer Belastung von 100 kg/m^2 , entsprechend der Beanspruchungsgruppe L 50, ergab sich folgendes Bild.

Tabelle 10: Zeitstandfestigkeit

| | I | II | III | IV | V | Span 22 | MDF 23 mm |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|---------|-----------|
| Durchbiegung 5 Minuten [mm] | 9,98 | 11,12 | 10,97 | 20,72 | 2,92 | 4,16 | 3,21 |
| Durchbiegung 14 Tage [mm] | 16,23 | 17,46 | 18,09 | 27,15 | 3,93 | 4,62 | 4,07 |
| Durchbiegung 28 Tage [mm] | 17,52 | 18,49 | 19,77 | 28,69 | 3,89 | 4,86 | 4,35 |
| Kriechzahl | 0,82 | 0,74 | 0,88 | 0,45 | 0,37 | 0,17 | 0,36 |

Lediglich Typ V, die Wabenplatte mit einer Gesamtstärke von 37,4 mm, konnte die von der Norm festgelegte maximale Durchbiegung unterschreiten, die in diesem Versuchsaufbau 9,64 mm betrug. Für die übrigen vier Typen war die Belastung zu groß, ihre Durchbiegungen nach 28 Tagen lagen weit über dem geforderten Maß. Zu erkennen ist aber, wie schon bei der Prüfung der Biegefestigkeit, dass mit zunehmender Zellweite (Typ I-III) die Biegesteifigkeit der Platte abnimmt. Typ IV war mit seiner geringen Gesamtstärke von 15,4 mm durch die Belastung überfordert.

Anhand der Kriechzahl lässt sich das Kriechverhalten der Platten einschätzen. Je höher die Kriechzahl, desto stärker ist die zeitabhängige Durchbiegung im Verhältnis zur elastischen Anfangsdurchbiegung. Leider lässt sich bei nur einer Probe pro Plattentyp keine gesicherte Aussage treffen, zumal die Kriechzahlen der unterschiedlichen Typen keinen Trend erkennen lassen. Die Kriechzahlen der Typen I bis III liegen wesentlich über denen der Typen IV und V. Wertet man das Ergebnis von Typ I als Ausreißer, könnte man vermuten, dass das Kriechverhalten mit zunehmender Zellgröße zunimmt.

Zum Vergleich wurde jeweils eine Spanplatte mit 22 mm Stärke und eine MDF-Platte mit 23 mm Stärke geprüft. Beide Platten liegen deutlich unter der maximal zulässigen Durchbiegung. Die Kriechzahl der MDF-Platte ist höher als die der Spanplatte, was den Aussagen aus der Literatur entspricht, dass die Kriechverformung mit abnehmender Größe der Strukturelemente der Platte zunimmt (Niemz 1993). Verglichen mit der Kriechzahl der MDF-Platte von 0,36 liegt die Wabenplatte des Typ V mit 0,37 nicht so weit davon entfernt. Dies lässt vermuten, dass bei optimaler Beanspruchung das Kriechverhalten nicht sonderlich über dem von MDF-Platten liegt.

5.3 Diskussion der eigenen Untersuchungen

Herstellung

Trotz der Tatsache, dass für die Überprüfung einzelner Eigenschaften die Proben möglichst immer nur aus einer Platte entstammen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Unterschiede zwischen den Platten und innerhalb der Platten eines Typs Einfluss auf die Ergebnisse hatten.

Die Unterschiede lassen sich dabei auf drei Hauptursachen zurückführen:

1. Unterschiedliche Ist-Stärken der Platten untereinander und innerhalb einer Platte.
2. Unterschiedliche Expansionsgrade der Wabenmatte.
3. Unterschiedlich hoher Klebstoffauftrag.

Diese drei Faktoren haben einerseits unmittelbar Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften, andererseits bedingen sie sich gegenseitig und führen wiederum zu Eigenschaftsveränderungen. Als Beispiel: Wird eine Platte beim Pressvorgang zu stark komprimiert, das heißt, dass ihre Ist-Stärke unter der Soll-Stärke liegt, dann äußert sich dies durch gestauchte Papierstege. Diese wiederum bieten eine größere Kontaktfläche für die Verklebung und führen damit zu höheren Querkzugwerten.

Die geringe Maßhaltigkeit, bezogen auf die Stärke der Platte, dürfte unter industriellen Produktionsmaßstäben und auch im Hinblick auf den Verwender nicht akzeptabel sein. Bei zukünftigen Prüfungen mit vorangehender Herstellung der Platten, muss sicher gestellt sein, dass die Platten geringere Dickentoleranzen aufweisen und untereinander vergleichbare Gesamtstärken hergestellt werden können. Hierzu ist eine exakt arbeitende Presse notwendig, die bei niedrigen Drücken garantiert, dass sich die Pressbleche planparallel gegeneinander bewegen und die sich isochor steuern lässt. Außerdem sind Erfahrungen im Hinblick auf das Kompressionsverhalten der Papierwaben zwingend von Nöten. Vergleichbar ist diese Situation mit der Problematik, die jeder Hersteller von Wabenplatten mit internem Rahmen hat. Hier bedarf es zahlreicher Versuche, um letztendlich die richtige Wabenhöhe zu finden, die unter den gewählten Prozessbedingungen zu einer optimal verleimten Wabenplatte führt.

Ungleichmäßig expandierte Waben sind unter Versuchsbedingungen nur schwer zu verhindern. Auch ein großzügiger Verschnitt rund um die hergestellten Platten, kann nicht garantieren, dass die Wabenzellen überall die gleiche Zellgröße haben. Allein der Herstellungsprozess der Waben führt zu Schwankungen im Expansionsverhalten, die nur schwer ausgeglichen werden können. Auch von industriell hergestellten Wabenplatten mit umlaufenden Rahmen sind ungleichmäßig verteilte Wabenkerne bekannt. Hier ist der Einfluss auf die Platteeigenschaften durch die Rahmen jedoch geringer. Im Versuch traten besonders bei Waben des Typs V große Schwierigkeiten auf, die Wabenmatte auf den gewünschten Expansionsgrad zu bringen. Die Stärke der Wabe in Verbindung mit der geringen Zellweite, verleihen der Wabenmatte eine hohe Rückstellkraft, die ein Auseinanderziehen bis zur gewünschten Zellgröße erschwert.

Probleme durch einen ungleichmäßigen Leimauftrag ließen sich durch die Benutzung maschineller Leimauftragsmethoden sicherlich am ehesten lösen, allerdings wurde auch bei dem Handauftrag durch eine exakte Einhaltung der Leimmengen pro Decklage versucht, die Unregelmäßigkeiten so gering wie möglich zu halten.

Prüfmethodik

Rahmenlose Wabenplatten konkurrieren nicht nur mit herkömmlichen Holzwerkstoffen, sondern lassen sich bei Verwendung von Decklagen aus Holzwerkstoffen dieser Gruppe direkt zuordnen. Dabei ist es aber fraglich, ob auch die Prüfmethoden, die die Normen für Holzwerkstoffe vorsehen, auch für Wabenplatten geeignet sind. Zur Bestimmung der üblichen elastomechanischen Eigenschaften wurden Normen aus dem Bereich der Holzwerkstoffe, der Möbelprüfung und der Wärmedämmstoffe angewendet. Dies entspricht auch der Methodik des Instituts für Holztechnologie Dresden, die in ihrer Broschüre über Leichtbauwerkstoffe für den Möbelbau verschiedenste Materialien nach diesem Schema geprüft haben (Hänel und Weinert 2004).

Sowohl im Fall der Biegeprüfung, als auch der Querkzugfestigkeit wurde untersucht, ob die Anwendung der von der Norm vorgeschriebenen Probengrößen, auf Wabenplatten sinnvoll ist. Im Vorfeld fiel bereits auf, dass in mehreren Firmenschriften bei der Prüfung des Querkzugverhaltens von Wabenplatten unterschiedlich große Prüfkörper verwendet wurden. Aus dem Bereich der Biegeprüfung von Strangpressplatten weiß man, dass sich die Prüfkörperbreite anhand der Größe der Hohlräume in der Platte berechnet. Wabenkerne mit unterschiedlich großen Zellweiten lassen ebenfalls einen Einfluss der Prüfkörperbreite auf die Biegefestigkeit vermuten. Die Überprüfung vier verschiedener Probenbreiten erbrachte dabei aber nicht, dass sich die resultierenden Festigkeiten signifikant unterscheiden. Sowohl bei verschiedenen Zellweiten als auch bei verschiedenen Gesamtstärken lagen die Mittelwerte der einzelnen Probenbreiten relativ dicht bei denen der Probenbreite, die von der Norm EN 310: 1993 vorgeschrieben wird. Lediglich die Tatsache, dass sich die Streuung der Ergebnisse mit zunehmender Probengröße verringert, deutet daraufhin, dass sich etwaige Gefügefehler oder Randeffekte, die in der Probe unvermeidbar sind, um so weniger auswirken, je größer die Probenbreite gewählt wird.

Außer verschiedener Probenbreiten wurde bei der Biegeprüfung auch die Stützweite variiert. Zu der von der Norm festgelegten Stützweite mit der 20-fachen Nenndicke wurden noch zwei größere geprüft; eine Stützweite mit 23-facher und eine mit 25-facher Nenndicke. Anlass dazu ist die vielfach in der Literatur beschriebene Empfindlichkeit von Sandwichplatten gegenüber Schubinflüssen (Stamm und Witte 1974). Der Papierwabenkern gilt dabei als relativ schubweich. Bei der Prüfung von Holzwerkstoffen auf ihre Biegefestigkeit kann der Schubeffluss vernachlässigt werden, da man davon ausgeht, dass sich bei einer genügend großen Stützweite die Schubspannungen nur noch geringfügig auf das Biegeverhalten der Probe auswirken (Baumann 1922).

Schon bei der Prüfung mit normaler Stützweite zeigte sich an den Schadensbildern, dass die Papierwaben zum Teil stark in sich verschoben sind oder aufgrund der großen Schubbean-

spruchung ausbeulen. Bevor es aber zu einem Bruch in der Kernschicht kommt, versagte meist die Klebeverbindung zwischen der Wabenmatte und den Decklagen infolge des Überschreitens der Schubfestigkeit dieser Klebenähte. Die Vergrößerung der Stützweite führte dazu, dass einerseits die erreichten Biegefestigkeiten und die Biege-E-Module anstiegen, andererseits die Schadensbilder erkennen ließen, dass der Schubeinfluss geringer wurde. Es kam häufiger zu einem Versagen der Decklagen und die Papierwaben scherten weniger oft von den Decklagen ab. Damit bestätigt sich die Vermutung, dass bei der Biegung von Wabenplatten der Schubeinfluss nicht vernachlässigt werden darf. Die Methodik der EN 310: 1993 mit einer Drei-Punkt-Biegung und einer Stützweite von der 20-fachen Nenndicke sollte nicht ohne weiteres auf Wabenplatten angewendet werden. Eine größere Stützweite oder eine vierschnittige Belastung wären sinnvolle Anpassungen an die Prüfung von Wabenplatten. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit zu anderen Holzwerkstoffen ist aber eine größere Stützweite vorzuziehen.

Für die Prüfung der Querkzugfestigkeit wurden drei verschiedene Probengrößen verwendet. Prinzipiell ist die theoretische Gesamtfläche der Wabenstege im Verhältnis zur Probenfläche immer identisch. Deshalb sind eigentlich keine unterschiedlichen Ergebnisse zu erwarten gewesen. Jedoch spielt bei kleinen Proben die Art und Weise, wie die Zellen im Randbereich angeschnitten sind eine größere Rolle, als bei großen Proben. Je größer die Probe, desto stärker treten diese Randeffekte im Verhältnis zur Gesamtfläche zurück. Dies erklärte, dass Prüfkörper mit einer Kantenlänge von 100 mm gegenüber denen mit 50 mm, wie sie in Norm EN 319: 1993 festgelegt sind, geringfügig höhere Werte brachten. Allerdings führte eine weitere Vergrößerung auf eine Kantenlänge von 150 mm zu einem Absinken der Festigkeit. Dies war so nicht zu erwarten, da bei Querkzugprüfungen in der Industrie Proben mit Kantenlängen von 150 mm oder sogar 200 mm angewendet werden. Die Ursache lag wahrscheinlich in einer nicht vollflächigen Verleimung der Joche mit den Proben. Hierbei ist wichtig, dass ein Klebstoff verwendet wird, der Toleranzen in der Klebefuge gut überbrücken kann, da beim Verkleben nur ein geringer Druck angewendet werden darf. Ideal wäre ein schäumendes Klebstoffsystem. Ist eine vollflächige Verklebung nicht gewährleistet, kommt es zu wenig aussagekräftigen Ergebnissen, da die so gemessene Querkzugfestigkeit nicht auf die gesamte Probengröße bezogen ist, sondern nur auf die verklebten Teile der Probe. Zudem besteht bei großen Proben leicht die Gefahr, dass die Zugkraft nicht absolut rechtwinklig zur Probenoberfläche wirkt. Ist dies nicht der Fall, kommt es zu Spannungsspitzen und übertrieben dargestellt, zu einem Abschälen der Decklagen.

Eine Probengröße mit 100 mm Kantenlänge scheint ausreichend zu sein, um die unterschiedlich ausgeprägten Randeffekte durch die verschiedenen großen Zellgrößen zu berücksichtigen und führt nicht im verstärkten Maße zu den beschriebenen Problemen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die angewendeten Prüfmethoden geeignet für die Anwendung auf Wabenplatten sind. Anpassungen im Bereich der Prüfkörpergröße bzw. der Stützweite werden dem inhomogenen Material Wabenplatte gerecht und Verfälschungen bezüglich der Vergleichbarkeit zu anderen Holzwerkstoffen sind nicht zu erwarten.

Einfluss der Zellweite

Der Einfluss der Zellweite auf die elastomechanischen Eigenschaften ist der, dass bei kleinen Zellweiten bessere Festigkeitseigenschaften erzielt werden. In industriell hergestellten Wabenplatten mit internem Rahmen werden meist Waben mit Zellweiten von 21 mm - 30 mm verwendet. In diesem Versuch wurden zwei Zellweiten aus diesem Bereich gewählt (21mm, 25mm) und eine deutlich kleinere mit 15 mm, um im Hinblick auf die Herstellung von rahmenlosen Wabenplatten die Verbesserung der Eigenschaften durch eine kleinere Zelle zu beobachten.

Die Biegefestigkeit und der E-Modul aber vor allem die Eigenschaften, die direkt und unmittelbar von der Wabenmittellage abhängen, nämlich die Querkzugfestigkeit und die Druckfestigkeit senkrecht zur Oberfläche, sind bei einer kleineren Zellweite deutlich besser. Die Druckfestigkeit parallel zur Oberfläche leidet unter einer großen Zellweite am wenigsten. Dies unterstreicht die Tatsache, dass großzellige Waben eher für vertikal angeordnete Möbelteile verwendet werden und Waben mit kleinen Zellweiten in waagrecht angeordneten Möbelteilen zum Einsatz kommen. Ob ein Wabenkern mit Zellgrößen von 15 mm schon ausreichende Festigkeiten bietet, um in rahmenlosen Wabenplatten eingesetzt zu werden, kann hier nicht beantwortet werden. Dies hängt sicherlich auch von der Stärke der Wabenplatte und ihrem Einsatzzweck ab. Am Markt lässt sich aber beobachten, dass die wenigen rahmenlosen Wabenplatten die angeboten werden, allesamt mit einer Wellstegeinlage ausgerüstet sind, dessen Sinuswaben Zellweiten von ca. 5 mm haben. Zum Vergleich haben die Papier-Honigwabensysteme, die als Endloswaben am Markt verkauft werden, eine minimale Zellweite von 10 mm.

Einfluss der Gesamtstärke

Der Einfluss der Gesamtstärke auf die Eigenschaften einer Wabenplatte, bei gleich bleibenden Decklagenstärken, tritt vor allem bei der Biegung zu Tage. Die Gesamtstärke hat auf die Biegefestigkeit einen größeren Einfluss als die Zellweite. Dabei fällt auf, dass ein deutliches Missverhältnis zwischen den errechneten Festigkeitswerten und den absoluten Belastungswerten besteht. Deutlich wird dies bei dem Vergleich der Biegefestigkeit zwischen den Proben des Typ IV mit 15,4 mm Gesamtstärke und dem Typ V mit 37,5 mm Gesamtstärke. Während Typ V wesentlich größere absolute Belastungen standhält als Typ IV, ergeben sich aber durch die Art der Berechnung der Biegefestigkeit, die auf den Querschnitt bezogen wird, für Typ IV die deutlich höheren Festigkeitswerte. Dies zeigt, dass die Biegefestigkeit einer Wabenplatte nur streng in Relation zu ihrer Querschnittsfläche beurteilt werden darf. Je dicker eine Wabenplatte wird, desto mehr Last kann sie aufnehmen und dies obwohl der Anteil an festigkeitsgebenden Schichten, nämlich den beiden Decklagen immer gleich bleibt. Würde man nur die Querschnittsfläche dieser beiden Schichten zur Berechnung der Biegefestigkeit zugrunde legen, würden sich extrem gute Werte für eine Wabenplatte ergeben. Dies ist aus Sicht der statischen Berechnung aber nicht zulässig und würde die Vergleichbarkeit zu anderen Werkstoffen erschweren. Eine Methode diesen beschriebenen Effekt auf die Festigkeitswerte zu übertragen, ist indem man diese in Relation zum Gewicht bzw. zur

Materialeinsparung setzt. In einem solchen Fall steigt die Biegefestigkeit einer Wabenplatte mit zunehmender Gesamtdicke an.

Beim Vergleich der Schadensbilder der unterschiedlich dicken Wabenplatten wird deutlich, dass bei den dünnen Plattenstärken 15,4 mm und 21,4 mm der Schaden immer durch ein Abscheren in der Klebefuge zwischen Decklage und Wabenkern eintritt. Die Klebefuge ist damit das schwächste Glied dieses Verbundes. Bei den dicken Platten mit 37,4 mm treten häufiger Brüche der unteren Decklagen auf (besonders bei großen Stützweiten). Dies zeigt, dass die Zugfestigkeit der Decklagen bei dieser Gesamtstärke der Wabenplatte zum schwächsten Glied werden kann. Somit scheint dieser Plattentyp ideale Proportionen zwischen Decklagendicke und Wabenkernhöhe zu haben, wohingegen die dünneren Platten zu stark proportionierte Decklagen haben. Eine Verringerung der Stärke würde wahrscheinlich zu ähnlich guten Biegefestigkeiten führen als sie dies mit den dicken Decklagen aufweisen. Der Nachweis hierfür wäre aber noch zu erbringen indem eine Testreihe mit Wabenplatten gleicher Gesamtdicke und unterschiedlichen Decklagendicken durchgeführt würde.

Zusammenfassung der Eigenschaftsprüfung

Abschließend sollen von allen untersuchten Plattentypen I–V die Ergebnisse der verschiedenen Prüfungen tabellarisch dargestellt werden, um sie mit handelsüblichen Konkurrenzprodukten zu vergleichen. Dabei können die Werte der Versuchsplatten natürlich nur orientierenden Charakter haben, die Werte für die Kapa-Platte und die MDF-Dämmplatte sind Messergebnisse des IHD (Hänel und Weinert 2004), die Kennwerte der übrigen Konkurrenzprodukte sind soweit verfügbar Firmenprospekten entnommen.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Eigenschaftsprüfungen, Typ I-V

| Material | | | | | |
|---|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Typ | Wabenplatte Typ I | Wabenplatte Typ II | Wabenplatte Typ III | Wabenplatte Typ IV | Wabenplatte Typ V |
| Dicke | 21,4 mm | 21,4 mm | 21,4 mm | 15,4 mm | 37,4 mm |
| Waben Zellweite/ Höhe | 15/16 mm | 21/16 mm | 25/16 mm | 15/10 mm | 15/32 mm |
| Decklage | Span 2,7 mm | Span 2,7 mm | Span 2,7 mm | Span 2,7 mm | Span 2,7 mm |
| Rohdichte | 246 kg/m ³ | 241 kg/m ³ | 234 kg/m ³ | 330 kg/m ³ | 150 kg/m ³ |
| Elastomechanische Eigenschaften | | | | | |
| Biegefestigkeit nach EN 310 [N/mm ²] | längs/quer 4,44 / 7,49 | 3,21 / 4,99 | 2,68 / 4,16 | 5,62 / 10,53 | 3,9 / - |
| E-Modul nach EN 310 [N/mm ²] | längs/quer 1229 / 1630 | 1086 / 1422 | 990 / 1238 | 1519 / 2023 | 866,78 / - |
| Kriechzahl nach DIN 68874 | 0,82 | 0,74 | 0,88 | 0,45 | 0,37 |
| Druckfestigkeit, senkrecht in Anlehnung an EN 826 [N/mm ²] | 0,27 | 0,14 | 0,1 | 0,26 | 0,34 |
| Druckfestigkeit, parallel in Anlehnung an DIN 52376 [N/mm ²] | 6,12 | 5,91 | 5,95 | 8,02 | 3,77 |
| Querzugfestigkeit nach EN 319 [N/mm ²] | 0,21 | 0,09 | 0,08 | 0,27 | 0,36 |

Tabelle 12: Eigenschaften von anderen Leichtbaumaterialien

| Material | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Typ | Kapa-Platte | MDF-Dämmplatte | Moralt Tischlerplatte Lightwood Balsa | "Hanf"-Platte | Rohspan-Platte | Roh-MDF-Platte |
| Dicke | 26 mm | 30 mm | 19 mm | 19 mm | 25 mm | 25 mm |
| Waben Zellweite/ Höhe | PUR-Hartschaum | - | Balsa Mittellage | - | - | - |
| Decklage | HDF 3 mm | - | MDF | - | - | - |
| Rohdichte | 350 kg/m ³ | 350 kg/m ³ | 321 kg/m ³ | 340 kg/m ³ | 630 kg/m ³ | 730 kg/m ³ |
| Elastomechanische Eigenschaften | | | | | | |
| Biegefestigkeit nach EN 310 [N/mm ²] | längs/quer 10,4 | 7,12 | 18 | 3 | 11,5 | 18 |
| E-Modul nach EN 310 [N/mm ²] | längs/quer 1070 | 928 | 2100 | 700 | 1500 | 2100 |
| Kriechzahl nach DIN 68874 | 1,3 | 1,8 | - | - | - | - |
| Druckfestigkeit, senkrecht in Anlehnung an EN 826 [N/mm ²] | 0,52 | 3,83 | - | - | - | - |
| Druckfestigkeit, parallel in Anlehnung an DIN 52376 [N/mm ²] | 4,59 | - | - | - | - | - |
| Querzugfestigkeit nach EN 319 [N/mm ²] | 0,49 | 0,2 | - | 0,12 | 0,3 | 0,55 |

Als direkte Konkurrenzprodukte im Bereich des Leichtbaus für Möbel gelten momentan die Sandwichplatten mit Schaumkern, die leichten MDF-Platten mit verminderter Rohdichte und Platten aus Hanf oder Stroh. Leichte Tischlerplatten haben zwar hervorragende Eigenschaften, sind aber aufgrund ihres hohen Preises nicht wirklich mit den übrigen Materialien zu vergleichen und damit Spezialanwendungen vorbehalten.

Das Hauptargument im Leichtbau ist das Gewicht. Vergleicht man hier die Werte der rahmenlosen Wabenplatten mit den übrigen Leichtbau- Werkstoffen so zeigt sich, dass sie zu den leichtesten Werkstoffen gehören, die derzeit für den Möbelbau angeboten werden. Der große Gewichtsvorteil stellt sich aber erst mit dickeren Stärken wie z.B. der 37,4 mm dicken Platte mit 150 kg/m³ ein. Zwar wird die Rohdichte der Kapa-Platte und der Moralt-Lightwood-Balsa Tischlerplatte bei einer vergleichbaren Stärke auch niedriger liegen aber die geringen Gewichte einer Wabenplatte erreichen diese Materialien nicht.

Die größte Gewichtsersparnis bringt aber wenig, wenn die elastomechanischen Eigenschaften der Platte nicht stimmen. Geht man idealerweise bei den Wabenplatten von einer Biegebelastung quer zur Expansionsrichtung der Waben aus, erreichen die selbst hergestellten Wabenplatten vergleichbare Ergebnisse bzw. übertreffen die Konkurrenten. Dabei ist aber zu betonen, dass diese Platte mit einem wesentlich höheren Klebstoffauftrag hergestellt wurden als dies in der Industrie üblich ist. Ob sich daraus bessere Ergebnisse ableiten lassen ist zweifelhaft, wenn man die schon erwähnten Problematiken aus der Herstellung berücksichtigt. Aufschluss über die Vergleichbarkeit der hergestellten Platten bieten dabei Ergebnisse

der FH Rosenheim (Michanickl 2004), die Wabenplatten ähnlichen Typs hergestellt und geprüft haben.

Ein Vergleich der Querkzugfestigkeiten von Platten mit 21 mm Wabenzellgröße ergibt für die hier hergestellten Platten $0,09 \text{ N/mm}^2$ und für die „Rosenheimer“ Platten $0,07 \text{ N/mm}^2$. Der Unterschied lässt sich eventuell auf den hohen Klebstoffauftrag zurückführen, ist aber so gering, dass die Vergleichbarkeit der hier hergestellten Platten nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden braucht.

In Bezug auf die Druckfestigkeit senkrecht zur Plattenebene muss bei rahmenlosen Wabenplatten eine möglichst kleine Zellgröße eingesetzt werden, da nur diese genügend Druckfestigkeit bietet, um nachfolgende Beschichtungsvorgänge wie z.B. Furnieren zu ermöglichen.

Bei biegebeanspruchten Wabenplatten ist darauf zu achten, dass die Belastung so auf das Bauteil wirkt, dass der Wabekern, bezogen auf seine Expansionsrichtung quer zur Belastungsachse ausgerichtet ist. Dieses anisotrope Verhalten ist nicht nur bei Wabenplatten mit Honigwabensystemen vorhanden, sondern auch bei Wellstegeinlagen. Die Biegefestigkeiten sind immer nur quer zur Expansionsrichtung in einem konkurrenzfähigen Bereich. Ein Randabschluss, in Form einer festen Kante, wird zusätzlich die Biegesteifigkeit und die Biegefestigkeit erhöhen, da durch diesen die Relativverschiebung der Decklagen gehemmt wird und damit ein geringerer Schubeinfluss auf die Biegung wirkt.

Vergleicht man die Wabenplatten mit den bisher üblichen Werkstoffen in der Möbelindustrie, der Span- und MDF-Platte, sind die Ergebnisse noch nicht zufriedenstellend. Entweder muss hier in Zukunft über die Zellweite des Wabekerns eine Verbesserung erreicht werden oder von Seiten der Möbelindustrie bedarf es einer Anpassung in der Konstruktion von Möbeln, die andere Anforderungen an den Werkstoff stellt.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Wenn über Wabenplatten in der Möbelindustrie diskutiert wird, wird das Thema oft sehr pauschal betrachtet. Hinter dem Begriff Wabenplatte für den Möbelbau steht ein Werkstoff, der verschiedenste Ausprägungen haben kann. Dies führt zu unterschiedlichen Eigenschaften, Kosten und Auswirkungen auf die Weiterverarbeitung solcher Platten.

Der Hauptunterschied innerhalb der Wabenplatten liegt in ihrer Konstruktionsweise. Es gibt die Fixmaßplatten mit umlaufenden internen Rahmen, die auf eine Endloswabe als Kernmaterial zurückgreifen. Außerdem gibt es Wabenplatten ohne internen Rahmen, die derzeit eine Wellstegeinlage als Kernmaterial verwenden. Diese beiden Wabenplattentypen sind am Markt bereits etabliert und haben ihre festen Einsatzgebiete.

Die Wabenplatten mit internem Rahmen werden hauptsächlich für Mitnahmemöbel produziert. Es werden dort Stückzahlen von bis zu 20000 Teilen pro Tag realisiert (Soine 2003). Die Reduzierung des Gewichtes über eine Materialeinsparung führt bei diesen Platten ab einer bestimmten Mindestplattenstärke, direkt zu einem Preisvorteil gegenüber den herkömmlichen Holzwerkstoffen. Hohe Auslastungen der Produktionsanlagen und eine geringe Variation der Teile sichern den ökonomischen Vorteil. Der Äquivalenzpunkt gegenüber dem Preis einer Spanplatte liegt im Bereich zwischen 22 – 25 mm. Der interne Rahmen gibt den Platten genügend Festigkeit und ermöglicht eine herkömmliche Weiterverarbeitung zum Möbel.

Die rahmenlosen Wabenplatten am Markt werden in der Regel von kleineren bis mittleren Zulieferbetrieben hergestellt, die diesen Plattentyp mit in ihr Produktionsprogramm aufgenommen haben. Es handelt sich dabei im Gegensatz zu den Fixmaßwabenplatten um ein Nischenprodukt, das in kleineren Möbelserien, Projekt bezogenen Spezialanfertigungen und im Messebau Anwendung findet. Das Wabenmaterial wird plattenförmig vom Hersteller bezogen und kann auf einfachen Beschichtungsanlagen zum Sandwich weiterverarbeitet werden. Die engmaschigen Waben bieten hohe Festigkeiten und ermöglichen sogar eine nahezu problemlose Kantenbeschichtung. Als problematischer erweist sich die Beschlagsbefestigung. Traditionelle Befestigungen, über Schraub- oder Spreizmechanismen sind nur bei dickeren Decklagen (>4 mm) möglich. Spezielle Kunststoffdübel oder Blindnietmuttern werden als Lösung angeboten. Die Materialersparnis führt auch hier zu einer Reduzierung des Gewichtes gegenüber einem massiven Holzwerkstoff. Anders als bei den Fixmaßwabenplatten ist diese Form der Wabenplatte in den meisten Fällen deutlich teurer als herkömmliche Spanplatten. Damit bleibt der Einsatz dieser Platte dem Großteil des Möbelmarktes verschlossen.

Diese Formen der Wabenplatte bilden den derzeitigen Stand der Technik. Beide Plattentypen haben ihre eigenen Märkte und stehen außerhalb jeglicher Diskussion. In den letzten Jahren hat das Thema Leichtbau in der Möbelindustrie neue Impulse erfahren. Obwohl mittlerweile eine steigende Anzahl leichter Plattenwerkstoffe zu Verfügung steht, traten gerade

die Wabenplatten in den letzten Jahren überdurchschnittlich häufig in der Fachpresse in Erscheinung. Im Zuge der Vorstellung neuer Anlagen zur rationalisierten Fertigung von Fixmaß-Wabenplatten erschienen zahlreiche Artikel in der Presse, die auch auf die Vorteile durch den Einsatz von Wabenplatten im Allgemeinen eingingen. Da einige Firmen die Entwicklung der Wabenplatten noch nicht als abgeschlossen ansehen, gibt es Bestrebungen, Platten anzubieten, die die Vorteile beider Wabenplattensysteme miteinander verbinden sollen. Es werden dabei folgende Ziele formuliert die eine solche Platte erfüllen sollte:

- Die Platte sollte in Großformaten rahmenlos hergestellt werden, um den Kunden individuelles und verschnittoptimiertes Auftrennen in Einzelformate zu ermöglichen.
- Die Platte muss genügend Festigkeiten bieten, um gewöhnlichen Belastungen im Einsatz von Möbeln standzuhalten.
- Die Platte muss hinsichtlich ihres Preises, konkurrenzfähig zur Spanplatte bleiben.

Gleichzeitig bedarf es einer Anpassung der Beschlags und Verbindungstechnik und der Kantenbearbeitung. Lösungen hierfür wurden in Abschnitt 2.5 dargelegt. Erst mit dem Erreichen aller Ziele wird es möglich sein einen solchen Wabenplattentyp großflächig in der Möbelindustrie einzusetzen. Die entscheidenden Impulse zur Durchsetzung eines solchen Produktes verlieren sich derzeit aber in einem Wirkungsgefüge. Dies besteht auf der einen Seite aus den Anlagenherstellern zur Herstellung und zur Kantenbearbeitung dieser Platten, den Anbietern der Beschlags- und Befestigungstechnik und den möglichen Produzenten dieser Platte, auf der anderen Seite aus den Möbelproduzenten als Verarbeiter solcher Platten. Derzeit stehen noch zu viele offene Fragen im Raum. Dadurch bleibt die nötige Entwicklungsarbeit auf ein Minimum beschränkt, risikobehaftete Investitionen sollen so gering wie möglich gehalten werden. Stattdessen weist man gegenseitig auf noch bestehende Entwicklungsdefizite hin. Es fehlt eine gemeinsame Strategie nach der alle beteiligten Firmen handeln. Hierzu bedarf es einer fundierten Einschätzung des Marktes für solche Platten. Die Möbelproduzenten müssen abschätzen unter welchen Bedingungen der Einsatz von rahmenlosen Wabenplatten beim Endkunden durchsetzbar ist. Es müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- Bei welchen Möbeln sollen rahmenlose Wabenplatten eingesetzt werden?
- Welche Möbelteile lassen sich am ehesten ersetzen?
- Inwieweit wünschen Kunden überhaupt leichtere Werkstoffe?
- Akzeptieren Kunden auch einen eventuellen Mehrpreis für ein geringeres Gewicht?
- Wie groß sind die Einsparungen durch geringere Transport- und Verpackungskosten?
- Welche Festigkeiten müssen erreicht werden um Wabenplatten einzusetzen?

Erst dann ist es möglich einen Anforderungskatalog an die zukünftige rahmenlose Wabenplatte zu stellen. Anhand dieser Zielgrößen können die beteiligten Firmen einschätzen, ob

mit ihren Lösungsansätzen die Durchsetzung einer derartigen Wabenplatte möglich ist oder nicht. Im Gegenzug muss den Möbelproduzenten aufgezeigt werden, mit welchen Auswirkungen bei einer Umstellung auf rahmenlose Wabenplatten zu rechnen ist:

- Welche Investitionen sind in eine veränderte Maschinenteknik zur Weiterverarbeitung notwendig?
- Welche Mehrausgaben ergeben sich durch aufwendigere Beschläge?
- In welchem Bereich wird der Preis für ein solches Material liegen?
- Lassen die Festigkeiten der Wabenplatten herkömmliche Möbelkonstruktionen zu?

Die bisher veröffentlichten Vorschläge entsprechen in ihrer Gesamtheit sicher noch nicht den Voraussetzungen der Möbelindustrie und man kann nicht davon ausgehen, dass ein Umstieg auf Wabenplatten unmittelbar bevorsteht. Nach eigener Einschätzung auf Basis dieser Arbeit kann eine mögliche großformatige rahmenlose Wabenplatte nur aus den derzeit günstigsten Materialien aufgebaut sein, um mit dem Preis von Spanplatten zu konkurrieren. Das bedeutet, es sollte ein Kernmaterial aus Papier-Endloswaben verwendet werden. Weiterhin sollte den Decklagen als Hauptkostenfaktor größte Beachtung gewidmet werden. Eventuell ergeben sich hier Einsparpotentiale, die noch nicht absehbar sind. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass durch jeden durch Wabenplatten eingesparten Quadratmeter Spanplatte, ein doppelter Bedarf an dünnem Decklagenmaterial entsteht.

Aus den Erfahrungen der Festigkeitsuntersuchungen muss grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die Festigkeiten herkömmlicher Holzwerkstoffe nicht erreicht werden können. Eine möglichst geringe Zellweite der Waben und die Beachtung der Orientierung des Wabenkerns bedingen aber Festigkeitswerte, die für die meisten Möbelanwendungen ausreichend erscheinen. In Kombination mit eingefräßten Stützkanten (Abschnitt 2.5.2) als Kantenabschluss werden noch größere Festigkeiten erwartet, die sich nicht mehr entscheidend von denen einer Spanplatte unterscheiden dürften.

Im Bereich der Kantenbeschichtung erscheinen die Vorschläge zur Einbringung einer Stützkante als ein durchaus praktikables Modell.

Die Beschlagshersteller dagegen traten zu Beginn des Themas wesentlich innovativer auf. Hier wurden spezielle Beschlagsformen entwickelt oder Verfahren vorgestellt, die das Einbringen von sich mit den Decklagen verschweißenden Inserts ermöglichen. Diese anfänglich eingeschlagenen Wege wurden bisher aber nicht weiter verfolgt. Momentan beschränkt man sich auf spezielle Schrauben, die Decklagen von mindestens 4 mm Stärke benötigen oder den Einsatz von Spreizdübelssystemen. In diesem Bereich erscheint noch der größte Bedarf an Weiterentwicklung zu bestehen.

Es ist davon auszugehen, dass auch in absehbarer Zukunft keine umfassenden Lösungen für die aufgezeigten Problemfelder bestehen. Dies sollte aber kein Grund sein vollends auf rahmenlose Wabenplatten zu verzichten. Es sollte überlegt werden, ob nicht durch eine angepasste Möbelkonstruktion und ein verändertes Design zumindest erstmal in Teilbereichen rahmenlose Wabenplatten eingesetzt werden können. Denkbar sind hier die statisch gering

belastete Möbeltüren, Verkleidungselemente und Sockelleisten. Kombinationen mit einem Aluminiumrahmen, der zur Aufnahme der Beschläge und als versteifendes Element wirkt, würden dem aktuellen Trend der Möbelindustrie entsprechen. Eine solche schrittweise Einführung von rahmenlosen Wabenplatten würde allen Beteiligten die Gelegenheit bieten Erfahrungen mit diesem Material zu sammeln, und aus der Praxis heraus Lösungen für die bestehenden Probleme zu entwickeln.

Wahrscheinlich bedarf es aber noch einer längeren Beobachtung des Marktes, um endgültig sicher zu sein, inwieweit sich der Bedarf an solchen Platten entwickeln wird. Entscheidend wird sein, ob sich der Trend bei Möbeln zu großen Materialstärken und einer damit verbundenen wertigen Optik weiterhin fortsetzt. Gerade diese großen Materialstärken machen einen Einsatz von leichten Werkstoffen notwendig. Die diesjährige Möbelmesse in Köln konnte diesen Trend weiterhin bestätigen.

Es wird sich zeigen, ob der Kunde ein geringeres Gewicht akzeptiert, oder ob er damit eine minderwertige Qualität verbindet. In Zukunft werden die Kunden sicherlich auch über die Produkte anderer Branchen immer mehr an den Leichtbau gewöhnt, und damit werden sie schwere Möbel nicht mehr akzeptieren wollen. Ein geringes Gewicht wird dann als Qualitätsmerkmal empfunden. Hier sind die Marketingabteilungen der Möbelhersteller und des Handels gefragt, um entsprechende Bedürfnisse beim Kunden zu generieren.

Liebhaber von Massivholzmöbeln lassen sich sicherlich auch in Zukunft nicht mit einer Wabenplatte befriedigen. Der Großteil der Möbelkunden ist aber an einen Materialmix gewöhnt und bei realistischer Betrachtung ist bereits heute in vielen Möbeln das Holz nur noch ein rudimentäres Element. Im Gegenteil es könnte die Zeit kommen, in der, der Vorteil der Wabenplatte einer weitestgehenden Ressourcenschonung an Holz und Energie, an erster Stelle einer Kaufentscheidung steht.

Aus diesen Gründen kann man davon ausgehen, dass sich der Anteil an Leichtbaumaterialien in der Möbelindustrie in Zukunft vergrößern wird. Gesellschaftliche Rahmenbedingungen und ein Zusammenwachsen globaler Märkte deuten auf die Notwendigkeit von Leichtbaumaterialien hin. Wabenplatten bleiben nur eine der Spielarten möglicher Leichtbaumaterialien und müssen streng differenziert betrachtet werden. Die Platten mit internem Rahmen bleiben sicherlich auf die Mitnahmemöbelhersteller beschränkt, die aber einen Großteil des Möbelmarktes ausmachen. Der Durchsetzung der rahmenlosen Wabenplatten mangelt es noch an notwendigen Lösungsansätzen und dem Vertrauen in die Zukunftsfähigkeit dieses Produktes. Aber im Hinblick der bereits jetzt schon steigenden Preise für Holzwerkstoffe und den weiter anwachsenden Transportkosten, könnte der Druck zur Umstellung auf Wabenplatten in Zukunft weiter zunehmen. Eine weitestgehende Substituierung der Spanplatte durch Wabenplatten, erscheint aber nicht realistisch und bleibt im Moment eine Vision der Anlagenhersteller bzw. Produzenten von Wabenplattenkomponenten.

7 Zusammenfassung

Lange wurde in der Möbelindustrie der Einsatz der herkömmlichen Span- und MDF-Platten nicht hinterfragt. Der relativ niedrige Preis, ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten, und eine leichte Bearbeitung sind Vorteile die diese Holzwerkstoffe zum Standardprodukt des Möbelbaus gemacht haben.

In den letzten Jahren gerät aber das Thema Leichtbau zunehmend in den Fokus der Möbelindustrie. Ein branchenübergreifender Trend zu Leichtbauprodukten, wird nicht vor der Möbelindustrie halt machen. Der Möbelkunde wird mobiler und wird „Leichtigkeit“ als Qualitätsmerkmal erkennen. Zudem verlangt das aktuelle Möbeldesign große Materialstärken, die sich nur mit leichten Plattenwerkstoffen verwirklichen lassen, ohne dass Möbel unhandlich schwer werden. Eine Reduzierung des Gewichtes hätte dabei positiven Einfluss auf Transport und Verpackungskosten.

Es gibt mittlerweile eine große Anzahl an leichten Plattenwerkstoffen auf dem Markt. Diese reichen von leichten MDF-Platten, Platten aus Einjahrespflanzen über Sandwichplatten mit Schaumkern bis hin zu leichten Tischlerplatten. Ihr Einsatz richtet sich nach den Qualitäts- und Preisvorstellungen der Kunden. Für einen Einsatz in der Möbelindustrie werden derzeit aber Wabenplatten favorisiert. Im Bereich der Mitnahmemöbel sind diese Platten bereits etabliert, und werden schon seit über zwanzig Jahren mit steigender Tendenz eingesetzt.

Das Funktionsprinzip der Wabenplatten basiert auf einer dreischichtigen Verbundkonstruktion mit tragenden Decklagen und einem spezifisch leichten Stützmaterial. Dies führt zu enormen Material- und Gewichtseinsparungen gegenüber einer Spanplatte. Als Decklagenmaterial bieten sich alle dünnen Holzwerkstoffe an; aus Kostengründen werden allerdings hauptsächlich Dünnsan- und HDF-Platten eingesetzt. Den Kern bildet in aller Regel ein Wabenmaterial aus Recycling-Papier. Hier wird in zwei unterschiedliche Wabentypen unterschieden, den Endlos-Honigwaben und der Wellstegeinlagen. Sie unterscheiden sich in ihren Zellweiten und haben dadurch unterschiedliche Festigkeitseigenschaften und Preise.

Wabenplatten lassen sich nach ihrer Konstruktionsweise unterteilen, es gibt rahmenlose Wabenplatten und Platten mit einem umlaufenden internen Rahmenfries. Während die rahmenlosen bisher nur Nischenmärkte bedienen, werden Wabenplatten mit Rahmen in großen Stückzahlen in Mitnahmemöbeln eingesetzt. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren von Seiten des Maschinenbaus, neue Anlagenkonzepte vorgestellt, die eine weitestgehend rationalisierte Fertigung zulassen. Der Herstellungsablauf ist an die Fertigung von Zimmertüren mit Papierwaben-Einlage angelehnt. Die bisher manuell durchgeführten Schritte der Rahmenbildung, dem Einbringen des Wabenmaterials und das Zusammenlegen zum Sandwich können jetzt automatisiert durchgeführt werden. Dies führt zu einer Leistungssteigerung bei geringem Personalbedarf.

Wabenplatten können sich hinsichtlich ihrer Kosten stark unterscheiden. Die Materialkosten sind dabei der größte Kostenfaktor. Die Auswahl aus den verschiedenen zur Verfügung stehenden Materialien, bestimmt dabei die Höhe der Materialkosten. Derzeit bildet die Kombination aus Dünnschanplatten als Decklagen in Verbindung mit Endlos-Honigwaben und einem UF-Harz als Klebstoff die günstigste Variante. Charakteristisch für Wabenplatten ist die Entwicklung der Kosten bei steigender Gesamtstärke. Während die Kosten für Decklagen, Klebstoff, Personal und Maschine konstant bleiben, steigen lediglich die Kosten für das Kernmaterial. Dies führt dazu, dass Wabenplatten auf ihr Volumen bezogen mit steigender Gesamtstärke immer günstiger werden. Im Vergleich zu Spanplatten lohnt der Einsatz erst ab einer bestimmten Stärke, andernfalls wirken sich gerade die Kosten für die Decklagen übermäßig auf den Herstellungspreis aus. Der Äquivalenzpunkt, ab dem sich Wabenplatten gegenüber Spanplatten lohnen, ist bei Verwendung der günstigsten Materialvarianten im Bereich von 22 - 25 mm realistisch einzuordnen.

Derzeit bestehen Überlegungen, in Zukunft großformatige rahmenlose Wabenplatten herzustellen, die durch die Verwendung von Endlos-Honigwaben zu konkurrenzfähigen Preisen angeboten werden könnten. Der Entwicklung stehen bisher Hindernisse im Weg, die sich durch die inhomogene Struktur des Kerns ergeben. Die Beschichtung der Schmalflächen und die Befestigung von Beschlägen gelten als besonders problematisch. Allerdings können mittlerweile einige Konzepte und Lösungsansätze vorgestellt werden, die zur Lösung der Probleme beitragen könnten und eine Basis für zukünftige Weiterentwicklungen bilden. Entscheidend aus Sicht der Möbelindustrie ist, dass dafür keine grundlegenden Umstellungen der Produktionsabläufe notwendig sind.

Die Festigkeiten solcher Platten könnten sich ebenfalls als problematisch erweisen. Zwar gelten Wabenplatten als sehr biegesteif und druckfest, allerdings bezieht sich dies immer auf die Verwendung wesentlich höherwertiger Materialien. Es bestehen keine Normen und Anforderungsprofile an Wabenplatten für den Möbelbau. In Ermangelung von Mindestanforderungen an die Festigkeiten, die sich aus der Möbelkonstruktion ergeben, bleibt nur der Vergleich zu den herkömmlichen Möbelwerkstoffen.

Da nur wenig über qualitative Eigenschaften von rahmenlosen Wabenplatten bekannt ist und in Veröffentlichungen dazu nicht ausreichend Stellung genommen wird, wurden dazu Versuche an selbst hergestellten Platten durchgeführt. Ziel war es, orientierende Festigkeitswerte zu erlangen und eine Überprüfung der Anwendbarkeit der für Holzwerkstoffe geltenden Prüfmethode. Dazu wurden rahmenlose Wabenplatten mit Dünnschanplatten als Decklagenmaterial und Endlos-Honigwaben als Kernmaterial hergestellt. Es wurden Waben mit unterschiedlichen Zellgrößen und Stärken verwendet.

Die durchgeführten Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Prüfmethode von Holzwerkstoffen auf Wabenplatten grundsätzlich anwendbar sind. Geringfügige Modifikationen ergeben sich aus der besonderen Struktur des Kernmaterials. Bei der Prüfung der Biegefestigkeit führt das schubweiche Kernmaterial zu einer erheblichen Schubverformung des Materials. Dieser sollte in der Prüfmethode berücksichtigt werden. Bei Prüfung der Querkraft-

tigkeit könnte eine größere Probenfläche hinsichtlich der Genauigkeit der Ergebnisse einen Vorteil ergeben.

Bei Betrachtung der Festigkeiten der hergestellten Wabenplatten fällt auf, dass diese deutlich unter den von Spanplatten geforderten Werten liegen. Durch eine geringere Zellgröße des Wabenmaterials und ein quer zur Expansionsrichtung orientierter Wabenkern lassen sich aber erheblich bessere Festigkeitseigenschaften erzielen. Besonders Platten mit einem sehr dicken Wabenkern, die für Wabenplatten besonders in Frage kommen, widerstehen erheblich größeren Belastungen. Inwieweit die Festigkeiten von rahmenlosen Wabenplatten der Einführung eines solchen Materials im Wege stehen, kann nicht abschließend beurteilt werden. Die Vermutung liegt aber nahe, dass sich durch eine angepasste Möbelkonstruktion in dieser Hinsicht keine Probleme ergeben werden.

8 Literaturverzeichnis

Aeschlimann, M. (2004): Woodwelding Technologie – Innovative Beschlagsbefestigung in Wabenplatten. Wabenplatten-Colloquium, Schopfloch

Albin, R.; F. Dusil; R. Feigl; H. Froelich; H. Funke (1991): Grundlagen des Möbel- und Innenausbaus. DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden- Echterdingen

Anonymus (2004a): Möbel-Zahlen-Daten. Ferdinand Holzmann Verlag GmbH, Hamburg

Anonymus (2004b): Revolution per Wabenplatte Holzwerkstoffe 2004. Ferdinand Holzmann Verlag GmbH, Hamburg

Anonymus (2004c): Werkstoffe – Leichtbauplatten, Steigendes Interesse. HK Holz- und Kunststoffverarbeitung, Nr. 4, S. 47-49

Anonymus (2004): Möbelindustrie prüft stärkeren Einsatz von Wabenplatten. EUWID Holz spezial: Holzwerkstoffe & Oberflächen, Mai, S. 58-63

Anonymus (2003): Rationeller Leichtbauplattenbau für die Möbelindustrie. Holz-Zentralblatt, Nr. 79, S. 1118

Baumann, R. (1922): Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart, Verlag des Vereines Deutscher Ingenieure, Berlin

Bitzer, T. (1997): Honeycomb Technology – Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing. Chapman & Hall, London

Buck, Klaus (2004): Fixmaß-Wabenplatten vom Band, HOB – Die Holzbearbeitung. Nr.4, S. 10-12

Davies, J.M. (2001): Lightweight Sandwich Construction. Blackwell Science Ltd, Oxford, London, Edinburgh

Gottwald, W. (2000): Statistik für Anwender. Wiley-VCH Verlag, Weinheim

Habenicht, G. (1997): Kleben – Grundlagen, Technologie, Anwendungen. Springer-Verlag, Heidelberg

Hänel, W.; M. Weinert (2004): Diätkur für Schwergewichte – Vorschläge zum Einsatz leichter Plattenwerkstoffe bei der Konstruktion von Möbeln. 2. Auflage, Institut für Holztechnologie Dresden (ihd), Dresden

Horden, R. (2001): Zusammenspiel mit Holz und neuen Materialien. Holz Innovativ Symposium, Rosenheim

- Jenkinson, P. (1967): Compressive and shear properties of polyester and polyimide film honeycomb core. US Forest Service research paper, FPL 75: Forest Products Laboratory, Madison Wis.
- Klein, B.; T. Gänsicke, Thomas Schönfelder (1995): Lebensdauerbestimmung von Inserts in Aluminium-Sandwichplatten. Automobiltechnische Zeitschrift, Band 97, S.102-106
- Knauf, M.; A., Frühwald (2004): Trendanalyse Zukunft Holz – Delphistudie zur Entwicklung der deutschen Holzindustrie. Abschlussbericht, S. 23-24
- Kunkel, D. (2004): Neue Klebstoffentwicklungen für die Herstellung von Leichtbauelementen. Wabenplatten-Colloquium, Schopfloch
- Kvist, P. (2004): Schneller, flexibler, stabiler. HOB – Die Holzbearbeitung, Nr. 4, S. 18-19
- Michanickl, A. (2004): Light Wood Based Panels – State of the Art and Trends. 4. Europäisches Holzwerkstoff-Symposium, Hannover
- Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden- Echterdingen
- Patt, R. (1998): Chemische Holztechnologie. Vorlesungsskript, Universität Hamburg
- Pfug, J. (2004): Continuously produced paper honeycomb sandwich panels for furniture applications. 5. Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Kassel
- Reichling, H.(2004): Schmalflächenbelegung im Leichtbau. 10. Jowat-Symposium, Detmold
- Riepertinger, M. (2004): Deckschichten als wichtigstes Qualitätskriterium für Leichtbauplatten. Wabenplatten-Colloquium, Schopfloch
- Schmidt, W. (2004): Methodische Entwicklung innovativer Leichtbau-Produkte. VDI Verlag, Düsseldorf
- Schumacher, R. (2004): Erfahrungen bei der Herstellung von Verbundelementen mit Polyurethan-Hotmelt, 10. Jowat-Symposium, Detmold
- Soiné, H. (2003): Eine Alternative zu Vollspanplatte und MDF, Holz-Zentralblatt, Nr.39, S. 588
- Soiné, H. (2004a): Leichtbauplatten mit Wabenmittellagen – ein universelles System. Türen-Magazin, Supplement vom Holz-Zentralblatt. DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden- Echterdingen
- Soiné, H. (2004b): Möbelbauteile aus Werkstoffplatten mit Wabeneinlagen. HOB – Die Holzbearbeitung, Nr. 4, S. 20-23
- Stamm, K.; H. Witte (1974): Sandwichkonstruktionen- Berechnung, Fertigung, Ausführung. Springer Verlag, Wien, New York
- Suchsland, O.; G. E. Woodson (1986): Fiberboard manufacturing practices in the United States. USDA Forest Service, Agriculture Handbook No. 640

Weber, H.-G.; Schatz, J. (2004): Homag Anlage zur Herstellung von Papierwabenplatten im Durchlauf, Wabenplatten-Colloquium, Schopfloch

Wiedemann, J. (1986): Leichtbau Band 1: Elemente, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio

Wiedemann, J. (1989): Leichtbau Band 2: Konstruktion, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio

Zenkert, D. (1997): The Handbook of Sandwich Construction, Engineering Materials Advisory Services Ltd, West Midlands

Normen

- DIN 1052 (August, 2004): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- DIN 52 185 (September, 1976): Prüfung von Holz - Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser
- DIN 52 192 (Mai, 1979): Prüfung von Holz - Druckversuch quer zur Faserrichtung
- DIN 52 376 (November, 1978): Prüfung von Sperrholz – Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Plattenebene
- DIN 68 874 (Januar, 1985): Anforderungen und Prüfung im Möbel – Möbel-Einlegeböden und Bodenträger
- DIN 68 930 (Juni, 1998): Küchenmöbel – Anforderungen, Prüfungen
- DIN EN 310 (Februar, 1993): Holzwerkstoffe – Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit
- DIN EN 312 (Februar, 2003): Spanplatten – Anforderungen
- DIN EN 318 (Juni, 2002): Holzwerkstoffe – Bestimmung von Maßänderungen in Verbindung mit Änderung der relativen Luftfeuchte
- DIN EN 319 (Februar, 1993): Spanplatten und Faserplatten – Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene
- DIN EN 320 (August, 1993): Faserplatten – Bestimmung des achsenparallelen Schraubenausziehstandes
- DIN EN 438 – 2 (April, 2005): Dekorative Hochdruck – Schichtpressstoffplatten (HPL) – Platten auf Basis härthbarer Harze (Schichtpressstoffe) – Teil 2: Bestimmung der Eigenschaften
- DIN EN 622 (September, 2003): Faserplatten - Anforderungen
- DIN EN 826 (März, 1996): Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung

DIN EN 1727 (Juni, 1998): Wohnmöbel – Schränke und Regale – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren

DIN V ENV 1156 (März, 1999): Holzwerkstoffe – Bestimmung von Zeitstandfestigkeit und Kriechzahl

DIN ISO 42 11 – 4 (März, 1995): Möbel – Oberflächenprüfungen – Teil 4: Bewertung der Stoßfestigkeit

Firmenprospekte

ALCAN Composites, Osnabrück: „KAPA inlay – Die ideale Leichtstoffplatte mit PUR-Hartschaumkern für Leichtbauanwendungen“

Böllhoff, Bielefeld: „Blindnietmuttern aus Stahl“

Zu beziehen über Internet:

http://www.boellhoff.de/web/web.nsf/HTML/r_stahl.html (17.03.2005)

Burton, Burlington: „T6 Alumafly Core“

CFP Compagnie Francaise du Panneau, Saint Loup Sur Semouse: Informationsblatt Leichtspanplatten

Hexcel, Dublin, California: „The basics on bonded sandwich construction“

Hexcel, Duxford: „Wabensandwichkonstruktions-Technologie“

Hexcel, Duxford: „Sandwichplatten-Verarbeitungstechnik“

HD Möbelzubehör, Bad Salzuflen: „Möbelbau mit Wabenplatten jetzt noch einfacher.“

Honicec Nederland B.V., Zelhem: „Vorsprung durch Honicec“

Honicec Nederland B.V., Zelhem: „Sechseckwaben“

IKEA: „Daten und Fakten, Der IKEA Konzern 2003/2004“

Zu beziehen über Internet:

http://www.ikea.com/ms/de_DE/about_ikea/facts_figures/downlbroch.html (17.03.2005)

IKEA: „Environmental and social issues“, 2001

Zu beziehen über Internet:

<http://www.ikea-group.ikea.com/corporate/responsible/brochure.html> (17.03.2005)

Kosche, Much: „Leichte Möbelplatte „Hanf“ mit feiner Decklage“

Kuper, Rietberg: „KUPER PUR-Lightboard-Anlage“

http://www.kuper.de/site/DE/holz/02/02_03/02_03_container.php (25.03.2005)

Moralt, Bad Tölz: „Lightwood Tischlerplatten“

The Young Engineers, Inc., Lake Forest, California: Produktkatalog

Thermopal, Leutkirch: „Trägerwerkstoffe - Neuheiten 2005“

Toms Gerber GmbH, Callenberg: Produktkatalog

SWAP (Sachsen) GmbH, Frankenberg: „Stabile Wabenplatte aus Papier“

Anhang

Ergebnisse Biegeprüfung

3-Punkt-Prüfung in Anlehnung an DIN 310: 1993

Werte aus 5 Proben

s = Standardabweichung

V = Variationskoeffizient

Versuchsteil 1: Einfluss der Probenbreite

Biegefestigkeit:

E-Modul:

Typ I

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 4,73 | 4,88 | 4,78 | 4,75 |
| MW [N/mm ²] | 4,44 | 4,62 | 4,59 | 4,70 |
| Min [N/mm ²] | 4,13 | 4,39 | 4,33 | 4,66 |
| S | + 0,25 | + 0,18 | + 0,17 | + 0,03 |
| V | + 5,7% | + 3,8% | + 3,7% | + 0,7% |

Typ I

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Max [N/mm ²] | 1310,93 | 1291,37 | 1263,90 | 1282,47 |
| MW [N/mm ²] | 1229,03 | 1251,24 | 1221,78 | 1226,44 |
| Min [N/mm ²] | 1174,02 | 1222,45 | 1182,16 | 1185,52 |
| S | + 55,29 | + 34,16 | + 36,83 | + 39,19 |
| V | + 4,5% | + 2,7% | + 3,0% | + 3,2% |

Typ II

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 3,39 | 3,41 | 3,36 | 3,63 |
| MW [N/mm ²] | 3,21 | 3,13 | 3,24 | 3,34 |
| Min [N/mm ²] | 2,76 | 2,99 | 3,12 | 3,14 |
| S | + 0,23 | + 0,16 | + 0,11 | + 0,20 |
| V | + 7,1% | + 5,2% | + 3,3% | + 5,9% |

Typ II

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Max [N/mm ²] | 1156,60 | 1238,59 | 1173,39 | 1156,81 |
| MW [N/mm ²] | 1085,59 | 1109,42 | 1134,09 | 1119,35 |
| Min [N/mm ²] | 1008,71 | 1048,40 | 1102,92 | 1069,84 |
| S | + 64,13 | + 75,11 | + 33,95 | + 33,00 |
| V | + 5,9% | + 6,8% | + 3,0% | + 2,9% |

Typ III

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 2,88 | 2,69 | 2,97 | 2,83 |
| MW [N/mm ²] | 2,68 | 2,64 | 2,74 | 2,73 |
| Min [N/mm ²] | 2,57 | 2,59 | 2,58 | 2,51 |
| S | + 0,12 | + 0,04 | + 0,16 | + 0,13 |
| V | + 4,4% | + 1,5% | + 5,9% | + 4,9% |

Typ III

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Max [N/mm ²] | 1052,06 | 1042,72 | 1132,03 | 1107,01 |
| MW [N/mm ²] | 990,45 | 1002,69 | 1049,42 | 1045,54 |
| Min [N/mm ²] | 909,02 | 948,85 | 994,78 | 1021,15 |
| S | + 48,79 | + 35,31 | + 53,01 | + 34,92 |
| V | + 4,9% | + 3,5% | + 5,1% | + 3,3% |

Typ IV

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 5,85 | 6,33 | 6,01 | 5,87 |
| MW [N/mm ²] | 5,62 | 5,87 | 5,91 | 5,79 |
| Min [N/mm ²] | 5,31 | 5,58 | 5,76 | 5,71 |
| S | + 0,20 | + 0,29 | + 0,10 | + 0,07 |
| V | + 3,5% | + 5,0% | + 1,6% | + 1,1% |

Typ IV

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Max [N/mm ²] | 1576,42 | 1659,80 | 1556,87 | 1534,88 |
| MW [N/mm ²] | 1518,74 | 1543,59 | 1491,51 | 1490,85 |
| Min [N/mm ²] | 1430,83 | 1499,78 | 1424,28 | 1404,76 |
| S | + 49,22 | + 67,18 | + 53,76 | + 53,32 |
| V | + 3,2% | + 4,4% | + 3,6% | + 3,6% |

Typ V

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Max [N/mm ²] | 4,21 | 4,14 | 4,47 | 4,43 |
| MW [N/mm ²] | 3,90 | 4,00 | 4,25 | 4,31 |
| Min [N/mm ²] | 3,64 | 3,82 | 4,04 | 4,14 |
| S | + 0,21 | + 0,14 | + 0,19 | + 0,13 |
| V | + 5,3% | + 3,4% | + 4,5% | + 2,9% |

Typ V

| Probenbreite | 50 mm | 70 mm | 90 mm | 110 mm |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Max [N/mm ²] | 910,46 | 917,02 | 926,69 | 904,03 |
| MW [N/mm ²] | 866,78 | 903,00 | 904,82 | 874,00 |
| Min [N/mm ²] | 826,66 | 876,25 | 878,95 | 860,80 |
| S | + 36,40 | + 18,20 | + 22,54 | + 20,26 |
| V | + 4,2% | + 2,0% | + 2,5% | + 2,3% |

Versuchsteil 2: Einfluss der Stützweite

Biegefestigkeit

Typ I

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 4,73 | 5,12 | 5,82 |
| MW [N/mm ²] | 4,44 | 4,96 | 5,65 |
| Min [N/mm ²] | 4,13 | 4,75 | 5,28 |
| s | + - 0,25 | + - 0,13 | + - 0,22 |
| V | + - 5,7% | + - 2,7% | + - 3,9% |

Typ II

kein Material vorhanden

Typ III

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 2,88 | 3,12 | 3,52 |
| MW [N/mm ²] | 2,68 | 3,02 | 3,40 |
| Min [N/mm ²] | 2,57 | 2,94 | 3,31 |
| s | + - 0,12 | + - 0,07 | + - 0,09 |
| V | + - 4,4% | + - 2,4% | + - 2,5% |

Typ IV

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 5,85 | 6,51 | 7,14 |
| MW [N/mm ²] | 5,62 | 6,40 | 6,99 |
| Min [N/mm ²] | 5,31 | 6,22 | 6,82 |
| s | + - 0,20 | + - 0,12 | + - 0,13 |
| V | + - 3,5% | + - 1,9% | + - 1,9% |

Typ V

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|----------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 4,21 | 3,98 | 4,76 |
| MW [N/mm ²] | 3,90 | 3,87 | 4,51 |
| Min [N/mm ²] | 3,64 | 3,69 | 4,06 |
| s | + - 0,21 | + - 0,13 | + - 0,31 |
| V | + - 5,3% | + - 3,4% | + - 6,9% |

E-Modul

Typ I

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1310,93 | 1374,84 | 1411,16 |
| MW [N/mm ²] | 1229,03 | 1340,69 | 1393,00 |
| Min [N/mm ²] | 1174,02 | 1296,56 | 1379,99 |
| s | + - 55,29 | + - 29,67 | + - 12,58 |
| V | + - 4,5% | + - 2,2% | + - 0,9% |

Typ II

kein Material vorhanden

Typ III

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1052,06 | 1177,68 | 1239,64 |
| MW [N/mm ²] | 990,45 | 1138,09 | 1159,10 |
| Min [N/mm ²] | 909,02 | 1103,98 | 1108,45 |
| s | + - 48,79 | + - 35,02 | + - 48,71 |
| V | + - 4,9% | + - 3,1% | + - 4,2% |

Typ IV

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1576,42 | 1650,54 | 1745,56 |
| MW [N/mm ²] | 1518,74 | 1603,44 | 1696,40 |
| Min [N/mm ²] | 1430,83 | 1541,52 | 1659,76 |
| s | + - 49,22 | + - 41,98 | + - 33,37 |
| V | + - 3,2% | + - 2,6% | + - 2,0% |

Typ V

| Probenbreite | 20-fach | 23-fach | 25-fach |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 910,46 | 882,85 | 1000,46 |
| MW [N/mm ²] | 866,78 | 851,88 | 959,86 |
| Min [N/mm ²] | 826,66 | 815,46 | 914,90 |
| s | + - 36,40 | + - 33,10 | + - 39,90 |
| V | + - 4,2% | + - 3,9% | + - 4,2% |

Versuchsteil 3: Einfluss der Legerichtung

Biegefestigkeit

Typ I

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 4,73 | 7,99 |
| MW [N/mm ²] | 4,44 | 7,49 |
| Min [N/mm ²] | 4,13 | 7,18 |
| s | + - 0,25 | + - 0,32 |
| V | + - 5,7% | + - 4,2% |

Typ II

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 3,39 | 5,14 |
| MW [N/mm ²] | 3,21 | 4,99 |
| Min [N/mm ²] | 2,76 | 4,79 |
| s | + - 0,23 | + - 0,13 |
| V | + - 7,1% | + - 2,6% |

Typ III

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 2,88 | 4,66 |
| MW [N/mm ²] | 2,68 | 4,16 |
| Min [N/mm ²] | 2,57 | 3,81 |
| s | + - 0,12 | + - 0,33 |
| V | + - 4,4% | + - 8,0% |

Typ IV

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|----------|----------|
| Max [N/mm ²] | 5,85 | 10,92 |
| MW [N/mm ²] | 5,62 | 10,53 |
| Min [N/mm ²] | 5,31 | 10,30 |
| s | + - 0,20 | + - 0,26 |
| V | + - 3,5% | + - 2,5% |

Typ V

kein Material vorhanden

E-Modul

Typ I

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1310,93 | 1649,90 |
| MW [N/mm ²] | 1229,03 | 1630,36 |
| Min [N/mm ²] | 1174,02 | 1575,71 |
| s | + - 55,29 | + - 30,89 |
| V | + - 4,5% | + - 1,9% |

Typ II

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1156,60 | 1444,74 |
| MW [N/mm ²] | 1085,59 | 1421,56 |
| Min [N/mm ²] | 1008,71 | 1387,51 |
| s | + - 64,13 | + - 22,03 |
| V | + - 5,9% | + - 1,5% |

Typ III

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1052,06 | 1321,98 |
| MW [N/mm ²] | 990,45 | 1237,98 |
| Min [N/mm ²] | 909,02 | 1104,88 |
| s | + - 48,79 | + - 93,44 |
| V | + - 4,9% | + - 7,5% |

Typ IV

| Probenbreite | längs | quer |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Max [N/mm ²] | 1576,42 | 2102,33 |
| MW [N/mm ²] | 1518,74 | 2022,73 |
| Min [N/mm ²] | 1430,83 | 1934,56 |
| s | + - 49,22 | + - 69,77 |
| V | + - 3,2% | + - 3,4% |

Typ V

kein Material vorhanden