



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

SAALFELD



Aluminiumschaum mit Thermoplast-Ummantelung

Thomas Hunger
Martin Poser
Martin Damisch

Schule:

Orlatal-Gymnasium Neustadt an der Orla

**Untersuchung der Herstellung und Charakterisierung der
hybriden Werkstoffkombination von Aluminiumschaum
und Thermoplast sowie deren Anwendungsgebiete**

Erstellt von: Thomas Hunger
Martin Damisch
Martin Poser

Abiturjahrgang: 2012

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	03
1. Einleitung	03
2. Vorstellung der Werkstoffe	04
2.1 Offenporiger Aluminiumschaum	04
2.2 Geschlossenporiger Aluminiumschaum	04
2.3 Polypropylen	05
3. Erläuterung der Herstellungsverfahren	05
3.1 Offenporiger Aluminiumschaum	05
3.2 Geschlossenporiger Aluminiumschaum	06
3.3 Hybridproben mit Aluminiumschaumkern	06
4. Metallografische Analyse	07
4.1 Versuchsziel der metallografischen Analyse	07
4.2 Vorgehensweise der metallografischen Analyse	08
4.3 Offenporiger Aluminiumschaum mit Polypropylen-Ummantelung	08
4.4 Geschlossenporiger Aluminiumschaum mit Polypropylen-Ummantelung	09
5. Prozess der mechanischen Kennwertermittlung	10
5.1 Dreipunkt-Biegeversuch	10
5.2 Versuch mit geschlossenporigem Aluminiumschaum mit/ohne Polypropylen	10
5.3 Druckversuch	11
5.4 Versuche mit geschlossenporigem Aluminiumschaum mit/ohne Polypropylen	11
6. Zusammenfassung der Ergebnisse	11
6.1 Resultierende Eigenschaften von geschlossenporigem Aluminiumschaum mit PP-Ummantelung	11
6.2 Vergleich zwischen offen- und geschlossenporigen Hybridproben	12
7. Wirtschaftlichkeit und mögliche Anwendungsgebiete	13
7.1 Potenzielle Anwendungsgebiete	13
7.2 Recyclingmöglichkeiten	14
8. Zusammenfassung	15
Summary	15
Literaturverzeichnis	16

Vorwort

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen Personen bedanken, die uns bei der Erstellung der Facharbeit unterstützt haben.

Unser Dank gilt insbesondere der Technischen Universität Ilmenau sowie ihren Mitarbeitern für die tatkräftige Unterstützung und Bereitstellung sämtlicher Arbeitsmaterialien. Genannt sei hier vor allem Dr.-Ing. Günther Lange, als Fachgebietsleiter für Metallische Werkstoffe/Verbundwerkstoffe. Er hat uns an dieses Thema herangeführt und uns an Dipl.-Ing. Denny Schmidt vermittelt. So bedanken wir uns auch für die Einblicke in die Technische Universität Ilmenau und die Hilfe zur Beschaffung der Literatur aus der Universitätsbibliothek bei Dipl.- Ing. Denny Schmidt, welcher uns als Betreuer zur Seite stand. Chris Günther, Student der FH Nordhausen, unterstützte uns mit einer Unterkunft während unserer Zeit in Ilmenau und ermöglichte uns somit den praktischen Teil der Facharbeit. Nur durch die Unterstützung von all diesen Personen ist es uns möglich geworden, diese Facharbeit zu erstellen.

1. Einleitung

Seit der Industriellen Revolution am Anfang des neunzehnten Jahrhunderts und der Einführung von technologischen Produktionsschritten ist es von großer Bedeutung, Werkstoffe, speziell auf ihre Wirtschaftlichkeit sowie materialspezifischen Eigenschaften, zu untersuchen, um somit die anwendungsorientierte und kosteneffiziente Weiterverarbeitung bis hin zum Endprodukt zu garantieren.

Insbesondere durch die, im zwanzigsten Jahrhundert aufkommende, Automobilindustrie wurde ein neuer Wirtschaftszweig geschaffen, welcher hohe Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe stellte. Diese Anforderungen zu halten, aber auch gemäß dem Fortschritt zu verbessern, ist bis heute eine zentrale Aufgabe der Materialwissenschaften. Faktoren wie sensibles Umweltbewusstsein, energiesparende Produktionstechniken, erhöhte Sicherheitsansprüche sowie Ressourcenschonung sind treibende Mittel der heutigen Forschung. Vor all diesen Punkten steht jedoch die Wirtschaftlichkeit, welche das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand beschreibt. Erst wenn auch dies der Fall ist, wird der Werkstoff in die industrielle Weiterverarbeitung gegeben.

Ein neuer Ansatz ist hier die Kombination mehrerer Materialien zu einem Verbund, wodurch sich die jeweiligen stoffspezifischen Eigenschaften optimal ergänzen. Hybride Werkstoffe sind somit von vornherein, in Hinsicht auf die Wirtschaftlichkeit, höher einzustufen, da sie ein viel weiteres Anwendungsgebiet aufweisen und somit einen größeren Nutzen als konventionelle Werkstoffe haben.

Gegenstand dieser Arbeit ist es, speziell den Verbund von Aluminiumschaum und dem Thermoplast Polypropylen zu untersuchen.

Aluminiumschäume zeichnen sich durch eine sehr geringe Dichte sowie einem guten Energieabsorptionsvermögen aus. Die effektive Nutzung dieser Schäume befindet sich noch in den Anfängen, wodurch sie derzeit für die Industrie eine eher geringfügige Bedeutung aufweist. Durch eine Verbundkombination mit Polypropylen wäre es möglich, einen Werkstoff mit individuellen Eigenschaften zu entwickeln. Anhand der mechanischen Kennwertermittlung, welche den Dreipunkt-Biegeversuch sowie den Druckversuch einschließt, und der metallografischen Analyse werden Informationen gesammelt.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einen Überblick über die Eigenschaften eines Aluminiumschaum-Polymerbauteils zu geben und daraus mögliche Anwendungsgebiete abzuleiten.

2. Vorstellung der Werkstoffe

2.1 Offenporiger Aluminiumschaum

Unter offenporigem Aluminiumschaum versteht man einen Werkstoff, welcher ein reines Stabwerk¹ aus miteinander verbundenen Aluminiumstegen bildet (Abb. 2). In der Regel führen vier einzelne Stege auf einen Knotenpunkt² zu, wodurch eine dreidimensionale Struktur entsteht (Abb. 72). Durch diese Zellanordnung besitzen offenporige Aluminiumschäume gerade einmal eine Dichte von 0,13- 0,4 g/cm³³, je nach technischem Herstellungsverfahren und dem Aufschäumvermögen, welches ausschlaggebend von der Aluminiumlegierung abhängt. Dies stellt eine Gewichtsersparnis von bis zu 95%⁴, gegenüber dem Vollmaterial Aluminium, dar. Durch das Fehlen von geschlossenen Porenwänden⁵ wird ein Durchströmen von Gasen sowie anderen fließfähigen Medien ermöglicht. Dabei besitzt offenporiger Aluminiumschaum eine große Oberfläche mit der das Gas in Verbindung kommt. Diese reale, innere Oberfläche kann man bei der Herstellung durch den Abstand der Aluminiumstege⁶ sowie deren Knotenpunkte variieren und dadurch auf das entsprechende Anwendungsgebiet anpassen.

2.2 Geschlossenporiger Aluminiumschaum

Bei geschlossenporigem Aluminiumschaum (Abb. 1) handelt es sich um das Endprodukt, welches bei der Aufschäumung von Aluminium und Titandihydrid (TiH₂)⁷ entsteht. Die Besonderheit und somit der entscheidende Unterschied zum offenporigen Aluminiumschaum besteht darin, dass die einzelnen Zellen stochastisch im Werkstoff verteilt sind (Abb. 68). Diese zelluläre Struktur verleiht dem Werkstoff eine Reihe daraus resultierender Eigenschaften. Geschlossenporige Aluminiumschäume zeichnen sich insbesondere durch ein sehr gutes Energie- aufnahmevermögen aus. Durch die zusammenhängenden Zellwände wird eine enorme Steifigkeit⁸ bei gleichzeitig sehr geringer Dichte erreicht. Die Dichte bei geschlossenporigem Aluminiumschaum ist in erster Linie von zwei Faktoren abhängig. Zum einen von dem Durchmesser der einzelnen Zellwände, den sogenannten Stegbreiten⁹ (Abb. 73), und zum anderen von dem Porendurchmesser (Abb. 69). Beide Variablen lassen sich bei der Herstellung durch das Verhältnis zwischen Aluminiumpulver und Treibmittel gezielt

¹ Siehe auch Anhang Seite 9

² Siehe auch Anhang Seite 5

³ Vgl. http://www.lmpv.de/alt/pdf/lwd_lmpv_poss.pdf (07.10.11)

⁴ Vgl. http://www.lmpv.de/alt/pdf/lwd_lmpv_poss.pdf (07.10.11)

⁵ Siehe auch Anhang Seite 7

⁶ Siehe auch Anhang Seite 9

⁷ Siehe auch Anhang Seite 11

⁸ Siehe auch Anhang Seite 10

⁹ Siehe auch Anhang Seite 9

steuern. Man kann die Dichte von geschlossenporigen Aluminiumschäumen mit etwa $0,07 \text{ g/cm}^3$ bis $0,7 \text{ g/cm}^3$ ¹⁰ angeben. Dies stellt gerade einmal einen geringen Bruchteil der Dichte des Vollmaterials Aluminium dar, welche bei $2,7 \text{ g/cm}^3$ ¹¹ liegt.

2.3 Polypropylen

Der Kunststoff Polypropylen (PP) ist in die Gruppe der thermoplastischen Werkstoffe¹² einzuordnen (Abb. 5). Durch seine hohe Festigkeit, Steifigkeit und Härte, bei gleichzeitig geringer Dichte von $0,895 \text{ g/cm}^3$ bis $0,92 \text{ g/cm}^3$ ¹³, bietet dieser Kunststoff in der Praxis ein großes Anwendungspotenzial. Diese mechanischen Eigenschaften können unter Zugabe von mineralischen Füllstoffen, wie Talkum oder Glasfaser¹⁴, deutlich verbessert werden. Die Gebrauchstemperatur von Polypropylen liegt durchschnittlich in der Spanne von $0 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ¹⁵. Unter $0 \text{ }^\circ\text{C}$ neigt PP dazu spröde zu werden, wodurch besonders die Festigkeit negativ beeinflusst wird. Diese Versprödungstemperatur¹⁶ kann jedoch durch Zugabe von Ethen gesenkt werden¹⁷. Oberhalb der Gebrauchstemperatur, ab $110 \text{ }^\circ\text{C}$, steigt die Viskosität¹⁸ des Materials stetig an. Der Schmelzpunkt liegt zwischen $160 \text{ }^\circ\text{C}$ – $170 \text{ }^\circ\text{C}$ ¹⁹. Um das Flussverhalten zu begünstigen, kann das Material bis auf eine Temperatur von etwa $300 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt werden. Dadurch eignet sich Polypropylen hervorragend für den Spritzguss sowie für spezielle Techniken der Warmumformung. Die entscheidende Eigenschaft von thermoplastischen Werkstoffen ist, dass der Vorgang des Erwärmens bis zur Schmelztemperatur und des Abkühlens wiederholbar und somit auch reversibel ist. Des Weiteren ist Polypropylen gegenüber anorganischen sowie organischen Säuren, Laugen und Fetten beständig, wodurch die Anwendungsgebiete ausgeweitet werden können.

3. Erläuterung der Herstellungsverfahren

3.1 Offenporiger Aluminiumschaum

Offenporige Aluminiumschäume werden derzeit nur von sehr wenigen Unternehmen hergestellt und befinden sich noch in der Optimierungsphase. Aus diesem Grund wird das Verfahren an dieser Stelle nur in den Grundzügen vorgestellt.

Bei der Herstellung handelt es sich um eine Gusstechnik, bei der die Hohlräume einer Form durch geschmolzenes Aluminium gefüllt werden. Um diese Form herstellen zu können, wird in einen offenporigen Polyurethan-Schaum (PUR) thermisch beständiges Material gegossen, wodurch zeitgleich dieser Kunststoffschäum eliminiert. Auf diesem Weg erhält man eine Aufgussform, welche über die gleiche zelluläre Anordnung verfügt, wie der PUR-Schaum. Im Anschluss wird, nach dem herkömmlichen Niederdruckgussverfahren (Abb.80) die flüssige

¹⁰ Vgl. <http://www.metallschaum.info/de/eigenschaften/physikalische> (21.08.11)

¹¹ Vgl. <http://www.metallschaum.info/de/eigenschaften/physikalische> (21.08.11)

¹² Vgl. <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polypropylen.htm> (21.08.11)

¹³ Vgl. <http://www.kunststoffdrehteile.de/v2/leistungen/pdf/PP.pdf> (21.08.11)

¹⁴ Vgl. http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polypropylen_GS

¹⁵ Vgl. http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polypropylen_GS (21.08.11)

¹⁶ Siehe auch Anhang Seite 11

¹⁷ Vgl. <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polypropylen.htm> (21.08.11)

¹⁸ Siehe auch Anhang Seite 11

¹⁹ Vgl. <http://www.ceresana.com/de/wisöpsen/produkte/kunststoffe/polypropylen/> (21.08.11)

Aluminiumschmelze unter Gasdruck in ein Steigrohr gedrückt, über welches die Gussform von unten befüllt wird. Der Gasdruck bleibt bis zur vollständigen Erstarrung der Schmelze konstant, erst danach wird die Form geöffnet. Anschließend muss das thermisch beständige Material nach einem speziellen Verfahren herausgelöst werden.²⁰ Da dieses Verfahren zur Herstellung sehr aufwändig ist, sind offenporige Aluminiumschäume sehr teuer.

3.2 Geschlossenporiger Aluminiumschaum

In der technischen Produktion gibt es mittlerweile zahlreiche Möglichkeiten um geschlossenenporigen Aluminiumschaum herzustellen. An dieser Stelle wird speziell auf das schmelzmetallurgische Herstellungsverfahren (Abb. 84) eingegangen, da dieses eine kommerzielle sowie homogene²¹ Fertigung des Werkstoffes garantiert. Das hier beschriebene Alporas®-Herstellungsverfahren²² wird von der Shinko Wire Co. Ltd, Japan angewandt.

Als erstes wird Reinaluminium auf die Schmelztemperatur von 660 °C erhitzt. Um die Viskosität²³ der Aluminiumschmelze zu erhöhen und somit ein besseres Aufschäumen zu garantieren, gibt es die Möglichkeit 1,5 Massenprozent Calcium (Ca) dazuzugeben. Dabei wird die Schmelze kontinuierlich in Bewegung gehalten, um so die Homogenität²⁴ zu erhöhen. Nach einigen Minuten bilden sich durch die Zugabe von Calcium (Ca) stabilisierte Phasen, CaO, CaAl₁₂O₄ und Al₁₄Ca. Diese sorgen ebenfalls für eine homogene²⁵ Aufschäumung. Erst jetzt wird das Treibmittel dazugemischt. Als Treibmittel kommen chemische Verbindungen in Frage, welche durch eine endotherme Reaktion²⁶ ein Gas abspalten. Bei dem Alporas®-Verfahren verwendet man zwischen 1,5 und 1,6 Massenprozent Titanhydrid²⁷ (TiH₂), welches ab einer Temperatur von etwa 400 °C Wasserstoff (H₂) freisetzt. Dadurch, dass das Treibmittel innerhalb der gesamten Schmelze dieses Gas abgibt, erhält man eine relativ homogene²⁸ Aufschäumung. Dabei darf jedoch keine Durchmischung mehr stattfinden. Anschließend wird der Schaum abgekühlt, wodurch die Aluminiumstege sowie die einzelnen Porenwände erstarren. Ein, nach dem Alporas®-Verfahren hergestellter Aluminiumschaum weist durchschnittlich eine Porosität²⁹ zwischen 89% und 93% auf, bei einer Dichte von 0,2- 0,3 g/cm³ auf. Der durchschnittliche Porendurchmesser beträgt 4,5 mm.

3.3 Hybridproben mit Aluminiumschaumkern

Die Herstellung von der hybriden Werkstoffkombination³⁰ aus offenporigen sowie geschlossenenporigen Aluminiumschaum mit Polypropylen-Ummantelung unterscheidet sich nur geringfügig voneinander. Das hier beschriebene Verfahren beschreibt nur das prinzipielle Vorgehen, um eine Hybridprobe für die nachstehenden mechanischen sowie metallografischen Untersuchungen zu erhalten.

²⁰ Herstellungsverfahren Vgl.: Hipke/ Lange/ Poss: Taschenbuch für Aluminiumschäume, S. 12 ff

²¹ Siehe auch Anhang Seite 5

²² Herstellungsverfahren Vgl.: Hipke/ Lange/ Poss: Taschenbuch für Aluminiumschäume, S. 2 ff

²³ Siehe auch Anhang Seite 11

²⁴ Siehe auch Anhang Seite 5

²⁵ Siehe auch Anhang Seite 5

²⁶ Siehe auch Anhang Seite 5

²⁷ Siehe auch Anhang Seite 11

²⁸ Siehe auch Anhang Seite 5

²⁹ Siehe auch Anhang Seite 7

³⁰ Siehe auch Anhang Seite 5

Zuerst wird eine geeignete Größe des Aluminiumschaumkerns ermittelt, welche zum einen auf die Prüfvorrichtungen (Abb. 46), zum andern auf die Aufgussform (Abb. 3) abgestimmt ist. Für die folgenden Messreihen des Dreipunkt-Biegeversuchs wurde der Aluminiumschaumkern auf die Maße 170mm x 25mm x 40mm zugeschnitten

(Abb. 1; 2). Als Nächstes muss der Ofen circa 15 Minuten auf 300 °C vorgeheizt werden. In der Zwischenzeit werden 140 ml Polypropylen Granulat (Abb. 5) abgemessen. Die Messeinheit Milliliter dient hierbei nicht als Volumeneinheit, sondern vielmehr als eine Orientierung aus gewonnenen Erfahrungswerten. Um ein gutes Verhältnis zwischen Aluminiumschaum und Polypropylen und damit minimales Gewicht auf maximale Festigkeit zu erhalten, rechnet man etwa 100 ml PP-Granulat auf 120 cm³ Aluminiumschaum, welcher den Kern des hybriden Werkstoffes ausmacht. Nach dem Vorheizen des Ofens wird die Aufgussform (Abb. 3), welche aus 8 mm starken Stahlplatten besteht, etwa 10 Minuten bei 300 °C erwärmt

(Abb. 4). Dies ist notwendig, um Temperaturunterschiede, welche sich negativ auf die Herstellung der Proben auswirken würden, so gering wie möglich zu halten. Anschließend werden von den 140 ml Polypropylen Granulat 70 ml in die Aufgussform gegeben (Abb. 7; 8) und bei 300 °C circa 30 Minuten im Ofen aufgeschmolzen (Abb. 9; 10). Danach wird der geschlossoporige Aluminiumschaumkern direkt in die Schmelze gelegt (Abb. 11; 12). Offenporiger Aluminiumschaum muss im Gegensatz dazu erst mit Aluminiumfolie umschlossen werden, um ein großflächiges Eindringen der Schmelze in den Schaum zu vermeiden. Um den Verbund beider Materialien trotzdem aufrecht zu erhalten, wird an einigen Stellen die Folie durchstoßen, damit sich der Kunststoff mit der Oberfläche des Aluminiums dort verbindet. Dies stellt den einzigen Unterschied zwischen geschlossporigem und offenporigem Aluminiumschaum bei der Herstellung des hybriden Verbundwerkstoffes dar. Anschließend werden die restlichen 70 ml Polypropylen Granulat in die Aufgussform gegeben (Abb. 13) und darauf Platzhalter aus Aluminiumfolie positioniert (Abb. 14; 6), welche bei dem Schmelzvorgang ein Aufsteigen des Aluminiumschaumkerns aufgrund der geringeren Dichte gegenüber des Polypropylens verhindern sollen. Danach wird eine Abschlussplatte derart auf die Form gelegt, sodass Luft und andere Gase zu jeder Zeit entweichen können (Abb. 15). Im Anschluss wird die komplette Aufgussform für weiter 30 Minuten bei 270 °C im Ofen erhitzt (Abb. 16). In dieser Zeit umfließt das geschmolzene Polypropylen den Aluminiumschaumkern, sodass es nach dem Abkühlen zu einem festen Verbund beider Stoffe kommt. Der Abkühlvorgang darf jedoch nur sehr langsam vonstatten gehen, damit Luftblasen, welche sich noch in der Schmelze befinden, aufsteigen können (Abb. 17). In der Regel lässt man eine nach diesem Verfahren hergestellte Hybridprobe sechs Stunden langsam abkühlen. Erst dann besitzt dieser hybride Werkstoff (Abb. 18; 19; 20) seine charakteristischen Eigenschaften, welche ihn auszeichnen und einzigartig erscheinen lassen.

4. Metallografische Analyse

4.1 Versuchsziel der metallografischen Analyse

Zusätzlich zu der mechanischen Kennwertermittlung werden anhand der metallografischen Analyse weitere Eigenschaften des Verbundwerkstoffes ermittelt.

Ein Ziel der Analyse ist die Untersuchung der Oberflächenstruktur³¹ von Werkstoffen. Dabei wird konkret von den hergestellten Proben die Verbindung des Aluminiumschaums mit

³¹ Siehe auch Anhang Seite 6

dem Kunststoff sowie die Homogenität³² des Polypropylen überprüft. Um den Werkstoff unter Mikroskopen analysieren zu können, benötigt es Präparationstechniken, die das Schleifen und Polieren beinhalten. Des Weiteren soll die elementare, prozentuale Zusammensetzung eines bestimmten Punktes auf der Oberfläche des Werkstoffes über die energiedispersiven Elektronenstrahlmikroanalyse (EDX) ermittelt werden. Durch wiederholte punktuelle Untersuchungen kann dann die allgemeine Zusammensetzung des Werkstoffes als Durchschnittswert bestimmt werden.

4.2 Vorgehensweise der metallografischen Analyse

Bevor die metallografische Analyse durchgeführt werden kann, müssen die Proben präpariert³³ und vorbereitet werden. Diese Vorbereitungen sind notwendig, um einen planen Anschliff und dadurch saubere Randschärfen, unverfälschte Mengenanteile beider Werkstoffe und einen guten Kontrast zwischen diesen zu erhalten. Dafür wird die Werkstoffprobe im Nassschleifverfahren (Abb. 24ff)- um Partikelablagerungen und übermäßige Hitze zu vermeiden- auf horizontal rotierenden Schleiftellern (Abb. 21) stufenweise geschliffen. Begonnen wird mit dem Planschleifen, hierzu wird Schleifpapier der Korngröße 250 µm bis 75 µm verwendet. Danach wird das Werkstück fein geschliffen mit einer Korngröße von 60 µm bis 20 µm. Für den dann folgenden Feinstschliff wird neben Schleifpapier mit der Korngröße 15 µm bis 5 µm in den ersten Durchgängen, Diamantpaste zum Polieren im letzten Durchgang verwendet (siehe auch Abb. 23). Zwischen jedem Schleifgang wurde die Probe in einem Ultraschallbad gereinigt (Abb. 33), um feinste Staubablagerungen, und in deren Folge verfälschte Ergebnisse, auszuschließen. Im Anhang auf Abbildung 29 und 36 sieht man geeignete Präparate zur metallografischen Analyse. Die bearbeiteten Proben werden dann unter den verschiedenen Mikroskopen betrachtet.

4.3 Offenporiger Aluminiumschaum mit Polypropylenummantelung

Bei der Präparation wird der Verbundwerkstoff mit verschiedenen Korngrößen am Schleif- und Poliergerät bearbeitet, um ihn anschließend unter dem Mikroskop zu analysieren. Die Vorgehensweise der Präparationstechniken erfolgt wie im Punkt 4.2 beschrieben.

Der polierte offenporige Aluminiumschaum mit Polypropylenummantelung (Abb. 72) zeigt unter dem Stereomikroskop³⁴ *AxioCam MRC ZEISS* (Abb. 60), eine Aluminiumfolie zwischen Kunststoff und Schaum (Abb. 72), die die mechanische Verklammerung³⁵ des Werkstoffverbunds verschlechtert. Die Notwendigkeit dieser besteht jedoch darin, dass ein großflächiges Eindringen, des bei der Herstellung flüssigen Polypropylen in den offenporigen Aluminiumschaumkern, verhindert wird.

Mithilfe des Auflichtmikroskops³⁶ *Stemi 2000 C ZEISS*, welches kontrastreichere Bilder als das Stereomikroskop liefert, konnte die Homogenität³⁷ des Polypropylen überprüft werden. Es hat sich somit herausgestellt, dass der Kunststoff an bestimmten Stellen Lufteinschlüsse, welche als dunkle Felder erkenntlich werden, besitzt (Abb. 67).

³² Siehe auch Anhang Seite 5

³³ Siehe auch Anhang Seite 7

³⁴ Siehe auch Anhang Seite 10

³⁵ Siehe auch Anhang Seite 6

³⁶ Siehe auch Anhang Seite 4

³⁷ Siehe auch Anhang Seite 5

Das Rasterelektronenmikroskop³⁸ (Abb. 61ff) bietet im Gegensatz zu dem Stereo- und dem Auflichtmikroskop eine höhere Tiefenschärfe, die einen hochauflösenden und dreidimensionalen Einblick ermöglicht. Anhand dessen wurde, wie auch im Auflichtmikroskop, die Stegbreite³⁹ des offenporigen Aluminiumschaums vermessen (Abb. 71). Dabei ergab sich eine durchschnittliche Breite von 599,3 μm . Die Porengrößen, welche teilweise gemessen wurden, weisen große Abweichungen auf, welche auf die Herstellung des Schaums zurückzuführen sind (Siehe Punkt 3.1).

Unter Anwendung der energiedispersiven Elektronenstrahlmikroanalyse (EDX), welche als Option im Rasterelektronenmikroskop integriert ist, wird die Zusammensetzung der einzelnen Elemente (Abb. 82) auf einem Punkt des Werkstoffs bestimmt. Das EDX ergab das der offenporige Aluminiumschaum sich aus 73,21% Aluminium (Al), 16,6% Kohlenstoff (C), 8,2% Sauerstoff (O) und 1,99% Silizium (Si) zusammensetzt. Der Anteil von 16,6% Kohlenstoff kann auf eventuelle Rückstände, der bei der Herstellung verwendeten Füllmaterialien, zurückgeführt werden (Siehe Punkt 3.1).

4.4 Geschlossenporiger Aluminiumschaum mit Polypropylenummantelung

Der geschlossen porige Aluminiumschaum wird nach der Vorbereitung für die metallografische Analyse unter dem Auflichtmikroskop⁴⁰ *Stemi 2000 C ZEISS* und dem Stereomikroskop⁴¹ *AxioCam MRc ZEISS* (Abb.60) betrachtet. Mit einem an das Mikroskop angeschlossenen Monitor und einer Software wurden Bilder aufgenommen, Maßstäbe in diese eingefügt und die Stegbreiten⁴² sowie Porengrößen (Abb. 69) gemessen, wobei unter dem Stereomikroskop räumliche und farbige Aufnahmen entstanden und das Auflichtmikroskop zwar kontrastreiche aber keine tiefenscharfen Aufnahmen des Hybridwerkstoffes liefert. Die Aufnahmen der beiden Mikroskope zeigen deutlich die mechanische Verklammerung der beiden Werkstoffe (Abb. 70). Die Betrachtung unter dem Auflicht- sowie Stereomikroskop zeigen außerdem, dass das Polypropylen Luft einschließt, unter dem Stereomikroskop zu erkennen an Dunkelfeldern im Polypropylen (Abb. 65). Des Weiteren lässt sich durch diese mikroskopische Untersuchung die mechanische Verklammerung⁴³ zwischen Polypropylen und dem Aluminiumschaumkern erkennen. Die genaue Betrachtung zeigt, dass selbst bei einem augenscheinlich schlüssigen Übergang minimale Spaltbreiten zwischen beiden Materialien zu erkennen sind, welche auf einen zu schnellen Abkühlvorgang zurückzuführen sind.

Das EDX (Abb. 81) zeigt zudem, dass neben dem Großteil an Aluminium auch Elemente wie Calcium, Titan und Sauerstoff vorhanden sind. Der Calciumanteil kann auf die Herstellung von Aluminiumschaum zurückgeführt werden, da dieses Element zur Erhöhung der Viskosität in der Schmelze Verwendung

³⁸ Siehe auch Anhang Seite 8

³⁹ Siehe auch Anhang Seite 9

⁴⁰ Siehe auch Anhang Seite 4

⁴¹ Siehe auch Anhang Seite 10

⁴² Siehe auch Anhang Seite 9

⁴³ Siehe auch Anhang Seite 6

5. Prozess der mechanischen Kennwertermittlung

5.1 Dreipunkt-Biegeversuch

Der Dreipunkt-Biegeversuch (Abb. 38) ist eine Methode zur Ermittlung mechanischer Kennwerte, in diesem Fall speziell der Biegekraft aus dem Bereich der zerstörenden Werkstoffprüfung. Bei der Durchführung wird die Werkstoffprobe auf zwei seitlich liegenden Auflagepunkten (Abb. 39) positioniert und in der Mitte von einem Stempel belastet, der den namensgebenden dritten Punkt und eine den Auflagepunkten entgegengesetzte Kraft darstellt. An diesem Punkt befindet sich auch ein Kraftmesser, der in bestimmten Zeitintervallen die wirkende Kraft misst. Neben der Biegekraft kann man aber auch die Dehnung an der Außenseite und die Stauchung an der Innenseite der Werkstoffprobe ermitteln sowie die Bruchkante visuell begutachten.

5.2 Versuche mit geschlossenporigem Aluminiumschaum mit/ohne Polypropylen-Ummantelung

Bei der Durchführung des Dreipunkt-Biegeversuchs mit geschlossenporigem Aluminiumschaum wird wie beschrieben das Werkstück in der Prüfvorrichtung positioniert (Abb. 43). Bei Aluminiumschaum ohne Polypropylen-Ummantelung wird eine Vorkraft von circa 12 N und bei Aluminiumschaum mit Polypropylen-Ummantelung von circa 215 N aufgebaut, um somit einen Kontakt zwischen Werkstück und Prüfvorrichtung herzustellen sowie mögliches Spiel in der Prüfvorrichtung auszugleichen. Nachdem diese Vorkraft aufgebaut wurde, beginnt die Aufnahme von Messwerten in Zeitintervallen von einer Sekunde. Nach 290 Sekunden ist die maximale Biegekraft bei Aluminiumschaum ohne Polypropylen-Ummantelung erreicht. Die Kraft zu diesem Zeitpunkt beträgt circa 226 N (Abb. 57) und die Biegung beträgt ungefähr 4,5 mm. Nachdem die Maximalkraft erreicht wurde, sind Risse im Werkstück festzustellen und die Kraft, die das Werkstück standhält, nimmt immer weiter ab (Abb. 57). Im Extremfall ist die Probe am Ende des Versuchs in zwei Hälften zerbrochen (Abb. 44; 45). Bei dem Versuch mit Aluminiumschaum im Polypropylen-Verbund wird wieder eine Anfangskraft aufgebaut, danach steigt die Kraft bis zu einem Wert von circa 500 N an. Nachdem diese Kraft erreicht wurde, ist ein Plateau in der Kurve des Biege-Kraft-Diagramms zu erkennen (Abb. 56). Dieses Plateau ist damit zu begründen, dass sich feine Risse im Kunststoff gebildet haben, da dieser nur begrenzt homogen ist. Nachdem die Kraft wieder gestiegen ist, erreicht sie ihren Höchstpunkt nach 437 Sekunden und bei circa 4562 N (Abb. 56). Die Biegung zu diesem Zeitpunkt beträgt ungefähr 4,5 mm (Abb. 40). Die folgenden Messwerte zeigen einen schlagartigen Kraftabfall, da das Polypropylen, welches bisher für die hohe Stabilität gesorgt hat, gebrochen ist. Die Kurve verläuft nun genauso wie die des Aluminiums ohne Polypropylen Ummantelung, da die Kraft nur noch auf den Aluminiumkern wirkt. Der Versuch endet ebenfalls damit, dass die Probe verformt wird (Abb. 41) beziehungsweise im Extremfall zerbricht (Abb. 42).

5.3 Druckversuch

Wie der Dreipunkt-Biegeversuch ist auch der Druckversuch eine Methode zur mechanischen Kennwertermittlung aus dem Bereich der zerstörenden Werkstoffprüfung. Das Werkstück befindet sich dabei zwischen zwei planparallelen Druckplatten (Abb. 47). Während des Versuchsverlaufs wird der Druck auf das Werkstück erhöht bis Risse und unelastische Verformung auftreten. Zeigen sich diese Erscheinungen ist die Belastungsgrenze, welche durch den Druckversuch ermittelt werden soll, überschritten. Bei diesem Versuch wird die Spannung und dazu parallel die Verformung, beziehungsweise die Stauchung dokumentiert. Wird die Krafrichtung betrachtet, ist der Druckversuch das Gegenteil zum Zugversuch⁴⁴.

5.4 Versuche mit geschlossenporigem Aluminiumschaum mit/ ohne Polypropylen-Ummantelung

Bevor die Ergebnisse in einer Messreihe aufgenommen werden, wird wie bei der Durchführung des Dreipunkt-Biegeversuchs wieder eine Vorkraft, in diesem Fall ungefähr 30 N, aufgebaut. Zu Beginn des Versuchs mit geschlossenporigem Aluminiumschaum ohne Polypropylenummantelung steigt die Kraft zunächst auf circa 1000 N (Abb. 58) an ohne dass eine deutliche Stauchung des Werkstücks zu beobachten ist. Danach geben die Stege des Metallschaums jedoch nach (Abb. 48) und im Stauchungs-Kraft-Diagramm (Abb. 58) ergibt sich ein Plateau. Die Kraft beträgt nahezu konstant 1000 N und das Werkstück wird um 5 mm gestaucht. Dies entspricht in etwa der Porengröße (Abb. 58). Die Poren wurden also zusammengedrückt und deshalb steigt die Kraft nun wieder an, wobei das Werkstück nicht mehr wesentlich gestaucht wird. Der Versuch endet damit, dass der Aluminiumschaum bei einer Kraft von fast 8000 N um 17 mm gestaucht wurde und nahezu keine Hohlräume mehr aufweist (Abb. 48). Wiederholt man den Versuch nun mit geschlossenporigem Aluminiumschaum mit Polypropylen-Ummantelung (Abb. 49), steigt die Kraft bei sehr geringer Stauchung von maximal 3,72 mm ebenfalls auf fast 8000 N. Ist diese Kraft erreicht bricht die Polypropylenummantelung und die Kraft wird direkt auf den Aluminiumschaumkern übertragen, wodurch dieser genauso gestaucht wird wie die Probe ohne Polypropylenummantelung.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1 Resultierende Eigenschaften der Werkstoffkombination

Auf Grund der gewonnenen Ergebnisse aus den mechanischen Kennwertermittlungen sowie der metallografischen Analyse wurden die werkstoffspezifischen Eigenschaften der Hybridproben ermittelt. Die Herstellung dieser befindet sich noch in der Forschung und ist derzeit noch nicht mit einer industriellen Fertigung zu vergleichen. Die in dieser Arbeit verwendeten Proben wurden nach dem im Gliederungspunkt 3.3 beschriebenen Verfahren hergestellt und weisen dadurch gewisse Ungenauigkeiten auf, welche es zu optimieren

⁴⁴ Siehe auch Anhang Seite 12

bedarf. Die hier beschriebenen materialspezifischen Eigenschaften bilden somit eine theoretische Grundlage und Anhaltspunkt für weiterführende Untersuchungen.

Aluminiumschaum mit einer Polypropylen-Ummantelung vereint in erster Linie die im Punkt zwei aufgeführten Eigenschaften beider Materialien, innerhalb eines Werkstoffes. Durch den Schaumkern kommt es, je nach Porosität⁴⁵, zu einer Gewichtsersparnis bis hin zu 80 % gegenüber dem Vollmaterial Polypropylen. Aluminium, als relativ weiches Material, wäre ohne einen geeigneten Mantel nur unzureichend gegen äußere Einflüsse geschützt. Durch den Polypropylenmantel wird die mechanische Bearbeitbarkeit, aber auch die Verwendung herkömmlicher Verbindungstechniken, beispielsweise die Schraubverbindung, stark verbessert. Des Weiteren kann der Thermoplast⁴⁶ des Verbundwerkstoffes durch spezielle Guss- und Spritztechniken in fast jede beliebige Form gebracht werden.

Anhand des Dreipunkt-Biegeversuchs kann die Biegekraft, als Produkt aus der wirkenden Kraft und dem senkrecht dazu liegenden Hebelarm, berechnet werden. Diese Größe ist auch maßgebend für die Charakterisierung eines hybriden Werkstoffes⁴⁷, da sich mit ihr ein Vergleich zwischen den einzelnen Materialien ermöglicht. Die Abbildung 57 zeigt den Kraftverlauf eines geschlossenporigen Aluminiumschaumkerns während des Dreipunkt-Biegeversuchs. Erst im Vergleich der beiden Graphen (Abb. 56) wird deutlich, dass der Verbundwerkstoff mehr als der zwanzigfachen Kraft standhält und folglich auch ein viel höheres Biegemoment zum Zeitpunkt des Bruchs aufweist, als Aluminiumschaum ohne Polypropylen- Ummantelung.

Mit Hilfe des Druckversuchs kann die maximale Druckbeanspruchung eines Materials ermittelt werden. Bei einer bestimmten Kraftereinwirkung werden die einzelnen Poren des geschlossenporigen Aluminiumschaums nahezu gleichmäßig auf einer Stauchungsstrecke zusammengedrückt. Dieser Zusammenhang wird im Diagramm (Abb. 58) an dem Plateau des blauen Graphen ersichtlich. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass geschlossenporiger Aluminiumschaum ein hohes Energieaufnahmevermögen besitzt. Die Polypropylen-Ummantelung führt dazu, dass der Verbundstoff auch höheren Kraftereinwirkungen standhält. Dabei bricht als erstes der Kunststoffmantel, wodurch schon ein Teil der kinetischen Energie in plastische Verformung sowie Wärme umgewandelt wird. Erst danach wird durch die noch vorhandene Energie der Aluminiumschaumkern zerstört. Je nach späterem Anwendungsgebiet muss das Verhältnis zwischen der Stärke des Aluminiumschaumkerns und der Polypropylen-Ummantelung geeignet proportioniert werden, um ein optimales Energieaufnahmevermögen zu erreichen.

6.2 Vergleich zwischen offen- und geschlossenporigen Hybridproben

Durch die Untersuchung von geschlossenporigem und offenporigem Aluminiumschaum ergeben sich im Vergleich verschiedene Anwendungsmöglichkeiten für diese Werkstoffe. Geschlossenporiger Aluminiumschaum ist durch seine geschlossenen Porenwände, anstatt dem stabwerkartigen Aufbau des offenporigen Aluminiumschaums, in der Lage hohe kinetische Energie zu absorbieren, weshalb sich auch die mechanische Kennwertermittlung nur auf diesen Stoff beschränkt. Durch diese Eigenschaften ist geschlossenporiger Aluminiumschaum besonders für Bereiche wie den Fahrzeugbau und die Verkehrssicherheit geeignet. Offenporiger Aluminiumschaum ist zwar nicht in der Lage so hohe mechanische Energie aufzunehmen, jedoch ermöglicht der Aufbau das Durchströmen von Gasen und

⁴⁵ Siehe auch Anhang Seite 7

⁴⁶ Siehe auch Anhang Seite 11

⁴⁷ Siehe auch Anhang Seite 5

Flüssigkeiten. Außerdem ist eine Beschichtung, der innern Oberfläche mit anderen Elementen, problemlos möglich. Eine Polypropylen-Ummantelung würde somit, in erster Linie für den Schutz des offenporigen Aluminiumschaums gegen äußere Einwirkungen sorgen.

7. Wirtschaftlichkeit und Mögliche Anwendungsgebiete des Verbundstoffes

7.1 Potenzielle Anwendungsgebiete

Durch die Eigenschaften des Metallschaumverbundes ergibt sich ein großes Feld an Anwendungsgebieten. Gewichtseinsparungen wie auch Steifigkeitssteigerung⁴⁸ und Energieabsorption sind Eigenschaften, welche ermittelt wurden. In der heutigen Industrie könnten so konventionelle⁴⁹ Werkstoffe durch diesen Verbundwerkstoff ersetzt werden.

Ein zentrales Gebiet wäre an dieser Stelle die Automobilindustrie, denn hier bietet der Verbundwerkstoff, auf Grund der geringen Dichte des Aluminiumschaumkerns und das daraus resultierende geringe Gewicht, ein großes Feld an Anwendungsmöglichkeiten. Einzelne Komponenten könnten in die Karosserie des Fahrzeuges (Abb. 83) eingebaut werden und einen bedeutenden Fortschritt im Gesamtkonzept beim Fahrzeugbau im Bereich der Sicherheit bieten. Durch das hohe Energieaufnahmevermögen kann dieser Werkstoff die kinetische Energie, welche bei einem Unfall auf das Fahrzeug auftrifft, in plastische Verformung und Wärme umwandeln. Vorstellbar wäre der Einsatz von Aluminiumschaum mit Polypropylen- Ummantelung an der Stoßfängerverstärkung sowie an den beiden vorderen Seitenträgern als unterstützender Füllstoff der Profiltteile neben der Knautschzone. Die Verwendung des Verbundwerkstoffes innerhalb der B-Säule und als Querträger könnte bei einem seitlichen Aufprall die Sicherheit der Insassen erheblich verbessern, zusätzlich zu den heutigen Airbagsystemen.

Ein anderes Anwendungsgebiet sind Stoßdämpfende Elemente in Straßenbegrenzungsanlagen, denn hier ist es wichtig die größtmögliche Sicherheit für die Kraftfahrzeugfahrer im Alltag zu gewährleisten. So wäre es möglich Schutzplanken aus diesem Polypropylen-Verbund herzustellen und dadurch die Konventionellen Werkstoffe⁵⁰ zu ersetzen. Die große Herstellungsanzahl der benötigten Schutzplanken lässt jedoch darauf schließen, dass man hier die Rentabilität⁵¹ des Werkstoffes überprüfen müsste.

Neben der Infrastruktur und der Automobilindustrie bietet sich auch der Flugzeugbau als relevantes Anwendungsgebiete an. Einzelne hybride⁵² Bauteile könnten an Stelle von Vollmaterialien innerhalb des Flugzeuges Verwendung finden, wodurch eine Gewichts- und in dessen Folge eine Treibstoffersparnis erzielt wird. Durch die Gewichtseinsparung wäre unter anderem auch ein größeres Transportgewicht möglich.

Speziell Offenporige Aluminiumschäume könnten aufgrund dessen, dass sie ein Durchströmen von Gasen und Flüssigkeiten ermöglichen, als Filter, oder mit einer zusätzlichen Beschichtung im Inneren des Schaums, als Katalysator eingesetzt werden. Ein Nachteil gegenüber geschlossenporigem Aluminiumschaum ist jedoch der hohe Aufwand in der Herstellung.

⁴⁸ Siehe Anhang Seite 10

⁴⁹ Siehe Anhang Seite 5

⁵⁰ Siehe Anhang Seite 5

⁵¹ Siehe Anhang Seite 9

⁵² Siehe Anhang Seite 5

Gerade in unserem heutigen Zeitalter ist es wichtig auf den Umweltschutz zu achten und Investitionen in neuartige Werkstoffe wie den Vorgestellten einzuplanen, aber auch zu fördern.

7.2 Recycling

Bei der Herstellung von neuartigen Werkstoffen, insbesondere Verbundwerkstoffen, ist auf eine für den Kunden effiziente Recyclingmöglichkeit zu achten. Der Erfolg eines Produktes wird demnach nicht nur vom Nutzpotenzial und der Rentabilität⁵³ gegenüber konventionellen Werkstoffen bestimmt, sondern auch vom Schwierigkeitsgrad und vom Aufwand der Entsorgung beeinflusst.

Beim Recycling unterscheidet man drei Arten: die Wiederverwendung, die Weiterverwendung und die Weiterverwertung.⁵⁴

Bei der Wiederverwendung handelt es sich um eine wiederholte Benutzung eines Produktes oder Materials für den gleichen Verwendungszweck. Ein Beispiel dieser Methode ist das Recycling von Glaspfandflaschen, da diese nach dem Gebrauch für die gleiche Verwendung nochmals genutzt werden. Aber auch die Automobilbranche lebt von der Wiederverwendung, da in diesem Wirtschaftszweig große Mengen an kostengünstigen Ersatzteilen benötigt werden.

Findet der in dieser Arbeit vorgestellte Verbundwerkstoff in der Automobilbranche Anwendung, so könnte man ihn, vorausgesetzt er ist auf Grund der Nutzung nicht beschädigt, nach diesem Prinzip recyceln. So bieten schließlich Autoverwertungen, welche gebrauchte Teile zum Verkauf anbieten, diese Art des Recyclings an.

Die Weiterverwertung hingegen ist eine Methode, welche die chemischen Grundstoffe aus Abfällen wiedergewinnt und diese in den Produktionsprozess zurückführt⁵⁵. So werden Plastikflaschen nach diesem Prinzip recycelt. Nach der Nutzung werden sie unabhängig vom Zustand zerkleinert und eingeschmolzen um das vorliegende Material wieder in den Produktionsprozess einzubinden. Da Plastikflaschen gegenüber Glasflaschen nicht so robust sind, ist diese Art des Recyclings sinnvoller und effizienter. Auch bei geschlossporigem Aluminiumschaum mit Polypropylen-Ummantelung ist dieses Prinzip der Wiedernutzung möglich. So könnte durch Wärmezufuhr der Kunststoff vom beschädigten Verbundwerkstoff getrennt werden. Da die Schmelztemperatur von Polypropylen zwischen 160 °C – 170 °C⁵⁶ und die des Aluminiumschaum bei 660 °C⁵⁷ liegt, ist diese Art des Recyclings realistisch.

Im Straßenbau, vor allem als Leitplanken, könnte der Verbundwerkstoff Anwendung finden. Die Bedeutung der Weiterverwertung könnte dann steigen, da gerade in Gebieten wie diesen, das Risiko einer Beschädigung der hybriden Werkstoffkombination⁵⁸ hoch ist. Durch das Abschmelzen des Polypropylens vom Aluminiumschaum kann der Werkstoff wieder verwendet werden. Genauso kann darauf das Leichtmetall eingeschmolzen und in den Produktionsprozess zurückgeführt werden.

Die dritte Art des Recyclings ist die Weiterverwendung. Nach dieser Methode werden die Abfälle für neue Anwendungsbereiche nach geeigneter physikalischer, chemischer oder biologischer Vorbereitung weiterverarbeitet. So könnte der Verbundwerkstoff, wie beschrieben durch Wärmezufuhr, getrennt und verwertet werden. Das Polypropylen dient so

⁵³ Siehe Anhang Seite 9

⁵⁴ Vgl. <http://nachhaltigkeit.na.funpic.de/sites/begriffe/recycling.htm> (21.10.2011)

⁵⁵ Vgl. <http://nachhaltigkeit.na.funpic.de/sites/begriffe/recycling.htm> (21.10.2011)

⁵⁶ Vgl. <http://www.ceresana.com/de/wisöpsen/produkte/kunststoffe/polypropylen/> (21.10.11)

⁵⁷ Vgl. <http://www.ib-rauch.de/okbau/bauchemie/aluminium.html> (18.10.2011)

⁵⁸ Siehe auch Anhang Seite 5

für Anwendungsgebiete, wie Armaturen, Fittings und Rohrleitungen⁵⁹. Auch der Aluminiumschaum ist nach dem Einschmelzen als Reinaluminium anderweitig einsetzbar. Die Anwendungsgebiete hierfür sind umfangreich und vielseitig.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass ein Recycling auf verschiedene Arten, je nach Gebrauch und Anwendungsgebiet, zu realisieren ist. Dennoch ist eine Überprüfung der Kosten der Recyclingmethoden notwendig, um entscheiden zu können ob ein Profit gewährleistet werden kann.

8. Zusammenfassung

Aluminiumschaum mit einer Polypropylen-Ummantelung ist ein hybrider Werkstoff, welcher in erster Linie die beiden Eigenschaften, der hohen Formstabilität des Thermoplasts und die geringe Dichte des Aluminiumschaums, in einem Material vereint. Dies wurde in der Facharbeit über die mechanische Kennwertermittlung, die den Dreipunkt-Biegeversuch und den Druckversuch beinhaltet, ermittelt. Anschließend wurde jeweils das Energieaufnahmevermögen des Aluminiumschaums und der einzelnen Hybridproben verglichen. Durch die metallografische Analyse gewann man Einblicke auf die mechanische Verklammerung beider Materialien sowie auch auf mögliche Schwachstellen im Verbund. Anhand dieser Untersuchungen konnten weitere Eigenschaften ermittelt werden. Durch die Vielfalt dieser Eigenschaften eröffnet sich ein weites Anwendungsgebiet des hybriden Werkstoffs in der Praxis.

Die Herstellung des Verbundwerkstoffs ist derzeit jedoch noch nicht mit einem kontinuierlichen Arbeitsablauf zu vergleichen, wodurch immer wieder Fehler im Materialverbund auftreten. Um diese eines Tages ausschließen zu können bedarf es einer weiterführenden Forschung des hybriden Werkstoffs. Schon jetzt ist aber klar, dass durch das hohe Anwendungspotenzial und die Möglichkeit eines geeigneten Recyclingverfahren die Grundsteine für eine industrielle Nutzung gelegt sind.

Summary

The paper at hand investigates the advantages of aluminum foam polypropylene compound over aluminum foam alone. There are two different kinds of aluminum foam, one with opened pores and one with closed pores. Both materials were examined regarding the structure of the surface and mechanical properties. To carry out the investigations of the surface the samples must be prepared by polishing and cleaning. These preparations are necessary to have a clear picture under the microscope. The samples were examined under three different microscopes, two light microscopes to examine the surface visually and a scanning electron microscope to examine the material composition on the surface. On the other hand we made mechanical tests with the material to find out how much energy the material can absorb. These investigations show the properties of aluminum foam polypropylene compound. In comparison with aluminum foam alone you can see that the polypropylene sheath causes higher energy absorption and a smooth surface. These new properties offer new applications for this material. For aluminum foam with closed pores are these applications improvements in car

⁵⁹ Vgl. <http://www.kunststoffdrehteile.de/v2/leistungen/pdf/PP.pdf> (17.10.11)

manufacturing since using the compound material saves weight of vehicles without compromising safety. Aluminum with opened pores and a polypropylene sheath cannot absorb as much energy as aluminum foam with closed pores and polypropylene sheath, but the opened pores make it possible to use aluminum foam with opened pores as catalyst because gases and liquids can go through it. All in all this new material can be used many-sided but the production must be optimized to make aluminum foam useful for manufacturing.

Literaturverzeichnis

1. Buchquellen:

Hipke/ Lange/ Poss: Taschenbuch für Aluminiumschäume, S. 02 ff

Hipke/ Lange/ Poss: Taschenbuch für Aluminiumschäume, S. 12 ff

Hipke/ Lange/ Poss: Taschenbuch für Aluminiumschäume, S. 06

2. Internetquellen:

Quelle	Datum
http://www.aluminiumschaum.jsohnimpex.com/5%20Aluminiumfoam.htm	(21.08.11)
http://www.aluminiumschaum.jsohnimpex.com/9%20Energieabsorption.html	(21.08.11)
http://www.ceresana.com/de/wisoesen/produkte/kunststoffe/polypropylen/	(21.08.11)
http://www.chemie-grundlagen.de/grundlagen/endothyme-reaktion/4	(07.10.11)
http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/thermopl.html	(19.10.11)
http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polypropylen.htm	(21.08.11)
http://www.duden.de/rechtschreibung/Pore	(17.10.11)
http://www.duden.de/rechtschreibung/konventionell	(21.08.11)
http://www.hirschvogel.de/de/massivumformung/warmumformung.php	(19.10.11)
http://www.ib-rauch.de/okbau/bauchemie/aluminium.html	(18.10.11)
http://www.kunststoffdrehteile.de/v2/leistungen/pdf/PP.pdf	(21.08.11)
http://www.lmpv.de/alt/pdf/lwd_Impv_poss.pdf	(07.10.11)
http://www.metallschaum.info/de/eigenschaften/physikalische	(21.08.11)
http://nachhaltigkeit.na.funpic.de/sites/begriffe/recycling.htm	(21.10.11)
http://www.process.vogel.de/index.cfm?pid=2995&title=Titandihydrid	(19.10.11)
http://www.rose-plastic.de/108.0.html	(19.10.11)
http://www.techniker-forum.de/konstruktion-52/unterschied-steifigkeit-festigkeit-46641.html	(19.10.11)
http://www.tu-dresden.de/mwiwwwz/wsz/download/wstech/Zugversuch.pdf	(19.10.11)
http://www.tu-lmenau.de/studieninteressierte/studieren/bachelor/werkstoffwissenschaft/	(19.10.11)
http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Homogenit%E4t.html	(18.10.11)
http://www.uni-ulm.de/elektronenmikroskopie/REMHerbst2001.html	(19.10.11)
http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/mikroskop/img_	

mikroskop/mikroskop_auflicht.png	(20.10.11)
http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/mikroskop/bauarten/3_auflicht.htm	(20.10.11)
http://www.wagner-mem.de/html/body_anatomie1.html	(20.10.11)
http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/v/viskositatet.htm	(12.09.11)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/63/Low_pressure_permanent_mold_casting_schematic-de.svg/290px-Low_pressure_permanent_mold_casting_schematic-de.svg.png	(20.10.11)
http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polypropylen_GS	(21.08.11)
http://de.wikipedia.org/wiki/Porosit%C3%	(20.10.11)
http://de.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A4parat	(18.10.11)
http://de.wikipedia.org/wiki/Elastizitätsmodul	(21.08.11)
http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/wirtschaftlichkeit/wirtschaftlichkeit.htm	(19.10.11)