

» NEUE WERKSTOFFE / » VERPACKUNGEN / » PRINTPRODUKTE / » RESSOURCENEFFIZIENZ

PTS-FORSCHUNGSBERICHT IGF 362

ENTWICKLUNG EINES PAPIER-BLECH-VERBUNDES ZUR NUTZUNG
EINES DÜNNWANDIGEN, HOCHFESTEN KAROSSERIEBLECHS IM
FAHRZEUGBAU

Entwicklung eines Papier-Blech-Verbundes zur Nutzung eines dünnwandigen, hochfesten Karosserieblechs im Fahrzeugbau.

G. Müller¹, K. Erhard², J. Matheas², J. Ahlers³, H. Kötter⁴, D. Süße⁴, W. Baherli⁴, A. Brosius⁴

Inhalt

1	Zusammenfassung	2
2	Abstract	4
3	Einleitung	7
3.1	Anlass für den Forschungsantrag	7
3.2	Faserverbundwerkstoffe	7
3.3	Gestaltung von multifunktionalen Papier-Blech-Verbunden	8
3.4	Einsatz von Simulationen zur Vorhersage von Funktionalitäten	9
4	Versuchsdurchführung	10
5	Ausgewählte Ergebnisse	12
5.1	Kriterien für den Gesamtverbund	12
5.2	Empfehlungen für die Eigenschaften des Faserkörpers	13
5.3	Entwicklung 3D-Faserformkörper	13
5.4	Entwicklung eines Bindemittels sowie eines Klebstoffs	14
5.5	Bereitstellung des Faser-Bindemittel-Systems	14
5.6	Bereitstellung Materialmuster Blech	15
5.7	Entwicklung Materialmuster Gesamtverbund	15
5.8	Funktionstests	15
5.9	Empfehlungen für verbesserte Verbundeigenschaften	15
5.10	Optimierung Faserformkörper	16
5.11	Optimierung von Bindemittel und Klebstoff	17
5.12	Optimierung Blech	17
6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	18
7	Schlussfolgerungen	19

¹ Papiertechnische Stiftung, München

² Papiertechnische Stiftung, Heidenau

³ Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Polymaterialien (BTU-LSPM)

⁴ Technische Universität Dresden, Institut für Formgebende Fertigungstechnik

1 Zusammenfassung

Zielstellung Das Vorhaben zielte auf die Entwicklung eines multifunktionalen Verbundwerkstoffs für Leichtbauanwendungen unter kostengünstigen Herstellungsbedingungen, wobei insbesondere folgende Funktionen erfüllt werden sollten:

- Geringes Gewicht bei gutem Schwingungs-Dämpfungsverhalten
- Gute Drapierbarkeit und Drainagefähigkeit
- Massereduzierung
- Energieeinsparung
- Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse
- Flammfestigkeit und Crash- Absorption
- Elektrische Zusatzfunktionen
- Kostengünstige Erzeugung

Zur Erreichung des Projektzieles sollten folgende Teilziele verfolgt werden:

- Entwicklung eines geeigneten Faserformkörpers
- Entwicklung geeigneter Imprägnierharze und Klebstoffe
- Entwicklung geeigneter Umformwerkzeuge und Verfahren

Ergebnisse

1. Modellierung

Durch eine sehr dichte, flache Beschichtung des Bleches mit Fasermaterial, ohne Versteifung durch gering viskoelastische Harzmaterialien, kann eine merkliche Schwingungsdämpfung erreicht werden. Die Ausbildung eines Profils der Beschichtung zu Noppen o. ä. bei gleichem Materialeinsatz hat darauf keine Auswirkungen und führt wegen des erhöhten Querschnitts-Flächenträgheitsmomentes lediglich zu eher unerwünschten Verschiebungen hin zu höheren Eigenkreisfrequenzen. Dies muss jedoch in Kauf genommen werden, wenn neben dem Optimierungsziel zur Erlangung guter akustischer Eigenschaften jenes zur Erlangung einer hohen Biegesteifigkeit hinzutritt und überwiegt.

Demgegenüber kommt es nur zu einer sehr geringen absorbierenden Wirkung durch Ausnutzung der Porosität des Papiers, bei der die Schallenergie hauptsächlich durch viskose Reibung zwischen den schwingenden Partikeln des Mediums, das den Schall ausbreitet, und dem Gerüst des porösen Materials in Wärmeenergie umgewandelt wird.

2. Faserkörper

Die Erzeugungsbedingungen werden durch die Entwässerungseigenschaften wesentlich beeinflusst. Gefordert wird eine schnelle und gleichmäßige Entwässerung. Entwässerungswiderstand und Faserrohstoffkombinationen haben Einfluss auf die Papierdichte. Ein kleiner Entwässerungswiderstand bedeutet geringe Dichte und große Harzaufnahme. Die Papierdichte bestimmt einerseits die Eigenfestigkeit des Papiers bzw. des Faserkörpers und andererseits die Harzpenetration und -aufnahme. Eine hohe Dichte bedingt eine hohe Papiereigenfestigkeit aber zugleich eine geringere Harzaufnahme. Die Flächenmasse des Papiers beeinflusst den Faserstoffbedarf, die Papiereigenfestigkeit und die Harzaufnahme. Hier muss zwischen Eigenschaften und Kosten optimiert werden.

3. Harze & Klebstoff

Die mechanischen, akustischen oder andere Eigenschaften eines Papier-Blech-Verbundes werden im Wesentlichen über die verwendeten Harze und Formulierungen bestimmt. Ein Harz mit einem hohen E-Modul ist sehr gut dazu geeignet, den Gesamtverbund zu stabilisieren, weist aber schlechtere viskose Eigenschaften auf. Im Gegenzug sind Harzsysteme mit einem niedrigen E-Modul schlecht zur Aussteifung des Verbundes geeignet, können bei darüber hinaus guten viskosen Eigenschaften die Akustik jedoch signifikant verbessern.

4. Faser-Bindemittel Demonstrator

Faserstoffbedarf und Harzaufnahme bestimmen wesentlich die Kosten und die Festigkeit des Imprägnats. Durch die Imprägnierung wird das Feuchtesorptionsverhalten nur marginal beeinflusst und führt zu Dimensionsproblemen am Verbund. Dies gilt ebenso für das thermische Abbauverhalten der Fasern nach der Imprägnierung. Die Kosten des Papiers und des Faserkörpers werden wesentlich durch den eingesetzten Faserstoff, den Energiebedarf zur Aufbereitung und den Additivbedarf festgelegt.

5. Blechhalbzeug

Das favorisierte Blechhalbzeug in Federstahlqualität konnte trotz der vielversprechenden Vorteile nicht in die Bearbeitungskette integriert werden. Grund waren große Abweichungen von der geforderten Form- und Maßhaltigkeit. Daher wurde ein alternatives Halbzeug in Form des tiefziehfähigen Werkstoffs (DC04) und mikrolegierte Halbzeuge (ZSTE) verwendet und zu Bauteilen umgeformt.

6. Gesamtverbund

Es konnte gezeigt werden, dass die Herstellung komplexer Formteile via Tiefziehen prinzipiell machbar ist, allerdings die konventionelle Zuschnittsermittlung der Halbzeuge angepasst werden muss. Ein Grenzfall in Bezug auf das Tiefziehen stellte die Faltenbildung und das Entstehen von Reißern dar. Die entsprechenden Prozessfenster bei Verwendung dieses Werkstoffverbunds werden in Richtung kleiner Niederhalterpressungen und speziell angepasster Halbzeugzuschnitte verschoben, aber nicht signifikant reduziert.

Schlussfolgerung Die Ergebnisse zeigen, dass eine mögliche Aufgabe des Papiers im Verbund, insbesondere als Leichtbau-Komponente, zu sehen ist. Auch eine funktionale Komponente durch gezielte Ausrüstung ist denkbar. Die Papierdicke bestimmte erwartungsgemäß die Eigenfestigkeit des Faserkörpers und die Harzaufnahme. Die Festigkeit des Papiers ist allerdings im Gesamtverbund irrelevant, da sie aufgrund der Imprägnierung und der vielfach größeren Festigkeit des Bleches kaum zum Tragen kommt. Faserstoffbedarf und Harzaufnahme beeinflussten Kosten und Festigkeit des Imprägnats wesentlich, wobei die Imprägnierung kaum Einfluss auf die Feuchtesorption zeigte. Dies resultierte in Dimensionsproblemen beim Verbund. Die Überwindung der mit der Feuchtesorption und der geringen thermischen Stabilität verbundenen Phänomene und Probleme ist für Anwendungen im Papier-Blech-Verbund essentiell notwendig. Ferner war die Umformbarkeit des Papiers beschränkt und kaum Luftschalldämpfung aufgrund Porosität des Papiers nachweisbar. Der thermische Abbau der Fasern wird durch Imprägnierung kaum beeinflusst.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF ZBR 362 der AiF-Forschungsvereinigungen PTS, DECHEMA und EFB wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papierindustrie, Chemischen Industrie, Automobilindustrie, Blechbearbeitenden- und verarbeitenden Industrie sowie dem Bereich Leichtbau für die Unterstützung der Arbeiten.

2 Abstract

Objective

The project aimed at developing a multi-functional composite for lightweight construction applications produced under cost-effective manufacturing conditions, the following functions in particular being fulfilled:

- Low weight with good vibration damping behaviour
- High product quality, tolerances, surface (design)
- Good drapability and draining capacity
- Mass reduction and energy savings
- Resistance to environmental influences
- Flameproofness
- Crash absorption
- Additional electrical functions
- Cost-effective manufacture

The following secondary objectives were pursued to achieve the project objective:

- Development of a suitable moulded fibre body
 - Development of suitable impregnation resins and adhesives
 - Development of suitable forming tools and processes
-

Results**1. Modelling**

Significant vibration damping can be achieved by applying viscoelastic resin materials to the sheet metal in the form of a very dense, flat coating of fibre material without stiffening. Providing the coating with a profile such as a knobby surface or the like using the same amount of resin material does not affect vibration damping. It is more likely to cause undesirable shifts to higher natural frequencies owing to the increased cross-sectional second moment of area. But this is the price to pay when the optimisation objective of achieving high bending stiffness outweighs that of achieving good acoustic properties.

By contrast, only very little absorbing effect is created by utilising the porosity of the paper. The sound energy is converted into thermal energy by viscous friction between the vibrating particles of the medium that propagates the sound and the structure of the porous material.

2. Fibre body

Production conditions are significantly affected by the dewatering properties. What is needed is rapid and uniform dewatering. Dewatering resistance and the combinations of fibrous raw materials have an impact on paper consistency. Low dewatering resistance means low consistency and high resin absorption. Paper consistency determines the inherent strength of the paper and fibre body on the one hand and resin penetration and absorption on the other hand. High consistency requires high inherent paper strength, but low resin absorption. Paper grammage influences the pulp requirements, the inherent paper strength and resin absorption. In this case, optimisation must be achieved between properties on the one hand and costs on the other.

3. Resins & adhesives

The mechanical, acoustical and other properties of a paper/sheet metal composite are determined first and foremost by the resins and formulations used. A resin with a high modulus of elasticity is particularly well suited to stabilise the entire composite, although it has poorer viscous properties. At the same time, resin systems with a low modulus of elasticity are ill suited to stiffen the composite, although their otherwise good viscous properties can improve the acoustics significantly.

4. Fibre-binder demonstrator

Pulp requirements and resin absorption largely determine the costs and strength of the impregnated paper. Impregnation only marginally affects the sorption behaviour and results in dimension problems of the composite. This also applies to the heat degradation behaviour of the fibres after impregnation. The costs of the paper and the fibre body are determined mainly by the pulp used, the energy requirements for processing and the additive requirements.

5. Sheet metal semi-finished parts

Despite the promising advantages, the favoured semi-finished sheet metal with spring steel quality could not be integrated into the processing chain due to the considerable deviations from the required geometrical and dimensional accuracy. An alternative semi-finished part in the shape of the material with good deep-drawing properties (DC04) and micro-alloyed semi-finished parts (ZStE)

was thus used and reshaped to form the structural members.

6. Entire composite

It was able to be shown in the entire composite that the manufacture of parts with complex shapes by means of deep drawing is feasible, at least in principle, although the conventional determination of cuts in the semi-finished products will have to be adapted. The creation of folds and tearing constituted a borderline case with respect to deep drawing. When this composite material is used, the corresponding process windows are shifted in the direction of smaller blank holder pressures and especially adapted cuts of the semi-finished parts, but not reduced significantly.

Conclusions

The results show that one possible function of the paper in the composite is to be seen in particular as the light-weight component. Producing a functional component by means of selective finishing is also feasible. As one might expect, the paper consistency determines the inherent strength of the fibre body and resin absorption. High consistency means high inherent paper strength as well as lower resin absorption. The strength of the paper in the entire composite is irrelevant, however, since it hardly makes itself apparent due to the impregnation and the much higher strength of the sheet metal.

Pulp requirements and resin absorption affect the costs and strength of the impregnated paper significantly, although impregnation has hardly any impact on sorption. This leads to problems with the dimensions of the composite. It is absolutely necessary for applications with the paper/sheet metal composite to overcome the phenomena and problems associated with sorption and low thermal stability. In addition, the workability of the paper was limited, and airborne-noise reduction was barely detectable owing to the porosity of the paper. The heat degradation of the fibres is hardly affected by impregnation.

Acknowledgements

Research project IGF ZBR 362 of the AiF Research Associations, PTS, DECHEMA and EFB, was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology through the German Federation of Industrial Cooperative Research Associations (AiF) within the scope of the "Industrial Co-operative Research" (IGF) promotion programme based on a decision of the Lower House of German Parliament (Bundestag). We would like to express our gratitude for this support.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

We would also like to express our appreciation to the participating companies in the paper and chemical industries, the automotive construction industry, the sheet metal processing and manufacturing industries, as well as the light-weight construction sector for their support during the project.

3 Einleitung

3.1 Anlass für den Forschungsantrag

Vorversuche Im Vorfeld des Projektes wurden Testversuche zur Erzeugung dünnwandiger, hochfester Bleche für den Fahrzeugbau an der TUD durchgeführt. Die Bleche zeigten ein schlechtes Schwingungsverhalten bei geringer akustischer Dämpfung, was durch Aufkleben von willkürlich ausgewählten Papierstrukturen deutlich verbessert werden konnte.

Die Testversuche konnten die Machbarkeit eines Papier-Blech-Verbundes grundsätzlich bestätigen und ließen eine deutliche Verbesserung der mechanischen und akustischen Eigenschaften dünnwandiger Bleche erwarten.

3.2 Faserverbundwerkstoffe

Definition Als Faserverbundwerkstoff wird ein System aus bettender Matrix und verstärkenden Fasern verstanden. Durch Einsatz verschiedener Komponenten sollen deren spezifische Vorteile vereint und höherwertige Funktionen erzeugt werden. Grundgedanke ist die Arbeitsteilung im Verbund und das Erreichen einer besseren bzw. erweiterten Funktionalität sowie signifikante Material-, Energie- und Kosteneinsparungen. Die Stärke ergibt sich aus der hohen Festigkeit und Steifigkeit bei gutem Dämpfungsverhalten und geringem Gewicht.

Faserverbundtypen Faserverbunde aus Kunst- und/oder Naturfasern für den Einsatz im Leichtbau sind bekannt. Zu nennen sind beispielsweise der Faser-Kunststoff-Verbund, glasfaserverstärkter Kunststoff, keramischer Faserverbundwerkstoff, kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff oder naturfaserverstärkter Kunststoff. Die Auswahl erfolgt sowohl aus konstruktiven als auch aus Kostengründen.

Cellulosische Verbunde

Ein aus cellulosischen Fasern aufgebauter Verbund nutzt die materialspezifischen Vorteile einer einheitlichen Struktur mit armierender, verstärkender Wirkung und geringem Gewicht. Ferner bietet er, verglichen zu petrochemisch basierten Faserkörpern, ökologische Vorteile, wie beispielsweise die Reduktion des CO₂-Footprints. Für Faserverbunde mit speziellen Anforderungen werden entsprechende Fasermaterialien eingesetzt, wobei durch Zugabe von Additiven zur Faserstoffsuspension spezielle Eigenschaften, wie Hydrophobie, Trocken- und Nassfestigkeit erzeugt werden.

Faserguss

Der Faserguss wird zur Erzeugung von 3-D Formkörpern angewendet. Er kommt in großem Umfang bei der Herstellung von Verpackungsmaterialien (z.B. Eierkartons) aber auch für spezielle Anwendungen, wie Lautsprechermembranen zum Einsatz. Während für Verpackungen meist Altpapierfaserstoffe Verwendung finden, werden für Spezialprodukte auch höherwertige Fasermaterialien eingesetzt. Durch eine Auslegung des Fasergussprozesses kann eine ungleichmäßige Faserverteilung erreicht werden, um belastete Bereiche zu verstärken und in wenig belasteten Bereichen Gewicht einzusparen.

3.3 Gestaltung von multifunktionalen Papier-Blech-Verbunden

Anforderungen an Verbundeigenschaften

Stoffliche und physikalische Eigenschaften von Metall und Faserkörper sind sehr unterschiedlich, so dass die Verbindung zwischen diesen beiden Bauteil-Komponenten, das Interface, einen Schwachpunkt dieses Gesamtverbundes darstellt. Das erfordert spezifisch angepasste Klebstoffe. Ebenso muss jedes der beiden Verbundmaterialien selbst diesen Anforderungen gewachsen sein. Insbesondere die cellulosische Struktur ist in der Regel mechanisch zu verfestigen, was durch die Imprägnierung mit einem Reaktivharz erreicht werden kann. Dadurch erhöht sich die thermische Beständigkeit bei gleichzeitiger Verringerung der Feuchtesensibilität. Das Fasergussverfahren ermöglicht hierbei eine größere Gestaltungsfreiheit bei der Geometrie des Faserkörpers. Um die vorgesehenen Verbundmaterialien für Praxisanwendungen einsetzen zu können, ist den erforderlichen Umformprozessen Rechnung zu tragen.

Zu erzeugender Verbund

Es war vorgesehen, den Verbund so zu konzipieren, dass unterschiedliche Eigenschaften, analog einem Baukastensystem, kombinierbar sind, wodurch je nach Anwendung eine kostengünstige Lösung sichergestellt werden kann. Auf ein dünnes, hochfestes Stahlblech sollte über eine Leimfuge/Klebstoffschicht der Faserwerkstoff aufgeklebt werden. Als elektrische Zusatzfunktion war das Einbringen von flächigen Leiterbahnen entlang der Blech-Papier-Klebfläche und/oder auf der Oberfläche einer Papierstruktur angedacht.

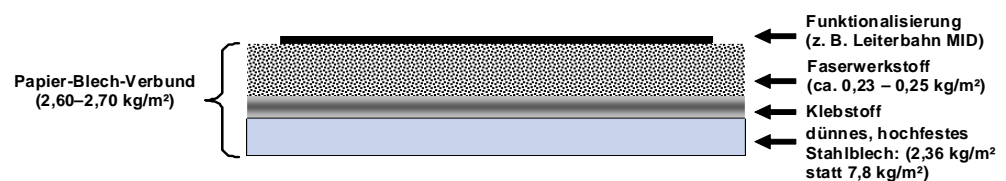


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung des angestrebten Papier-Blech-Verbundes.

3.4 Einsatz von Simulationen zur Vorhersage von Funktionalitäten

Modellbasierter Entwurf Eine effektive Gestaltung bzw. Verbesserung des Verbundaufbaus ist mit Hilfe von Simulationswerkzeugen möglich. Solche Werkzeuge können maßgeblich dazu beitragen, die Eigenschaften neuer Verbunde abzuschätzen und zu vergleichen. Geeignete Verbunde können dann mit verringertem Aufwand verifiziert werden.

Einsatz von FEM-Modellen zur Simulation akustischer Eigenschaften Mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM) können numerische Berechnungen für komplexe Systeme durchgeführt werden, wenn geschlossene analytische Verfahren nicht einsetzbar sind. Ausgehend von Materialeigenschaften der Fasernetzwerkstrukturen kann das akustische Verhalten beurteilt und Mehrschichtstrukturen bewertet werden.

4 Versuchsdurchführung

Lösungsweg

Die Projektpartner stellten in Kooperation Materialmuster für geeignete Papier-Blech-Verbunde bereit. Anschließend erfolgte ein Funktionstest zum Nachweis der Funktionalitäten. Mit Hilfe eines modellbasierten Entwurfs wurden die Eigenschaften des Verbundes iterativ verbessert.

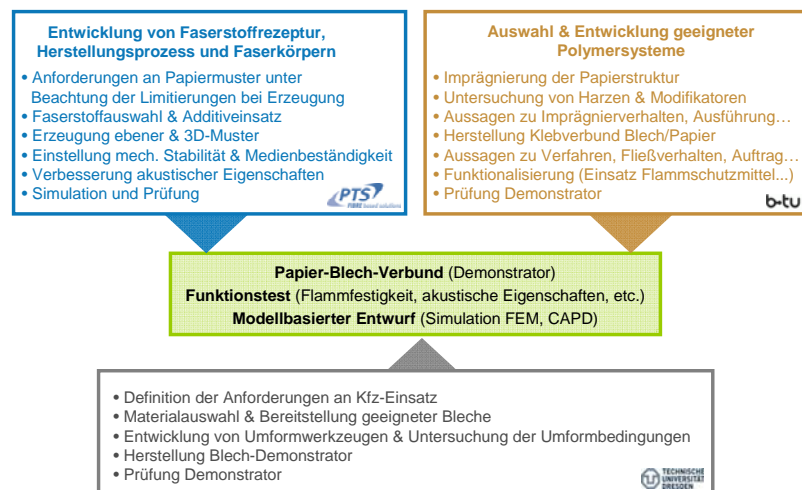


Abb. 2: Schema zum Lösungsweg.

Entwicklungsphasen

Zur Erarbeitung der relevanten Blech-, Faserwerkstoff- und Harzparameter sowie Prozesseinstellungen wurden 4 Entwicklungsphasen durchlaufen:

Phase 1: (Konzeptplanung) Festlegung der Spezifikationen für den Verbund

Phase 2: (Exp. Arbeiten): Erzeugung Faser- und Blechmaterialmuster

Phase 3: (Exp. Arbeiten) Entwicklung und Funktionstests (Gesamtverbund)

Phase 4: Optimierung Gesamtverbund

Phase 1

Konzeptplanung

In Abstimmung mit den Industriepartnern wurden die Zielkriterien für den Verbund überprüft und unter Berücksichtigung derzeitig auftretender Probleme, insbesondere bei der Blechumformung, präzisiert und gewichtet. Im Anschluss wurden Analysen zur Wirkungsweise der Dämpfungseigenschaften, die durch das Papier erzielt werden können, durchgeführt und bewertet. Dabei sind zwei grundsätzliche Optimierungsziele aufgezeigt worden:

- Wirkung der Papierbeschichtung als poröser Absorber
- Wirkung der Papierbeschichtung als viskoelastischer Dämpfer

Phase 2

Entwicklung 3D-Faserformkörper

Im Ergebnis einer Formanalyse wurde eine Noppenwabe als 3D-Faserformkörper entwickelt und im Fasergussverfahren gefertigt. Bei der Auswahl und Aufbereitung der Faserstoffe im PTS-Technikum wurden die Kombinationen getestet, die Kompromisse hinsichtlich Entwässerungsfähigkeit, Festigkeit und dem zu erwartenden Harzbedarf im Imprägnierschritt darstellten.

Entwicklung eines Bindemittels sowie eines Klebstoffs

Die Auswahl und Entwicklung geeigneter Bindemittel und Klebstoffe in Bezug auf die spezifischen Eigenschaften der Blechwerkstoffe wurden betrachtet. Im Besonderen galt es darauf zu achten, die beiden Werkstoffe sowohl für den Herstellungsprozess als auch für die daraus resultierenden Bauteileigenschaften aufeinander abzustimmen. Dies erforderte eine sequentielle Vorgehensweise in Kombination mit entsprechenden korrigierenden Iterationen.

Bereitstellung des Faser-Bindemittel-Systems

Auf Grundlage der vorhergehenden Arbeiten wurden geeignete Werkstoffkombinationen bestehend aus Papier, Fasergusskörper und Bindemittel erzeugt und ihre Eigenschaften untersucht.

Bereitstellung Materialmuster Blech

Es sollten sowohl Bleche im Anlieferungszustand (Halbzeug, ebenes Blech) als auch tiefgezogene Bauteile bereitgestellt werden. Über die ursprünglich vorgesehenen Federstahlqualitäten wurde ferner eine Erprobung der Werkstoffe ZE1100, DC04 und ZE850 durchgeführt, wobei der DC04 zielführend im Sinne der Herstellung eines Gesamtverbundes genutzt werden konnte.

Phase 3

Entwicklung Materialmuster Gesamtverbund

Auf Grundlage der vorhergehenden Arbeiten wurden geeignete Werkstoffkombinationen bestehend aus Papier, Fasergusskörper, Bindemittel, Klebstoff und Blech ausgewählt und zu einem Gesamtverbund zusammengeführt. Die so erhaltenen Probekörper wurden auf akustisches Verhalten, mechanische Eigenschaften sowie Brandverhalten untersucht und spezifische Kennwerte ermittelt.

Funktionstest Materialmuster

Die gefertigten Bauteil- und Halbzeugmuster wurden einer funktionalen Prüfung bzgl. der erzielten Eigenschaften unterzogen. Im Sinne einer Qualitätsbeurteilung wurde hierzu der 3-Punkt-Biegeversuch durchgeführt, der Auskunft über die erzielbaren Steifigkeiten des Gesamtverbunds ermöglicht.

Empfehlungen für verbesserte Verbund-Eigenschaften

Entsprechend den in DIN EN ISO 6721-3 empfohlenen Randbedingungen für Versuchsanordnungen zur Untersuchung der Schwingungsdämpfung von flächigen Werkstoff- bzw. Halbzeugproben wurde ein, hinsichtlich geometrischer Eigenschaften und der Materialeigenschaften detailliertes parametrisiertes numerisches Modell aufgebaut, das im Rahmen der FEM für Geometrie- und Materialvariationen zur Berechnung von Verlustfaktoren angewendet wurde.

Phase 4

Optimierung Faserformkörper

Bei der Optimierung des Faserformkörpers erfolgte eine Anpassung der Faserstoff-Additiv-Rezeptur. Diese wurde so optimiert, dass Mahlung und Porosität sowohl der geforderten Entwässerungsgeschwindigkeit als auch der Harzaufnahme gerecht wurden. Der Faserkörper wurde nassfest ausgerüstet. Durch Zugabe einer Paraffindispersion konnte die Ausformung nach Trocknung verbessert und eine akzeptable Benetzung durch die Harze gewährleistet werden.

Optimierung von Bindemittel und Klebstoff

Aufbauend auf den erhaltenen Ergebnissen wurden neue Harzformulierungen für das Bindemittelsystem erarbeitet, um die Stabilität des Gesamtverbundes und die akustische Dämpfung zu verbessern.

Optimierung Blech

Es erfolgte eine iterative Anpassung des Blechhalbzeugs mit Bezug auf die Anforderungen seitens des Gesamtverbunds. Dabei stand die Herstellung eines Blechformteils auf Basis eines Halbzeugs mit partiell bzw. vollständig aufgebracht dünner Papierstruktur im Fokus der Arbeit.

5 Ausgewählte Ergebnisse

5.1 Kriterien für den Gesamtverbund

Zielkriterien für den Verbund

In enger Abstimmung mit den Industriepartnern wurden die vormals formulierten Zielkriterien für den Verbund überprüft und unter Berücksichtigung derzeitig auftretender Probleme, insbesondere bei der Blechumformung, präzisiert und gewichtet. Dabei erwiesen sich die Zielkriterien

- Biegesteifigkeit, Umformbarkeit
- Schalldämpfungs-/Schwingungsverhalten

in diesem Stadium der Entwicklung für die grundsätzliche Festlegung des Verbundaufbaus als richtungsweisend.

Zielkriterien Schalldämpfungs- und Schwingungsverhalten

Die formulierten Teilergebnisse und Anforderungen wurden zusammengefasst. Daraus wurden verschiedene Aufbauvarianten entwickelt und mit Unterstützung physikalischer Modelle diskutiert, wobei in jeder Variante nicht alle einzelnen Anforderungen (gute Umformbarkeit, geringes Gewicht, gute Schalldämpfung, hohe Festigkeit) voll erfüllt werden konnten. Vielmehr müssen Kompromisslösungen gefunden werden.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass unter Berücksichtigung aller anderen Zielkriterien, die Ausnutzung der porösen Eigenschaften des Papiers hinsichtlich der Erzielung guter akustischer Dämpfungseigenschaften für den Verbund nicht weiter verfolgt werden sollte. Der hierbei entstehende Verbundaufbau kann zudem nicht mehr der Werkstoff- bzw. Halbzeugentwicklung zugeordnet werden, sondern müsste stark am jeweiligen Einsatzbereich orientiert – vorzugsweise zur Schallabsorption fremder Schallquellen – konstruktiv ausgelegt werden.

Die Ergebnisse wiesen darauf hin, die Leimschicht, die Faserstoff-Additiv-Rezeptur, ein Bindemittel und eine Harz-Imprägnierung so zu entwickeln, dass ein Verbund mit stark viskoelastischen Eigenschaften und möglichst hohen viskosen inneren Reibungsverlusten von Stoffpartikeln untereinander entsteht, der damit seine Schallemissionseigenschaften vermindert.

Die als technologisch günstiger einzustufende Noppenstruktur gewährleistet wegen eines vergleichsweise hohen Flächenträgheitsmomentes eine steifere

Ausprägung des Verbundes. Damit verbunden sind allerdings höhere Eigenkreisfrequenzen und Abklingzeiten, was sich für das akustische Verhalten nachteilig auswirken kann.

5.2 Empfehlungen für die Eigenschaften des Faserkörpers

Vergleich der Wirksamkeiten poröser Absorber kontra viskoelastischer Dämpfer

In Vorbereitung zu Modellentwicklungen zur Simulation des akustischen Verhaltens des Verbundes wurden Analysen zur Wirkungsweise der Dämpfungseigenschaften, die durch das Papier erzielt werden können, durchgeführt. Dabei sind zwei grundsätzliche Optimierungsziele aufgezeigt worden, die aus technologischen Gründen nicht beide gleichzeitig verfolgt werden können. Das ist zum einen die Ausnutzung der Porosität des Papiers, die zu filigranen Aufbauten mit großer Dicke führt, zum anderen die Schaffung einer eher homogenen Beschichtung mit stark viskoelastischen Eigenschaften. Um hier zu einem effizienten Modellierungsansatz zu gelangen, wurden die Intensität der Wirkung beider möglichen Ziele verglichen, die Erkenntnisse durch die Simulation an einem Fasernetzwerk-Mikrostruktur-Modell und durch Versuche belegt und in Absprache mit den Partnern ein Entwicklungsweg vorgeschlagen.

Wirkung der Papierbeschichtung als poröser Absorber

Bei porösen schallmindernden Stoffen wird die Schallenergie hauptsächlich durch viskose Reibung zwischen den schwingenden Partikeln des Mediums, das den Schall ausbreitet und dem Gerüst des porösen Materials in Wärmeenergie umgewandelt. Simulationen an der Mikrostruktur von Papieren mit unterschiedlichen Faserlängen prognostizieren dahingehend einen außerordentlich geringen Absorptionskoeffizienten. Bei Papierdicken von 0,1mm überschreitet das Absorptionsvermögen nicht das der Umgebungsluft, sodass Tendenzen bei Modifikationen der Fasermorphologie nicht auswertbar sind. Die in der Simulation untersuchten Papiere wurden zusätzlich experimentell am Kundtschen Rohr auf absorbierende Wirkung durch Ausnutzung deren Porosität untersucht, um Einflüsse von Modellungenauigkeiten zu erkennen. Die außerordentlich geringen Absorptionskoeffizienten wurden bestätigt.

Wirkung des Papiers als viskoelastischer Dämpfer

Bei homogenen, schallmindernden Stoffen erfolgt die Umwandlung von Schallenergie in Wärme durch Deformation eines Materials mit stark viskoelastischen Eigenschaften bzw. durch viskose innere Reibung von Stoffpartikeln untereinander, d. h. sogenannten inneren Verlusten. Im Zusammenhang mit Blech-Papier-Verbunden ist eine dahingehende Optimierung des akustischen Verhaltens anzustreben.

5.3 Entwicklung 3D-Faserformkörper

Faserformkörperentwicklung

Hinsichtlich der Rezepturvariation erwies sich eine Mischung aus 50 % gebleichtem Nadelholz-Kraftzellstoff und 50 % gebleichtem Eukalyptuszellstoff als am besten geeignet, nachdem diese Faserstoffe der Gemischtmahlung mit einem spezifischen Energieeintrag von 100 kWh/t unterzogen und mittels Epichlorhydrin-Nassfestharz nassfest ausgerüstet wurden. Dabei erwies sich als Flächenmasse 100 g/m² für Zwischen- und Abdeckpapiere als zweckmäßig. Die Entwicklung erfolgte iterativ, indem die erzeugten Papiere und Faserkörper im Imprägnierschritt und danach im Verbund mit dem Blech ausgetestet wurden.

Verbundkomponenten



Abb. 3: Beispielhafte Darstellung der Verbundmaterialien: Fasergusskörper (weiß, Noppenwabe), Imprägnierpapier (braun) und Blech (schwarz).

5.4 Entwicklung eines Bindemittels sowie eines Klebstoffs

Entwicklungen

Es konnten drei Systeme für einen weiteren Einsatz zur Herstellung von Funktionsmustern identifiziert werden. Zu Beginn wurde ein System auf Basis eines Phenolharzes, welches gutes Brandverhalten und hohe Steifigkeit aufweist, aber relativ spröde ist, untersucht. Des Weiteren wurde ein Material auf Basis eines Epoxides mit aminischem Härter ausgewählt. Das Harz weist einen eher geringen Biegemodul auf und ist aus diesem Grund eher flexibel, d.h. es zeigt eine relativ hohe Verformung. Die Brandeigenschaften sind jedoch, wie für Epoxide üblich, schlechter als für Phenolharze. Das dritte System war eine Cyanatesterbasierte Harzformulierung, die einen Kompromiss aus den verschiedenen Eigenschaften darstellte.

Bei der Entwicklung der Klebstoffe wurden verschiedene Epoxide auf die resultierende Scherfestigkeit hin untersucht. Anschließend wurden der aussichtsreichsten Formulierung verschiedene Schlagzähmodifikatoren wie z. B. CTBNx13, ein flüssiger NBR-Kautschuk und Genioperl P52 zugegeben. Eine weitere, deutliche Verbesserung der resultierenden Eigenschaften konnte durch den Einsatz eines aminischen Härters erreicht werden.

Aus den Untersuchungen ergab sich eine Kombination von DGEBA und einem aminterminierten Polypropylenglycol (Jeffamine 230®, Huntsman) mit einem Schlagzähmodifikator (Genioperl® P52, Wacker) und einer Pyrogenen Kieselsäure (HDK® H2000, Wacker) als Thixotropierungsmittel.

5.5 Bereitstellung des Faser-Bindemittel-Systems

Faser-Bindemittel-System

Die entwickelten Bindemittelsysteme wurden mit durch PTS gelieferten Papieren (siehe Tabelle) kombiniert.

Muster-Nr.	1	21/22	23/24	25/26
Faserstoff	50 % LF 50 % BCTMP	50 % KF 50 % LF	50 % KF 50 % LF	50 % Linters 50 % LF
nassfest ausgerüstet	ja	ja	ja	ja
Ziel mA [g/m ²]	150/300	100/200	100/200	100/200
Mahlung [kWh/t]	SR 22	50	100	Gemischtmahlung, ~ 23 - 25 SR

Tabelle 1: Durch PTS bereitgestellte Papiervarianten.

Im 3-Punkt-Biegeversuch wurden die erhaltenen Faser-Matrix-Systeme auf ihre Biegesteifigkeit und maximale Biegedehnung hin untersucht. Es wurden verschiedene Bindemittel-Faser-Kombinationen erfolgreich zu mehrlagigen Laminaten verarbeitet. Im 3-Punkt-Biegeversuch zeigte sich, dass nicht alle Materialien für diese Art von Verbund geeignet sind. Trotz wiederholter Versuche konnten

die Papiere mit höherem Flächengewicht nicht immer zu homogenen, mehrschichtigen Laminaten verarbeitet werden.

Die Papiere 1 & 21 zeigten hier die beste Kombination aus Biegemodul und -dehnung. Aus diesen Papieren und den entwickelten Bindemittelsystemen wurden vier Varianten für die Herstellung der Materialmuster ausgewählt. Zusätzlich wurde eine weitere Variante mit einem Papier einer Papierfabrik gewählt, um die Übertragbarkeit auf bestehende Materialien zu untersuchen.

5.6 Bereitstellung Materialmuster Blech

Blechmuster Es konnten die fertigungstechnischen Parameter für das Tiefziehen dünner hochfester Blechwerkstoffe ermittelt werden. Die umformtechnische Verarbeitung von Federstählen (PT140, PT120) mit den Blechdicken 0,25 sowie 0,3 mm war allerdings mit deutlichen Schwierigkeiten verbunden. Es konnte gezeigt werden, dass der Tiefziehprozess von hochfesten Blechen stufenweise erfolgen muss. D.h. neben einem Entlastungsschritt (mehrstufiges Tiefziehen) war auch eine vorgeschaltete Wärmebehandlung bei 350°C sowie 600°C erforderlich, um ein maßhaltiges rechteckiges Bauteil zu erhalten. Andernfalls war eine versagensfreie Fertigung der Bauteile nicht möglich.

Als alternative Fertigungsroute wurde ein Tiefziehstahl der Güte DC04 mit einer Blechstärke von 0,2 mm bzw. 0,3 mm verwendet, um diese Effekte in Bezug auf die Form- und Maßhaltigkeit zu vermeiden. Die hierbei erzielten Ergebnisse waren vielversprechend.

5.7 Entwicklung Materialmuster Gesamtverbund

Erntwicklung des Gesamtverbundes Mit den entwickelten Faser-Matrix-Systemen und den ausgewählten Blechen wurden Herstellprozesse für den Gesamtverbund entwickelt. Es konnten die verschiedenen Bindemittel-Fasermaterial-Kombinationen erfolgreich zu Sandwich-Strukturen, bestehend aus zwei Decklagen aus imprägniertem Papier und einer Kernstruktur aus imprägniertem Fasergussmaterial, hergestellt werden. Der Einsatz des entwickelten Klebstoffsystems war hierfür in keinem Fall nötig. Die Sandwich-Strukturen wurden in einem zweiten Schritt erfolgreich mit den gelieferten Blechen zu einem Papier-Blech-Verbund verklebt und die benötigten Probekörper hergestellt.

5.8 Funktionstests

Funktionstests Die Materialmuster wurden mittels Cone Kalorimeter, 3-Punkt-Biegung sowie hinsichtlich Schwingungsverhalten und Klimastabilität untersucht.

5.9 Empfehlungen für verbesserte Verbundeigenschaften

Schichtaufbau mit hohem Verlustfaktor Es wurden für einen Referenz-Schichtenaufbau (Blech – Kleber – ebene Lage – Noppen – Decklage) Simulationen zur Ermittlung der Abklingzeit, des Verlustfaktors und der Untersuchung der Materialbeanspruchung durchgeführt.

Dies erfolgte an den folgenden drei, hinsichtlich Geometrie stark unterschiedli-

chen, Variationen (V):

1. Erhöhung des Flächenträgheitsmomentes durch Verdickung von Noppen und Decklage
2. Erhöhung der inneren Schubdeformationen durch Ersatz der einzelnen Noppenschicht durch zwei gegeneinander versetzte Noppenschichten mit weiterer ebener Zwischenlage
3. Verringerung des Flächenträgheitsmomentes durch Wahl eines noppens-freien Schichtenaufbaus Blech – Kleber – dicke ebene Lage, bei ver-gleichbarem flächenbezogenen Materialeinsatz

Dabei ergab sich bei V1 eine geringfügige Verringerung der Abklingzeit und bei V2 die insgesamt stärkste Verringerung der Abklingzeit von ca. -8% gegenüber dem Referenz-Schichtenaufbau, bei jeweils ähnlichen Eigenfrequenzen und wenig bis mäßig unterschiedlichen, teils geringeren, Verlustfaktoren.

Bei 3 ergab sich gegenüber dem Referenz-Schichtenaufbau, bei deutlich kleinerer Eigenfrequenz, ein etwa doppelt so großer Verlustfaktor, bei allerdings vergrößerter Abklingzeit. Dennoch gewährleistete letztere Variante, also die ausschließlich ebene Beschichtung, damit die effektivste Dämpfungswirkung bezogen auf die Eigenfrequenz. Tritt jedoch z. B. eine hohe Biegesteifigkeit als zweites Optimierungsziel neben guter Dämpfungswirkung hinzu, konnten mehrere Noppenschichten, entsprechend Variation 2 die beste Wirkung erzielen.

Die Geometrievariation 3 wurde, neben der bei dieser Variation verwendeten Werkstoffvariante Papier-Harz, für folgende zwei weitere Werkstoffvarianten ausgewertet:

4. Unbehandeltes Papier
5. Papier-Holzöl-modifiziertes Phenol-Formaldehyd-Harz

Der Verlustfaktor war beim unbehandelten Papier in Variante 4 um den Faktor 3 besser als beim Papier-Harz in Variante 3. Das Holzöl-Harz in Variante 5 verschlechterte diesen gegenüber dem unbehandelten Papier nur geringfügig, sodass letztere als die insgesamt beste Variante herausgestellt werden konnte.

5.10 Optimierung Faserformkörper

Optimierungs-potenziale

Um eine finale Optimierung vorzunehmen war es notwendig, erneut die Aufbereitungsschritte für den Faserstoff zu durchlaufen, um Papiere und Faserformkörper zu erzeugen. Jetzt kam es allerdings darauf an, Methoden zu entwickeln, die es erlauben, die Faserstoff-, Papier- und Faserguseigenschaften gezielt einzustellen. Folgende Eigenschaften wurden dabei betrachtet:

Harzaufnahme: Die mögliche Harzaufnahme eines Papiers ist von seiner Porosität und scheinbaren Dichte abhängig. Höhere Dichte bedeutete weniger Harzaufnahme.

Entwässerungswiderstand: Der Entwässerungswiderstand sagt aus, wie schnell eine Faserstoffsuspension entwässern kann. Er steht im direkten Verhältnis zur Papierdichte.

Feuchteaufnahme: Um die Anisotropie der Eigenschaften zu prüfen, wurden

die mit verschiedenen Harzen imprägnierten Muster einem Klimawechselzyklus unterworfen und die Feuchteaufnahme ermittelt. Leider machten die Verhältnisse deutlich, dass auch die mit Harz imprägnierten Muster fast ungehindert Feuchte aufnehmen können und quellen. Dabei waren die beobachteten Unterschiede zwischen verschiedenen Harzen marginal.

Thermische Stabilität: Ein weiterer Hinderungsgrund für die vorgesehenen Anwendungen kann die geringe thermische Stabilität der cellulosischen Fasern in den Imprägnaten sein. Bis etwa 200°C wird das Gleichgewichtswasser aus den Fasern durch Verdampfen entfernt. Hier beginnt aber auch bereits die Niedrigtemperatur-Pyrolyse der Cellulose. Ab 300°C setzt dann auch die Pyrolyse des Harzes ein. Beim Erreichen von 500°C ist das gesamte Material verbrannt und mineralisiert. Da diese Temperaturen bereits beim Lackieren auftreten, sind derartige Lamine bereits hier gefährdet.

Fazit

Die Überwindung der mit Feuchtesorption und geringer thermischer Stabilität verbundenen Probleme ist für die Verbundanwendungen im Papier-Blech-Verbund essentiell notwendig.

5.11 Optimierung von Bindemittel und Klebstoff

Optimierungen

Aus den Erfahrungen in den vorangehenden Arbeitspaketen war erkennbar, dass ein einzelnes Harzsystem den Anforderungen an den Gesamtverbund nicht gerecht wird. Aus diesem Grunde wurden zwei, für diese grundsätzlich unterschiedlichen Eigenschaften optimierte Harzsysteme entwickelt, beide auf Basis von Phenol-Formaldehydharz.

Das für die Decklage des Faserstoff-Bindemittel-Systems entwickelte Kunstharz war ein zähmodifiziertes, flammfest ausgerüstetes Phenol-Formaldehydharz, das einen möglichst hohen Biege-Modul und eine ausreichend große Dehnung aufweisen muss, um auch großen, auf die Oberfläche wirkenden Kräften widerstehen zu können. Zugleich muss das Harz sehr schwer entflammbar sein und zusätzlich die Fasern vor den Flammen schützen.

Das Kernmaterial sollte so flexibel wie möglich sein, also eine hohe Dehnung sowie einen geringeren Biege-Modul aufweisen als das Decklagen-Harzsystem. Gleichzeitig dürfen die Schubmoduli aber nicht so gering sein, dass die in Bezug auf die Biegesteifigkeit des Gesamtverbundes positive Auswirkung der Decklagen aufgehoben wird. Für diesen Zweck ist es möglich, das an sich sehr steife und brüchige Harz mittels Holzöl zu modifizieren. Der Vernetzungsgrad des Harzes wird so weit abgesenkt, dass sich fast thermoplastische Eigenschaften ergeben, die positiven Eigenschaften eines Duromers aber weitgehend erhalten bleiben.

Das zuvor entwickelte Klebstoffsystem wurde nicht weiter optimiert, da eine ausreichend große Zugscherfestigkeit bei ausreichend großer Flexibilität bereits erreicht werden konnte.

5.12 Optimierung Blech

Optimierungen

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein exemplarisches Ergebnis der tiefgezoge-

nen Bauteile auf Basis des Blechhalbzeugs DC04 mit einer Ausgangsblechdicke $s_0 = 0,3\text{mm}$.



Abb. 4: Tiefgezogenes, im Vorfeld mit imprägniertem Papier versehenes Blechbauteil.

Die Beschädigung der Papierstruktur in Form von Reißen ist deutlich zu erkennen. Hintergrund hierfür ist unter anderem die prozesstypische Oberflächenvergrößerung während des Blechumformvorgangs. Dieser Effekt ist allerdings beherrschbar, sofern die Klebschicht eine entsprechende Nachgiebigkeit aufweist. Des Weiteren kann der Stofffluss des Blechhalbzeugs bzw. des Verbundes beim Umformen durch eine Anpassung des Niederhalterkraftverlaufs gezielt beeinflusst werden.

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeit Das nachfolgende Beispiel soll das Potenzial einer wirtschaftlichen Nutzung des Verbunds in Bezug auf andere Werkstoffverbünde verdeutlichen. Die angegebenen Preise für die Halbzeuge sind Momentaufnahmen und von der abzunehmenden Menge abhängig. Die Größenordnungen sind realistisch, sodass eine vergleichende Betrachtung grundsätzlich durchführbar ist. Des Weiteren sind nicht sämtliche am Markt verfügbaren Halbzeuge für eine umformende Weiterverarbeitung geeignet, da beispielsweise eine Biegebeanspruchung im plastischen Bereich mit dem Versagen der Deckschichten einhergehen würde.

	BON-DAL®	FERRO-PLAST®	Fo-lastal®	Papier-Blech Verbund
Blechdicke [mm]	1,25	0,8	2	0,2
Flächenmasse [kg/m ²]	9,81	6,28	15,7	1,57
Gesamtpreis [€/m ²]	8,5	10	6	5

Tabelle 2: Gegenüberstellung des Papier-Blech-Verbundes mit anderen am Markt befindlichen Systemen anhand ausgewählter Parameter.

Der Vergleich mit anderen bereits auf dem Markt befindlichen Werkstoffen zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen die Vorteile des neuartigen

Papier-Blech-Verbundes, insbesondere in der geringen Blechdicke, der niedrigeren Flächenmasse und einem geringeren Gesamtpreis/m² liegen. Die hier getätigten Angaben bzgl. einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beziehen sich auf die Halbzeugherstellung, da davon ausgegangen wird, dass die umformtechnische Weiterverarbeitung zwar mittels adaptierter aber im Wesentlichen konventioneller Prozesstechnologie erfolgen wird.

7 Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen

Die entwickelten Materialmuster zeigen, dass ein multifunktionaler Verbundwerkstoff für Leichtbauanwendungen unter Nutzung geeigneten Faserformkörper, Imprägnierharze, Klebstoffe und Umformwerkzeuge herstellbar ist und Funktionalitäten gezielt einstell- und erreichbar sind.

Funktionalitäten und Nachteile der Papierkomponente

Der Papierkörper kann als Leichtbau-Komponente eingesetzt werden, da die Dichte von imprägnierfähigem Papier in weitem Bereich einstellbar ist. Des Weiteren kann gezielt Funktionalität über die Papierkomponente eingebracht werden, beispielsweise durch nassfeste-, flammhemmende- oder flammfeste Ausrüstung sowie Verringerung der Wärmeleitung und des viskoelastischen Verhaltens. Denkbar ist auch funktionales Bedrucken (Leiterbahnen, RFID).

Als festgestellte Nachteile des Papiers im Verbund sind Hygroskopie und Feuchtesorption mit Auswirkungen auf das Dimensionsverhalten, der beginnende thermische Abbau ab ca. 200°C sowie eine beschränkte Umformbarkeit durch Ziehprozesse zu nennen. Ferner reicht die Porosität des Papiers nicht zur wirksamen Luftschall-Absorption aus.

Funktionalitäten und Nachteile der Harzkomponente

Der Einsatz eines Harzes im Verbund mit einem Papier als Fasermaterial bietet gegenüber einem reinen, dickeren Blech den Vorteil, dass das Gewicht des Gesamtverbundes deutlich gesenkt werden kann. Eine Verstärkung und gleichzeitige Verbesserung der Akustik eines sehr dünnen Blechwerkstoffes ist in dieser Form sonst nicht möglich, ohne deutlich höhere Gewichte, z. B. für Filz- oder Bitumenmatten, in Kauf nehmen zu müssen.

Gleichzeitig verschlechtern sich aber die mechanische und thermische Belastbarkeit deutlich. Während ein Blechwerkstoff problemlos Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius standhalten kann, beginnt sich der Harz-Papier-Verbund bereits bei Temperaturen von wenig mehr als 200 °C zu zersetzen. Auch sinkt die Verarbeitbarkeit in etablierten Produktionsketten. Es ist immer mindestens ein zusätzlicher Schritt zum Aufbringen und Aushärten des Verbundes notwendig.

Funktionalitäten und Nachteile der Blechkomponente

Die erzielbaren Funktionalitäten lassen sich in Bezug auf den aktiven Leichtbau formulieren, wobei von der Fertigung höchstbelasteter Bauteile abgesehen werden sollte. Insofern ist das Anwendungsspektrum um den Strukturleichtbau

angesiedelt, allerdings bei mittlerem Belastungsniveau. Diese Aussage ist allerdings bislang lediglich im Bereich der statischen Belastbarkeit verifiziert, da eine dynamische Prüfung nicht Gegenstand des Projekts war. Es kann aber eine günstige Auswirkung infolge des kombinierten Harzes und des Papiers bei dynamischer Last erwartet werden.

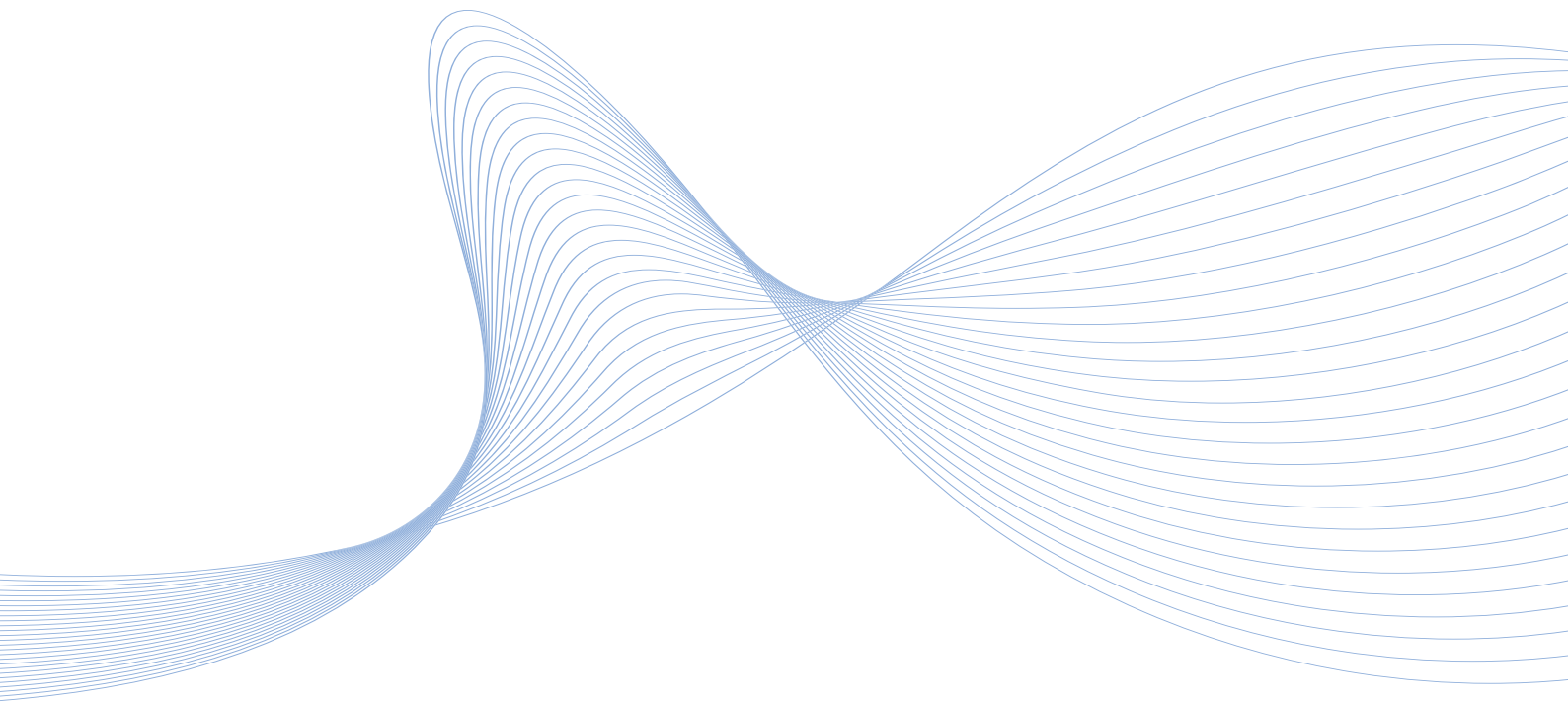
Die Nachteile des Blechwerkstoffs lassen sich bei der Verwendung höchstfester Werkstoffe sehen, da in diesem Fall die Festigkeitsunterschiede der Einzelkomponenten eine entsprechende Weiterverarbeitung durch das reduzierte Prozessfenster stark einschränken. Eine Verarbeitbarkeit durch Verfahren mit geringer Formänderung, wie beispielsweise dem Biegen, ist allerdings vorstellbar.

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dr. Günter Müller

guenter.mueller@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS
Papiertechnisches Institut PTI
Heißstraße 134
80797 München
Tel. (089) 1 21 46-566
Fax (089) 1 21 46-36
E-Mail: info@ptspaper.de
www.ptspaper.de



www.ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung

Heßstraße 134 · 80797 München · Telefon +49 (0)89-12146-0 · Telefax +49 (0)89-12146-36

Pirnaer Straße 37 · 01809 Heidenau · Telefon +49 (0)3529-551-60 · Telefax +49 (0)3529-551-899