

Konstruktiver Leichtbau von Hartholz-Verbundelementen zur industriellen Fertigung nachhaltiger Funktionsmöbel

Structural lightweight construction of hardwood composite elements for the industrial manufacture of sustainable functional furniture

Projektleiter

Project leader:
Kevin Schlunze

Fördermittelgeber

Co-funded by:
BMEL (FNR)

Projektpartner

Project partners:
Franz Fertig Sitz- +
Liegemöbelfabrik GmbH

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Die aktuelle Entwicklung der Möbelbranche hin zu einer effizienteren Raumnutzung und hohen Komfortansprüchen ziehen einen Trend in Richtung Funktionsmöbel nach sich. Zur Umsetzung von Funktionen wie Umklappen, Drehen oder Ausziehen, werden Mechanismen in der Unterkonstruktion des Funktionsmöbels integriert. Um diese Mechanismen zu realisieren, werden in der Regel Metalle eingesetzt. Was allerdings auch zu erschwertem Recycling und höherem Gewicht der Möbel führt.

Das Forschungsprojekt konzentrierte sich auf den Ersatz von Metallen durch Holz bzw. Holzwerkstoffe, wobei die Beanspruchbarkeit gleichbleibend hoch bleiben sollte. Das Ziel war es, das Gewicht der Möbel durch Methoden des konstruktiven Leichtbaus um 40 % zu reduzieren, um insbesondere den Anforderungen der Transportbranche gerecht zu werden.

VORGEHENSWEISE

Die Leichtbauoptimierung wurde exemplarisch an einem Schlafsofa durchgeführt, das mittels Drehsystem eine Sitz- und Liegefläche bereitstellt. Ausgangspunkt war die Beschreibung des Ist-Zustands des Schlafsofas. Dafür galt es zunächst, das Schlafsofa in seiner Ausgangskonfiguration als 3D-CAD-

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

The current development of the furniture industry aiming at a more efficient utilisation of space and high standards of comfort has a trend towards functional furniture in its wake. For the implementation of functions, such as folding back, turning or extending, mechanisms are integrated into the substructure of the piece of functional furniture. Metals are commonly used to design such mechanisms, which, unfortunately, also has the consequence of more difficult recycling and a higher weight of such furniture.

The research project concentrated on substituting metals by wood or wood-based material, but keeping the usefulness and durability at the same high level. It was the goal to reduce the weight of the furniture by 40 % through methods of structural lightweight design to meet the requirements of the transportation sector in particular.

APPROACH

Optimising the lightweight design was carried out by example of a sleeper sofa that provides for both functions of seating and lying down facilitated by means of a pivoting system. The starting point was to describe the as-is state of the sleeper sofa. For that purpose, it was initially necessary to design the sleeper sofa in its initial configuration as a 3D CAD model. Design sketches provided

Modell zu konstruieren. Die Grundlage dafür lieferte der Projektpartner in Form von Konstruktionsskizzen. Zur Erstellung der Volumenmodelle fand die CAD-Software SolidWorks Anwendung. Anschließend wurden die zu untersuchenden Lastfälle (z. B. Sitzen, Schlafen) anhand von Normen und Erfahrungswerten festgelegt und parametrisiert. In der Finite-Elemente-Software Abaqus wurden Simulationsumgebungen für die verschiedenen Lastfälle (statisch und dynamisch) aufgebaut. Dafür war es nötig, Materialmodelle für verschiedene Hölzer und Holzwerkstoffe zu erstellen und die CAD-Modelle im Hinblick auf ihre Verbindungsmittel und Kontaktbedingungen anzupassen. Von hoher Wichtigkeit war die detaillierte Darstellung der Funktionselemente, da diese nur bestimmte Freiheitsgrade und somit Lasten in der Konstruktion übertragen. Zudem wurden Netzstudien durchgeführt und die Einstellungen des Gleichungslösers so abgestimmt, dass eine möglichst zeiteffiziente Berechnung der Struktur möglich wurde. Die auftretenden Spannungs- und Verformungsverläufe wurden ermittelt und dienten als Referenz und Ausgangspunkt für die Leichtbauoptimierung. Das Optimierungspotenzial der einzelnen Bauteile des Schlafsofas wurde evaluiert und anschließend mit Methoden des konstruktiven Leichtbaus überarbeitet. Insgesamt wurde Material an hochbelasteten Stellen hinzugefügt und an wenig belasteten Stellen entfernt. Dabei wurde eine Dimensionsoptimierung

by the project served as a basis for that. The CAD software SolidWorks was used to create the volume models. Subsequently, the load cases in question (seating, sleeping) were defined and parametrised based on standards and empirical values.

Simulation environments for the various load cases (static and dynamic) were generated using the Abaqus finite element software. This required to create material models for different wood species and wood-based materials and to adapt the CAD models regarding their jointing means and conditions of contacts. The detailed rendering of the functional elements was of great importance, as they transfer only certain degrees of free movement, thus loads, in the construction. In addition, mesh studies were performed. The settings of the equation solver were tuned to each other in such a way as to enable the most time-efficient calculation of the structure.

The occurring tension and deformation curves were determined and served as a reference and starting point for the lightweight design optimisation. The optimisation potential of the individual components of the sleeper sofa was evaluated and subsequently revised using methods of constructive lightweight design. All in all, material was added to highly stressed areas and removed from less stressed areas. This included dimensional optimisation and material substitution. For a more homogeneous load distribution, beams were replaced

und Materialsubstitution durchgeführt. Für eine gleichmäßigere Lastverteilung wurden Träger durch Flächenelemente ersetzt. Zur Abschätzung des geringstmöglichen Gewichts wurden zudem numerische Optimierungsmethoden (CAO-Methode, SKO-Methode) angewandt. Dafür wurden zusätzlich die Topologieoptimierungssoftware Z88Arion und Siemens NX genutzt.

Die Gesamtstrukturantwort wurde nach jedem Optimierungsschritt erneut berechnet, um die Sicherheit der Gesamtstruktur zu gewährleisten. Parallel wurden in jedem Arbeitsschritt Plausibilitätsprüfungen (z. B. Berechnungen zur Energieerhaltung) durchgeführt. Das optimierte Schlafsofa wurde schließlich als Demonstrator gebaut, getestet und ausgestellt.

ERGEBNISSE

Es wurden CAD-Modelle und Simulationsumgebungen des Schlafsofas in verschiedenen Detaillierungsgraden und Optimierungsstadien erstellt. Dabei wurde das Fachgebiet der Mehrkörpersimulation und Strukturoptimierung am IHD weiter ausgebaut und mit Ansätzen des konstruktiven Leichtbaus verknüpft. Parametersets verschiedenster Holzarten und Werkstoffe wurden zusammengestellt und auf ihr Leichtbaupotenzial hin bewertet. Typische Lastszenarien und Anforderungen aus der Transportbranche für Möbel wurden zusammengefasst und analysiert. Das Gewicht des Schlafsofas konnte im Vergleich zum Ausgangsgewicht um 39,7 % reduziert werden. Gleichzeitig wurden Spannungsspitzen der betrachteten Lastfälle abgemildert und die Versagenswahrscheinlichkeit einzelner Bauteile reduziert. Die Menge

by planar elements. Numerical optimisation methods (CAO method, SKO method) were also used to estimate the lowest possible weight. The topology optimisation software Z88Arion and that of Siemens NX were used to that end, too.

The overall structural response was newly calculated after each optimisation step to ensure overall structural safety. In parallel, plausibility checks (e.g., calculations for energy conservation) were carried out in each step. The optimised sleeper sofa was finally built, tested and exhibited as a demonstrator.

RESULTS

CAD models and simulation environments of the sleeper sofa were created in various degrees of detail and optimisation stages. In the process, the specialist field of multi-body simulation and structural optimisation at the IHD was further expanded and linked with approaches to structural lightweight design. Parameter sets of various types of wood and materials were compiled and evaluated for their lightweight construction potential. Typical load scenarios and requirements from the transportation industry for furniture were summarised and analysed. Compared to its initial weight, the weight of the sleeper sofa was reduced by 39.7 %. At the same time, tension peaks of the considered load cases were mitigated and the probability of failure of individual components was reduced. The amount of metal components used could be decreased further reducing the mixed fraction and increasing sustainability.

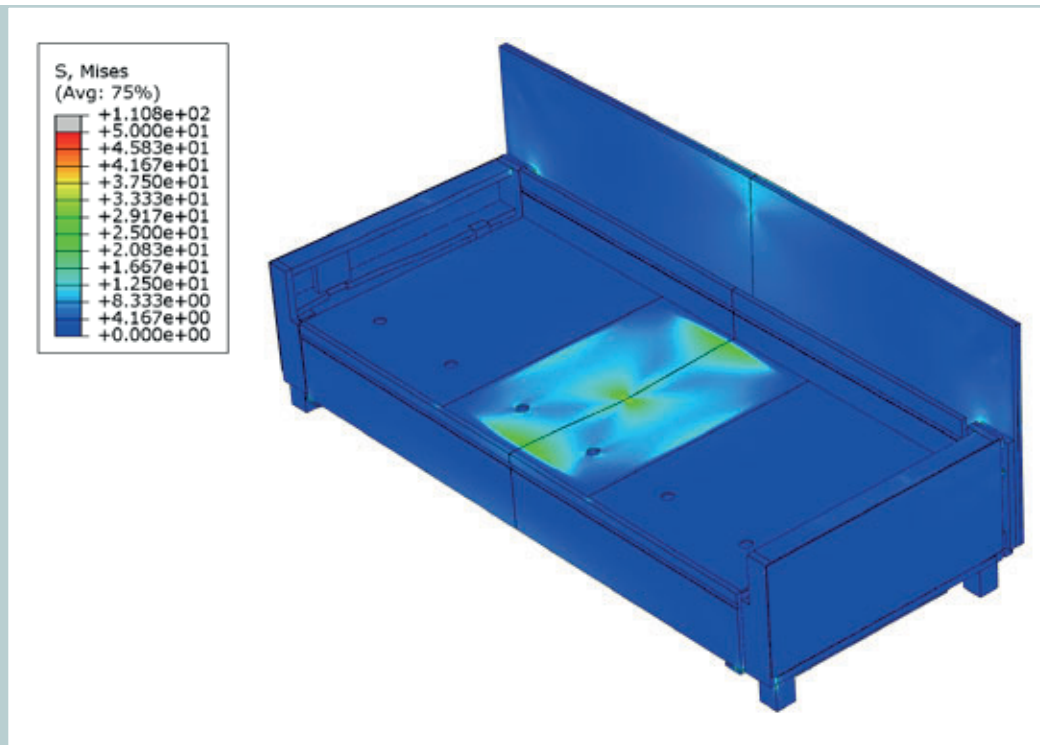


Abb. 1: Spannungsanalyse des Schlafsofas

Fig. 1: Tension analysis of the sleeper sofas

der eingesetzten Metallbauteile konnte weiter verringert werden, was die Mischfraktion verkleinert und die Nachhaltigkeit erhöht. Weiterhin wurde die optimierte Struktur als Demonstrator gefertigt und u. a. auf Messen vorgeführt und getestet. Aus den Befragungen und Vorführungen des Demonstrators ergaben sich durchweg Vorteile in der Anwendernutzung. So wurden insbesondere die Leichtgängigkeit der Funktionselemente und das geringe Transportgewicht positiv bewertet.

Beyond that, the optimised structure was manufactured as a demonstrator and presented and tested at trade fairs and other events. Surveys and presentations of the demonstrator yielded advantages throughout regarding usability. In particular, the ease of movement of the functional elements and the low transport weight earned positive feedback.