

# Entwicklung des Verfahrens der partiellen Verdichtung von Holzfaserverwerkstoffplatten zu deren mechanischer Leistungssteigerung

## Development of the method of partial compression of wood-fibre material boards for their mechanical performance enhancement

### Projektleiter

**Project leader:**  
Ronny Lang

### Projektbearbeiter

**Persons in charge:**  
Ronny Lang,  
Tom Kuschel

### Fördermittelgeber

**Co-funded by:**  
BMW i (INNO-KOM)

### AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Ausgangsmaterial für die in diesem Projekt angestrebte Produktentwicklung sind Holzfasern. Ausgehend von einer Fraktion Holzfasern können verschiedenste Plattenwerkstoffe hergestellt werden, wobei sich das Eigenschaftsprofil maßgeblich aus der Dichteverteilung ergibt. Der Ansatz, das Material der Randbereiche durch ein höherdichtes, leistungsfähigeres Material zu ersetzen, folgt den Prinzipien des Stoffleichtbaus. Da dem Holzfaserverwerkstoff hoher Dichte letztlich das gleiche Ausgangsmaterial wie Holzfaserverwerkstoffen niedrigerer Dichte zugrunde liegt, könnte man den Ansatz auch dem Formleichtbau zuordnen. Insbesondere soll während des Pressvorganges durch das Einlegen spezieller Leisten zwischen zwei Holzfaservliese Material aus dem Bereich der neutralen Faser der entstehenden Holzwerkstoffplatte in Richtung der Randfaser verschoben werden und so ein über den Plattenquerschnitt optimiertes Rohdichteprofil erzeugt werden. Die resultierende Geometrie kann mit der Geometrie einer Röhrenspanplatte verglichen werden. Der Unterschied liegt in der Erzeugung der Hohlräume im Bereich der neutralen Faser. Bei Röhrenspanplatten wird das Material im Bereich der neutralen Faser zum Zweck der Gewichtsreduzierung entfernt. Beim vorgestellten Ansatz wird das Material lediglich in Richtung der Randfasern verschoben, wobei

### INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

The starting material for the product development envisaged in this project are wood fibres. Starting out from a fraction of wood fibres, the most diverse board materials can be manufactured, whereby the property profile results decisively from their density distribution. The approach of replacing the material in the marginal areas with a more dense, more highly performing material follows the principle of lightweight material engineering. As the high-density wood-fibre material is eventually based on the same source material as low-density wood-fibre materials, the approach could also be assigned to lightweight moulded design. Particularly during the pressing process, material is to be shifted from the area of the neutral fibre of the resultant wood-based board towards the edge fibre by inserting special strips between two wood-fibre mats, thus creating an optimised density profile across the board cross-section. The resulting geometry can be compared to the geometry of an extruded particleboard. The difference lies in the creation of the voids in the area of the neutral fibre. In extruded particleboard, the material in the area of the neutral fibre is removed for the purpose of weight reduction. In the approach presented here, the material is only repositioned in the direction of the edge fibres, whereby the resulting panel weight remains constant. Due to this partial compaction, low compacted material is sub-

das resultierende Plattengewicht konstant bleibt. Durch diese partielle Verdichtung wird im Bereich der Randfaser niedrig verdichtetes Material durch höher verdichtetes Material substituiert, was in einer Erhöhung der Tragfähigkeit resultiert. Diese Steigerung der Tragfähigkeit basiert auf dem Effekt, dass mit der Dichteerhöhung des Materials höhere Steifigkeit und Festigkeiten einhergehen. Voruntersuchungen prognostizierten bei konstantem Verformungsgrad eine mögliche Laststeigerung von bis zu 150 % für Biegebelastung und von bis zu 100 % für Zug- bzw. Druckbelastung in Plattenebene.

## VORGEHENSWEISE

Neben der Ermittlung der Ursache für die Ausbildung des nichtlinearen Rohdichteverlaufs wurde eine Sensitivitätsanalyse der diesen Vorgang beeinflussenden Pressparameter durchgeführt. Aufbauend darauf wurde der Verdichtungsprozess inklusive der prozessrelevanten Parameter mit einem geeigneten Modell abgebildet. Die Umsetzung erfolgte mit der Finite-Elemente-Methode (FEM). Mit dem aufgebauten Modell konnten in einem nächsten Schritt verschiedenste Geometrien der Einlegeleisten und deren Einfluss auf die resultierende Rohdichteverteilung und die mechanischen Eigenschaften der strukturell verbesserten Faserwerkstoffplatte (SVF) untersucht werden. Neben den FEM-basierten Simulationen wurden die grundlegenden Zusammenhänge auch analytisch untersucht und hinsichtlich des Strukturverhaltens mit gewöhnlichen Faserwerkstoffplatten verglichen. Trotz der unterschiedlichen Herangehensweisen und getroffenen Vereinfachungen zeigten der analytische und der numerische Ansatz mittels FE-Software gute Übereinstimmungen hinsichtlich der Biegesteifigkeit. Beide ergaben, dass sich die Durchbiegungen bei den SVF gegenüber einer Referenz-Faserwerkstoffplatte mit der gleichen Masse mehr als halbieren ließen. Aufgrund der reduzierten

substituted by higher compacted material in the area of the edge fibre, resulting in increasing the load-bearing capacity. This increase in load-bearing capacity is based on the effect that the increase in material density comes along with higher stiffness and strength. Preliminary investigations predicted a possible load increase of up to 150 % for the bending load and up to 100 % for the tensile or compressive loads in the board plane, with the degree of deformation remaining constant.

## APPROACH

Apart from determining the cause for the formation of the non-linear density curve, the sensitivity of the parameters affecting this process was analysed. Based on that, the compaction process including the process-relevant parameters was reproduced by a suitable model. This was implemented by applying the finite element method (FEM). This model then served to investigate various geometries of the inserted strips and their influence on the resulting density distribution and the mechanical properties of the structurally enhanced fibreboard (SEF). In a next step, most diverse geometries of the inserted strips and their influence on the resulting density distribution and mechanical properties of the SEF was possible to be investigated with that derived model. In addition to the FEM-based simulations, the basic interrelations were investigated also analytically and compared with common fibreboard panels regarding their structural behaviour. Despite the different approaches and simplifications made, the analytical and numerical approach by means of the FE-software showed good agreement regarding the bending stiffness. Both of them yielded that the deformation in the SEFs contrasted to a referential fibreboard panel of the same mass could be more than halved. But due to the reduced contact area in the middle layer, the shear stress increased, which distinctly increases the risk of shear failure. Therefore,

Kontaktfläche in der Mittellage steigen dort allerdings die Schubspannungen, was das Risiko eines Schubversagens deutlich erhöht. Deshalb waren auch Festigkeitsbetrachtungen hinsichtlich der Schubspannungen in der Mittelschicht und der Kerbspannungen an den Übergangsbereichen Bestandteil der Untersuchungen.

## ERGEBNISSE

Die Untersuchungen in diesem Projekt zeigten, dass die SVF ein großes Potential bieten, das mechanische Verhalten von MDF auf einzelne Anwendungszwecke hin gezielt zu verbessern. Schon bei herkömmlichen MDF sorgt ein ausgeprägtes Rohdichteprofil für eine Zunahme von Biegesteifigkeit und Biegemodul um rund 20 % im Vergleich zu einer homogen aufgebauten Platte. Für die SVF ergaben die Betrachtungen eine Reduzierung der Durchbiegungen auf etwa 40 % im Vergleich zu einer Faserwerkstoffplatte mit der gleichen mittleren Rohdichte. Maßgebend dafür ist eine deutlich stärkere Ausnutzung des Sandwich-Effekts durch die hohen Steifigkeiten in den Deckschichten. Diese Ergebnisse konnten durch unterschiedliche und unabhängige Ansätze bestimmt werden. Obgleich sowohl die analytischen Berechnungen als auch die FE-Simulationen gewissen Vereinfachungen unterliegen, zeigten sich für die Resultate gute Übereinstimmungen. Den sehr guten Biegeeigenschaften stehen allerdings, abhängig von Belastung und Plattenabmessungen, potentielle Schwachstellen in den Übergangsbereichen gegenüber. So erhöhen sich die Schubspannungen in der Mittellage durch die verringerte Kontaktfläche und es besteht ein Versagensrisiko an den Übergängen durch Kerbspannungen. Die Simulationen zeigten, dass die Varianten der abgerundeten und abgeschrägten Kanten den rechteckigen Hohlräumen zu bevorzugen sind. Zum einen fallen die Kerbspannungen bei diesen niedriger aus. Zum

strength considerations regarding shear stresses in the middle layer and the notch stresses in the transition areas were also part of the investigations.

## RESULTS

The investigations in this project showed that the SEFs offer great potential to purposefully improve the mechanical behaviour of MDF for individual applications. The pronounced density profiles in conventional MDF already ensure an increase in bending stiffness and bending modulus of around 20 % compared to a homogeneously structured board. For the SEF, the considerations resulted in a reduction of the deflections to about 40 % compared to a fibreboard panel of the same average density. A significantly stronger utilisation of the sandwich effect due to the high stiffnesses in the top layers is decisive for that. These results could be obtained by different and independent approaches. Although both the analytical calculations and the FE simulations are subject to certain simplifications, the results showed good agreement.

Depending on the load and panel dimensions, the very good bending properties are, however, in contrast to potential weak points in the transition areas. The shear stresses in the middle layer, for example, increase due to the reduced contact area causing a risk of failure at the transitions due to notch stresses. The simulations illustrated that the variants with rounded and bevelled edges are to be preferred to the rectangular voids. On the one hand, the notch stresses are lower with the first variant; with the latter, on the other, only very little fibre material is pressed into the middle layer at the side of the voids due to the particle moving during the pressing process. This further increases proneness to shear failure. During the production of the test specimens, the middle layer was damaged in several cases due to

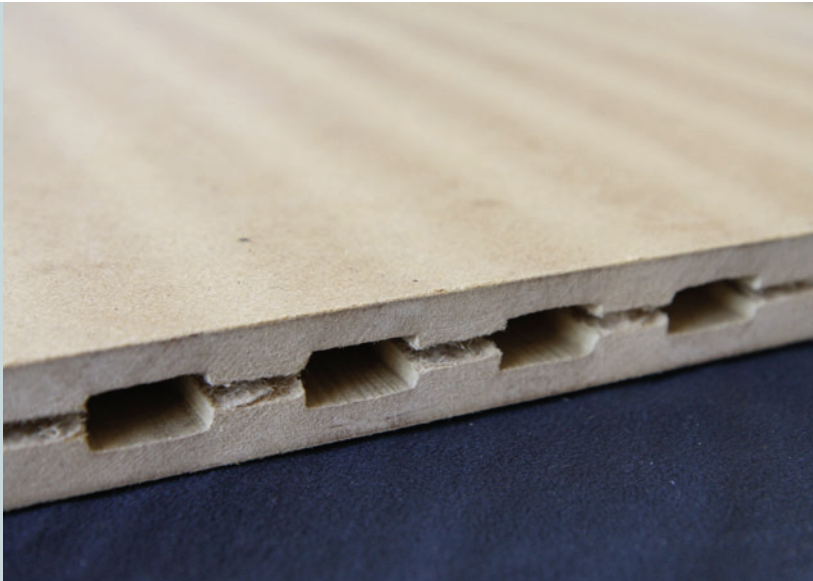


Abb. 1: Bruch der Mittellage der SVF nach dem Pressvorgang

Fig. 1: Rupture in the middle layer of the SEF after pressing

anderen wird bei der rechteckigen Variante, aufgrund der Partikelbewegung während des Pressvorgangs, nur sehr wenig Fasermaterial in die Mittellage seitlich der Hohlräume gepresst. Dadurch erhöht sich die Anfälligkeit auf Schubversagen zusätzlich. Bei der Herstellung der Probekörper kam es durch elastische Rückverformung nach Abschluss des Pressprozesses mehrfach zur Schädigung der Mittellage (Abb. 1).

Durch Anpassungen des Leistenmaterials, des Pressprogramms als auch der Herstellungstechnologie konnte der Grad der Schädigung stark reduziert werden. Die Untersuchungen zum Ausschluss einer Schädigung der Mittellage dauern noch an.

elastic re-deformation after completion of the pressing process (Fig. 1).

The degree of damage could be greatly reduced by adjusting the strip material, the pressing programme and the manufacturing technology. Investigations into precluding any damaging in the middle layer are being continued.