



(11) **EP 1 987 999 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.11.2008 Patentblatt 2008/45**

(51) Int Cl.:  
**B61D 15/06 (2006.01) B61D 17/00 (2006.01)**  
**B61D 17/06 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **08103340.9**

(22) Anmeldetag: **02.04.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA MK RS**

(72) Erfinder:  
• **Franze, Klaus-Dieter**  
**06844, Dessau (DE)**  
• **Klamka, Heinz**  
**16761, Hennigsdorf (DE)**  
• **Prockat, Jan**  
**12559, Berlin (DE)**

(30) Priorität: **02.05.2007 DE 102007020833**  
**12.06.2007 DE 102007027591**

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**  
**Patent- und Rechtsanwälte**  
**Bleichstrasse 14**  
**40211 Düsseldorf (DE)**

(71) Anmelder: **Bombardier Transportation GmbH**  
**10785 Berlin (DE)**

(54) **Fahrzeugverkleidung, insbesondere für ein Schienenfahrzeug**

(57) Fahrzeugverkleidung, insbesondere für ein Schienenfahrzeug, mit wenigstens einem Verkleidungselement (105), wobei das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zumindest einen Teil der Hülle, insbesondere der Außenhülle, eines Fahrzeugs (101) ausbildet und das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zumindest abschnittsweise aus wenigstens einer Verbundstruktur aufgebaut ist, und wobei das Verkleidungsele-

ment (105) wenigstens einen ersten Abschnitt (105.1) und einen benachbarten zweiten Abschnitt (105.2) aufweist und das Verkleidungselement (105) zumindest in einem Übergangsbereich (105.3) zwischen dem ersten Abschnitt (105.1) und dem zweiten Abschnitt (105.2) derart gegenüber dem ersten Abschnitt (105.1) geschwächt ausgebildet ist, dass in einer vorgebbaren Crashsituation in dem Übergangsbereich (105.3) ein definiertes Versagen des Verkleidungselements (105) erfolgt.

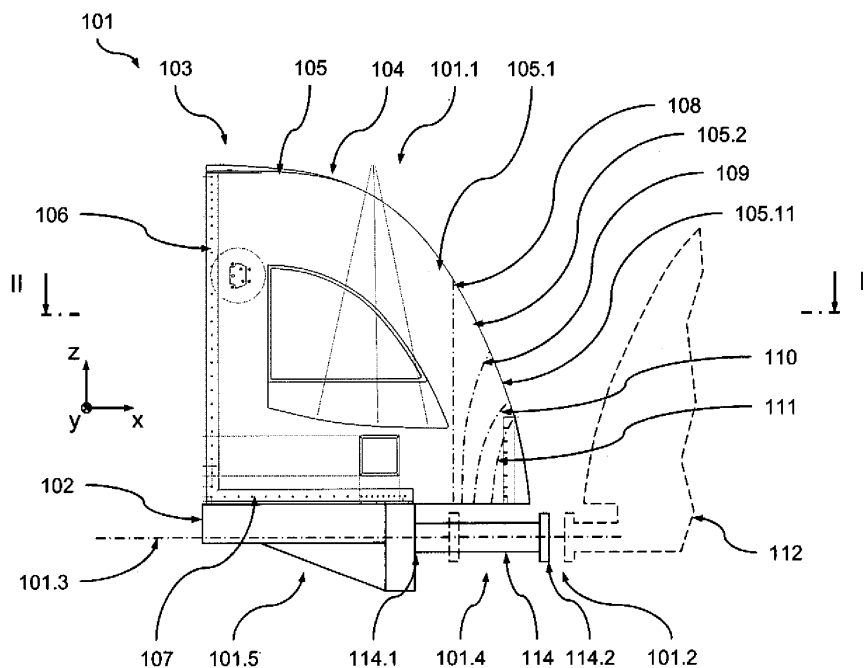


Fig. 1

**EP 1 987 999 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Fahrzeugverkleidung, insbesondere für ein Schienenfahrzeug, mit wenigstens einem Verkleidungselement, wobei das Verkleidungselement zumindest einen Teil der Hülle eines Fahrzeugs, insbesondere der Außenhülle eines Fahrzeugs, ausbildet und das Verkleidungselement zumindest abschnittsweise aus wenigstens einer Verbundstruktur aufgebaut ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Fahrzeug mit einer solchen Fahrzeugverkleidung, einen Bauteilsatz für die Außenverkleidung eines Fahrzeugs sowie eine Reparaturverfahren für eine Fahrzeugverkleidung.

**[0002]** Bei der Entwicklung moderner Fahrzeuge für den Transport von Personen oder Gütern, insbesondere der Entwicklung moderner Schienenfahrzeuge, legen die späteren Betreiber des Fahrzeugs in zunehmendem Maße Wert auf die Crashtauglichkeit des Fahrzeugs. Diese Tendenz ist nicht zuletzt durch die immer schärfer werdenden Vorgaben der Zulassungsbehörden bedingt, welche die Freigabe des Fahrzeugs für den öffentlichen Verkehr vergeben.

**[0003]** So legt beispielsweise die europäische "TSI für das Hochgeschwindigkeitsbahnsystem gemäß Richtlinie 96/48/EG des Rates" unterschiedliche Crashszenarien und Anforderungen fest, welchen die Schienenfahrzeuge für ihre Zulassung zu öffentlichen Verkehr genügen müssen. Gemäß dieser Spezifikation muss unter anderem bei drei unterschiedlichen Crashszenarien (Kollision gleichartiger Schienenfahrzeuge, Kollision des Schienenfahrzeugs mit einem Güterzug und Kollision des Schienenfahrzeugs mit einem quer stehenden Lastkraftwagen bzw. deformierbaren Hindernis) nachgewiesen werden, dass sich die Verformung des Schienenfahrzeugs und damit die Energieabsorption im Crashfall auf eine speziell dafür vorgesehene vordere (gegebenenfalls mit entsprechenden Crashenergieabsorbern versehene) Crashsektion beschränkt und dabei keine größeren Gegenstände in den Führerraum des Schienenfahrzeugs eindringen, die andernfalls den Fahrzeugführer gefährden könnten.

**[0004]** Im tatsächlichen Betrieb eines Schienenfahrzeugs stellen diese extremen Crashszenarien jedoch glücklicherweise den Ausnahmefall dar. Kommt es zu Kollisionen, sind diese in der Regel leichter Art und führen nur zu geringeren Schäden am Fahrzeug.

**[0005]** Nichtsdestotrotz wird auch bei solchen leichten Kollisionen, beispielsweise mit kleineren Hindernissen, häufig die Fahrzeugverkleidung im Kopfbereich des Fahrzeugs beschädigt, die bei modernen Schienenfahrzeugen in der Regel aus einer ein- oder mehrteiligen Schale aus einer Verbundstruktur im Wesentlichen konstanter Wandstärke aufgebaut ist.

**[0006]** Problematisch hierbei ist, dass es bei diesen einstückigen Verkleidungen, insbesondere bei Verkleidungen aus Faserverbundwerkstoff, im Crashfall zu einer kaum kontrollierbaren Rissausbreitung kommt, so-

dass sich in jedem Schadensfall ein individuelles Schadensbild ergibt. Hierbei pflanzen sich die entstehenden Risse nicht selten über große Strecken aus, sodass vergleichsweise großflächige Beschädigungen entstehen.

**[0007]** Herkömmlicherweise ist es im Fall einer leichteren Kollision jedoch nicht erforderlich, die gesamte Fahrzeugverkleidung auszutauschen, sondern es wird lediglich der beschädigte Teil ersetzt. Hierzu wird in der Regel der beschädigte Teil der Schale weggeschnitten, sodass ein sauberer Anschlussbereich für ein Austauschbauteil entsteht, welches dann den entfernten Teil der Schale ersetzt. Dieses Austauschbauteil wird mit dem verbleibenden Teil der Schale verbunden (im Fall einer Faserverbundstruktur beispielsweise verklebt und mit einer die Fugestelle überspannenden Decklage versehen) und die entstehende Oberfläche dann entsprechend behandelt (Schleifen, Lackieren etc.).

**[0008]** Nachteilig ist in diesem Zusammenhang weiterhin, dass das Austauschbauteil jeweils für den individuellen Schadensfall maßgeschneidert werden muss. Dies ist ein vergleichsweise komplexer und zeitaufwändiger Prozess, der zudem entsprechend lange Ausfallzeiten des Fahrzeugs mit sich bringt.

**[0009]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine Fahrzeugverkleidung, ein Fahrzeug, einen Bauteilsatz sowie ein Reparaturverfahren der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, welche die oben genannten Nachteile nicht oder zumindest in deutlich geringerem Maße aufweisen und insbesondere bei einem vorgebbaren Crashszenario eine einfache und schnelle Reparatur der Fahrzeugverkleidung ermöglichen.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgabe ausgehend von einer Fahrzeugverkleidung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale.

**[0011]** Der vorliegenden Erfindung liegt die technische Lehre zu Grunde, dass man bei einem vorgebbaren Crashszenario eine einfache und schnelle Reparatur der Fahrzeugverkleidung ermöglicht, wenn in der Fahrzeugverkleidung eine Sollbruchstelle vorgesehen wird, in deren Bereich die Fahrzeugverkleidung im Fall eines Crashes definiert versagt. Das definierte Versagen hat zum einen den Vorteil, dass im Bereich der Sollbruchstelle die unkontrollierte Rissausbreitung unterbrochen bzw. in eine kontrollierte Rissausbreitung im Bereich der Sollbruchstelle kanalisiert werden kann. Hierdurch beschränkt sich zum einen die Beschädigung auf den kollisionsseitig der Sollbruchstelle liegenden Bereich der Fahrzeugverkleidung, sodass es zu keinen unnötigen, großflächigen Beschädigungen kommt.

**[0012]** Zum anderen erlaubt das Vorsehen der Sollbruchstelle ein wirtschaftliches Vorhalten von vorgefertigten Austauschbauteilen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Fahrzeugverkleidung nur bis zur Sollbruchstelle versagt. Zur Reparatur muss dann nur der beschädigte Teil bis zur Sollbruchstelle oder gegebenenfalls nur leicht über diese hinaus entfernt werden, um

einen sauberen Anschlussbereich am intakten Teil der Fahrzeugverkleidung zu erzielen. Das Austauschbauteil kann bereits die entsprechenden Anschlussmaße aufweisen, sodass nur noch am intakten Teil der Anschlussbereich herzustellen ist. Hierbei kann die Gestaltung der Sollbruchstelle selbst gegebenenfalls ein ausreichend präzises Führungselement für die zum Erstellen des Anschlussbereichs verwendeten Werkzeuge zur Verfügung stellen.

**[0013]** Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass das vorgebbare Crashszenario bzw. der vorgebbare Crashfall in der Regel den Extremfall darstellt, auf den die Struktur des Fahrzeugs, insbesondere dessen Energieverzehrsystem, ausgelegt ist und bei dem für Passagiere und Fahrzeug noch akzeptable Bedingungen herrschen. Dieses Szenario kann beispielsweise von Staat zu Staat bzw. von Betreiber zu Betreiber variieren, ist jedoch für jedes Fahrzeug der entsprechenden Normen bzw. Betriebsvorschriften exakt vorgegeben.

**[0014]** Gemäß einem Aspekt der Erfindung betrifft diese daher eine Fahrzeugverkleidung, insbesondere für ein Schienenfahrzeug, mit wenigstens einem Verkleidungselement, wobei das Verkleidungselement zumindest einen Teil der Hülle eines Fahrzeugs, insbesondere der Außenhülle eines Fahrzeugs, ausbildet und das Verkleidungselement zumindest abschnittsweise aus wenigstens einer Verbundstruktur, insbesondere einer Faserverbundstruktur, aufgebaut ist. Das Verkleidungselement weist wenigstens einen ersten Abschnitt und einen benachbarten zweiten Abschnitt auf. Weiterhin ist das Verkleidungselement zumindest in einem Übergangsbereich zwischen dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt derart gegenüber dem ersten Abschnitt geschwächt ausgebildet, dass in einer vorgebbaren Crashsituation in dem Übergangsbereich ein definiertes Versagen des Verkleidungselements erfolgt.

**[0015]** Der Übergangsbereich mit seiner Schwächung kann auf beliebige geeignete Weise hergestellt sein. So kann er beispielsweise dadurch hergestellt sein, dass zwei zunächst separate Teilelemente in diesem Bereich miteinander verbunden werden, insbesondere miteinander verklebt werden, wobei die Schwächung in diesem Bereich gezielt durch die Verbindung hergestellt wird. Beispielsweise kann hier bewusst eine Verbindung, z. B. eine Verklebung, mit gegenüber dem ersten Abschnitt reduzierter Biegesteifigkeit und/oder Scherfestigkeit etc. gewählt werden, um im Crashfall bei einer bestimmten Last ein definiertes Versagen der Verbindung zu erzielen.

**[0016]** Bei vorteilhaften Varianten der Erfindung ist allerdings vorgesehen, dass die Schwächung innerhalb einer durchgehenden Verbundstruktur vorgesehen ist. Dies hat den Vorteil, dass das Verkleidungselement aus einem Stück in herkömmlicher Verbundbauweise gefertigt sein kann, wodurch sich seine Herstellung und Handling vereinfachen. Bevorzugt ist daher vorgesehen, dass das Verkleidungselement in dem Übergangsbereich eine sich von dem ersten Abschnitt in den zweiten Abschnitt

erstreckende Verbundstruktur aufweist und die Verbundstruktur zumindest in dem Übergangsbereich gegenüber dem ersten Abschnitt geschwächt ausgebildet ist.

**[0017]** Die Schwächung kann einfach dadurch erzielt werden, dass der erste Abschnitt und der zweite Abschnitt unterschiedlich aufgebaut sind, sodass sie eine unterschiedliche Biegesteifigkeit, eine unterschiedliche Scherfestigkeit, eine unterschiedliche Bruchfestigkeit etc. aufweisen. Der Übergang zwischen den beiden unterschiedlich aufgebauten Abschnitten kann dann zudem so gestaltet sein, dass sich in dem Übergangsbereich eine hohe Kerbwirkung ergibt, sodass es im Crashfall durch die Spannungskonzentration in diesem Übergangsbereich zu einem definierten Versagen kommt. Ebenso kann aber auch vorgesehen sein, dass der erste Abschnitt und der zweite Abschnitt gleich aufgebaut sind und nur im Übergangsbereich eine entsprechende Schwächung vorgesehen ist. Maßgeblich ist jeweils lediglich, dass im Bereich der Schwächung eine entsprechende Kerbwirkung vorliegt, sodass es im Crashfall durch die Spannungskonzentration im Bereich der Schwächung zu einem definierten Versagen des Verkleidungselements kommt. Die Schwächung muss dabei insbesondere nicht durch eine Reduktion der Wandstärke des Verkleidungselements erzielt werden. Vielmehr kann gegebenenfalls eine solche Kerbwirkung auch durch eine Erhöhung der Wandstärke des Verkleidungselements erzielt werden.

**[0018]** Bei weiteren Varianten der Erfindung weist die Verbundstruktur in dem Übergangsbereich eine strukturelle Schwächung auf. Diese strukturelle Schwächung kann auf beliebige geeignete Weise hergestellt werden. So können beispielsweise in die Verbundstruktur beliebige Fehlstellen eingebaut werden, um die strukturelle Schwächung zu erzielen.

**[0019]** Bei der Verbundstruktur kann es sich um eine beliebige Verbundstruktur handeln, aus der Verkleidungselemente für Fahrzeuge hergestellt werden. So kann es sich beispielsweise um eine Verbundstruktur aus mehreren Schichten gleicher oder unterschiedlicher Materialien handeln. Beispielsweise kann eine Verbundstruktur mit wenigstens einer Decklage aus Metall und/oder Kunststoff und weiteren Lagen aus Metall und/oder Kunststoff und/oder sonstigen geeigneten Materialien verwendet werden. Insbesondere können für wenigstens eine der weiteren Lagen beliebige Schaumelemente und/oder Wabenelemente (jeweils aus Metall und/oder Kunststoff) verwendet werden. Ebenso können wenigstens eine der Decklagen und wenigstens eine der weiteren Lagen einstückig miteinander verbunden sein. Beispielsweise kann hierfür ein Metall- oder Kunststoffelement vorgesehen sein, welches eine geschlossene Oberfläche aber einen offen- und/oder geschlossenenporigen Kernbereich aufweist. Wie bereits erwähnt, lässt sich die vorliegende Erfindung besonders vorteilhaft im Zusammenhang mit Faserverbundstrukturen einsetzen, die zumindest teilweise aus einem Faserverbundwerkstoff aufgebaut sind, da bei diesen Werkstoffen die nach-

teilige unkontrollierte Rissausbreitung besonders stark zum Tragen kommen kann.

**[0020]** Bei bevorzugten Varianten der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung ist beispielsweise vorgesehen, dass die Verbundstruktur aus mehreren Struktur-  
5 lagen aufgebaut ist und wenigstens eine der Struktur-  
lagen zur Ausbildung der strukturellen Schwächung unterbrochen ist.

**[0021]** Bei weiteren bevorzugten, weil besonders einfach herzustellen Varianten der Erfindung ist zur Ausbil-  
10 dung der strukturellen Schwächung ein Schwächungs-  
element in die Verbundstruktur eingebunden, insbeson-  
dere in diese einlamiert ist. Das Schwächungselement  
kann so ausgebildet sein, dass es in der ansonsten un-  
unterbrochenen Schichtstruktur lediglich eine Span-  
nungsumlenkung mit einer entsprechend hohen Kerb-  
wirkung und daraus resultierender Spannungskonzen-  
tration erzeugt, die im Crashfall zu einem definierten Ver-  
sagen in diesem Bereich führt. Ebenso kann das Schwä-  
chungselement aber beispielsweise auch eine oder meh-  
rere Lagen der Verbundstruktur unterbrechen.

**[0022]** Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das  
Schwächungselement selbst eine Schwächung im Verbund  
des Verkleidungselements darstellt. Bei bevorzugten  
Varianten der erfindungsgemäßen Fahrzeugverklei-  
dung weist die Verbundstruktur außerhalb des Über-  
gangsbereichs eine erste Scherfestigkeit auf. Das  
Schwächungselement und/oder die Verbindung zwi-  
schen dem Schwächungselement und einem angren-  
zenden Abschnitt der Verbundstruktur weisen demge-  
genüber eine zweite Scherfestigkeit auf, wobei die zweite  
Scherfestigkeit kleiner ist als die erste Scherfestigkeit.  
Das definierte Versagen wird demgemäß dann im Be-  
reich des Verbundes zwischen dem Schwächungsele-  
ment und den angrenzenden Teilen der Verbundstruktur  
bzw. zusätzlich oder alternativ innerhalb des Schwä-  
chungselement selbst initiiert.

**[0023]** Das Schwächungselement kann als massives  
Bauteil ausgeführt sein. Ebenso kann sich bei dem  
Schwächungselement aber auch um einen Körper mit  
einem oder mehreren Hohlräumen handeln. Schließlich  
kann auch vorgesehen sein, dass das Schwächungsele-  
ment kein physisches Element ist, sondern lediglich ein  
Hohlraum, der auf geeignete Weise innerhalb der Ver-  
bundstruktur erzeugt wurde.

**[0024]** Die Art der Schwächung kann auf beliebige ge-  
eignete Weise gewählt sein. Vorzugsweise ist sie ent-  
sprechend der Art des im Crashfall zu erwartenden Last-  
falles bzw. Spannungszustandes im Übergangsbereich  
gewählt. So kann beispielsweise eine Herabsetzung der  
Scherfestigkeit in dem Übergangsbereich vorgesehen  
sein, wenn im Crashfall hauptsächlich eine Scherbelas-  
tung im Übergangsbereich zu erwarten ist.

**[0025]** Bei bevorzugten Varianten der erfindungsgemä-  
50 ßen Fahrzeugverkleidung ist vorgesehen, dass das  
Verkleidungselement ein flächiges Element ist und das  
Verkleidungselement in dem ersten Abschnitt eine erste  
Biegesteifigkeit um eine Biegeachse aufweist und in dem

Übergangsbereich eine zweite Biegesteifigkeit um die  
Biegeachse aufweist, wobei die Biegeachse in einer Ebe-  
ne liegt, die senkrecht zu einer Flächennormalen des  
Verkleidungselements im Übergangsbereich verläuft.  
5 Die Schwächung wird hierbei dadurch erzielt, dass die  
erste Biegesteifigkeit größer ist als die zweite Biegestei-  
figkeit.

**[0026]** Der Unterschied in der Biegesteifigkeit kann da-  
bei auf beliebige geeignete Weise, insbesondere in Ab-  
hängigkeit von der im Crashfall zu erwartenden Bela-  
stung gewählt werden. Bevorzugt beträgt die zweite Bie-  
gesteifigkeit höchstens 80%, vorzugsweise höchstens  
60%, weiter vorzugsweise etwa 40% bis 50%, der ersten  
Biegesteifigkeit.

**[0027]** Wie bereits oben erwähnt, kann die Schwä-  
10 chung nur in dem Übergangsbereich vorgesehen sein.  
Bei anderen Varianten der Erfindung kann aber auch vor-  
gesehen sein, dass der gesamte zweite Abschnitt ge-  
genüber dem ersten Abschnitt geschwächt ist. Demge-  
mäß weist bei bestimmten Varianten der erfindungsgemä-  
ßen Fahrzeugverkleidung das Verkleidungselement  
in dem zweiten Abschnitt eine dritte Biegesteifigkeit um  
die Biegeachse auf, die geringer ist als die erste Biege-  
steifigkeit. Die dritte Biegesteifigkeit kann dabei gegeb-  
25 enfalls der zweiten Biegesteifigkeit entsprechen. Sie  
kann aber auch unterhalb oder oberhalb der zweiten Bie-  
gesteifigkeit liegen.

**[0028]** Es kann ausreichen, den Übergangsbereich  
nur abschnittsweise vorzusehen, sofern sichergestellt  
ist, dass sich dann auch in den anderen Bereichen ein  
definiertes Versagen einstellt und es nicht zu einer un-  
kontrollierten Rissausbreitung oder dergleichen in den  
ersten Abschnitt hinein kommt. Mit anderen Worten kann  
es ausreichen, dass der Übergangsbereich eine Trigger-  
funktion für ein definiertes Versagen erfüllt.

**[0029]** Ein zuverlässiges definiertes Versagen kann  
auf einfache Weise erzielt werden, wenn sich der Über-  
gangsbereich im Wesentlichen durch das gesamte Ver-  
kleidungselement hindurch erstreckt, sodass an jeder  
40 Stelle eine klare Trennung zwischen dem ersten Ab-  
schnitt und im zweiten Abschnitt vorliegt.

**[0030]** Die Position des Übergangsbereichs kann auf  
beliebige geeignete Weise gewählt sein. Bevorzugt ist  
der Übergangsbereich dort angeordnet, wo im Crashfall  
die Grenze zu dem Bereich liegt, der durch das zu er-  
wartende Eindringen eines Crashpartners in jedem Fall  
zerstört wird. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass  
nur der Teil ersetzt werden muss, der im Crashfall ohne-  
hin zwingend durch den in die Fahrzeugstruktur eindrin-  
genden Crashpartner zerstört werden würde.

**[0031]** Bei bevorzugten Varianten der erfindungsgemä-  
55 ßen Fahrzeugverkleidung ist das Verkleidungsele-  
ment zur Montage in einem Endbereich einer Fahrzeug-  
struktur vorgesehen, wobei in dem Endbereich wenig-  
stens ein Stoßenergieverzehrelement mit seinem einen  
Ende an der Fahrzeugstruktur befestigt ist. Das Stoßener-  
gieverzehrelement ist dazu ausgebildet, in der vorgeb-  
baren Crashsituation unter Verschiebung seines ande-

ren Endes entlang der Längsrichtung der Fahrzeugstruktur in eine Endposition Stoßenergie zu verzehren. Der Übergangsbereich ist in Längsrichtung der Fahrzeugstruktur in dem Bereich der Endposition angeordnet.

**[0032]** Durch diese Anordnung des Übergangsbereichs ist auf einfache Weise sichergestellt, dass nur der tatsächlich im Crashfall betroffene Bereich ausgetauscht werden muss. So sind an einem Fahrzeug in der Regel Stoßenergieverzehrelemente vorgesehen, die derart auf den betreffenden Crashfall ausgelegt sind, dass (gegebenenfalls mit einem gewissen Sicherheitsfaktor) am Ende ihrer nominellen Verschiebung, also in ihrer Endposition, die gesamte Stoßenergie aufgenommen ist und kein weiteres Eindringen des Stoßpartners mehr in die Struktur des Fahrzeugs zu erwarten ist.

**[0033]** Der Übergangsbereich kann unmittelbar auf der Höhe der Endposition des Stoßenergieverzehrelements angeordnet sein. Dabei kann insbesondere im Bereich der Schienenfahrzeuge (mit der unter statistischen Gesichtspunkten vergleichsweise geringen Variation von Stoßpartnern) unter anderem eine zu erwartende Geometrie des Stoßpartners bzw. eine zu erwartende Schadensgeometrie berücksichtigt werden, sodass der Übergangsbereich nicht notwendigerweise in einer zur Fahrzeuglängsachse senkrechten Ebene verlaufen muss, sondern auch einen geeignet gekrümmten Verlauf haben kann.

**[0034]** Vorzugsweise ist der Übergangsbereich in Längsrichtung der Fahrzeugstruktur hinter der Endposition angeordnet, um hier eine gewisse Sicherheit zu erzielen, dass nicht durch ungünstig deformierte und damit hervorstehende Bereiche des Stoßpartners doch eine Zerstörung der Fahrzeugverkleidung über den Übergangsbereich hinaus erfolgt.

**[0035]** Es kann ausreichen, lediglich einen einzigen Übergangsbereich vorzusehen, der das extreme Crashszenario berücksichtigt, sodass gegebenenfalls auch bei Unfällen mit geringerer Stoßenergie der durch das Versagen im Übergangsbereich vorgegebene Teil der Fahrzeugverkleidung beschädigt wird und ausgetauscht werden muss. Bei bevorzugten Varianten der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung ist jedoch ein kaskadiertes Versagensschema mit mehreren in Stoßrichtung hintereinander angeordneten Übergangsbereichen vorgesehen, sodass bei einem Aufprall mit geringerer Stoßenergie (als in der vorgebbaren Crashsituation) nur in einem oder mehreren vorderen Übergangsbereichen erfolgt, während ein oder mehrere in Stoßrichtung dahinter liegende Übergangsbereiche intakt bleiben.

**[0036]** Die Schwächung kann in dem jeweiligen Übergangsbereich unterschiedlich stark gewählt sein, um sicherzustellen, dass eine näher am stoßseitigen Fahrzeug liegender Übergangsbereich früherer versagt als ein weiter davon entfernter Übergangsbereich. Eine solche Abstufung der Schwächung kann aber auch fehlen, wenn beispielsweise über die Rissausbreitung in der Fahrzeugverkleidung sichergestellt ist, dass immer zu-

nächst der aktuell am weitesten vorne liegende Übergangsbereich versagt.

**[0037]** Bevorzugt ist demgemäß vorgesehen, dass das Verkleidungselement wenigstens einen dem zweiten Abschnitt benachbarten dritten Abschnitt aufweist und das Verkleidungselement zumindest in einem weiteren Übergangsbereich zwischen dem zweiten Abschnitt und dem dritten Abschnitt derart gegenüber dem zweiten Abschnitt geschwächt ausgebildet ist, dass in der vorgebbaren Crashsituation in dem weiteren Übergangsbereich ein definiertes Versagen des Verkleidungselements erfolgt. Vorzugsweise ist der weitere Übergangsbereich dann zwischen dem zweiten Abschnitt und dem dritten Abschnitt in Längsrichtung der Fahrzeugstruktur vor dem Übergangsbereich zwischen dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt angeordnet.

**[0038]** Es versteht sich, dass der Übergangsbereich bevorzugt derart angeordnet ist, dass der nach einem Zusammenstoß auszutauschende Teil der Verkleidung so klein wie möglich gehalten wird. Bei bevorzugten Varianten der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung ist das Verkleidungselement zur Montage in einem Endbereich einer Fahrzeugstruktur vorgesehen ist, wobei die Fahrzeugstruktur eine in der vorgebbaren Crashsituation zur Energieaufnahme durch Deformation vorgesehene vordere Sektion und eine in der Längsrichtung daran anschließende, in der vorgebbaren Crashsituation im Wesentlichen unverformte hintere Sektion aufweist. Der Übergangsbereich zwischen dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt ist zu diesem Zweck dann im Bereich des Übergangs zwischen der vorderen Sektion und der hinteren Sektion angeordnet.

**[0039]** Wie bereits oben erwähnt, kann dabei über den Verlauf des Übergangsbereichs eine Anpassung an den zu erwartenden Stoßpartner bzw. die zu erwartende Versagensgeometrie erfolgen. Bevorzugt weist der Übergangsbereich daher einen Verlauf auf, der an eine durch das Eindringen eines Stoßpartners in die Fahrzeugverkleidung bedingte, zu erwartende Zerstörungszone angepasst ist. Wie erwähnt ist es hierbei möglich, dass der Übergangsbereich nicht oder nicht ausschließlich in einer senkrecht zur Längsachse des Fahrzeugs verlaufenden Ebene angeordnet ist. Vielmehr kann der Übergangsbereich zumindest abschnittsweise in einer Längsachse des Fahrzeugs geneigten Ebene verlaufen. Ebenso kann er zumindest abschnittsweise einen in einer Seitenansicht der Fahrzeugstruktur zumindest abschnittsweise gekrümmt ausgebildet aufweisen.

**[0040]** Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Fahrzeug mit einer erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen. Mit einem solchen Fahrzeug lassen sich die oben beschriebenen Vorteile und Varianten in demselben Maße realisieren, sodass auf die obigen Ausführungen verwiesen wird.

**[0041]** Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung einen Bauteilsatz für die Außenverkleidung eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schie-

nenfahrzeugs, umfassend eine erfindungsgemäße Fahrzeugverkleidung (mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen) und wenigstens ein Austauschelement, wobei das Austauschelement den zweiten Abschnitt des Verkleidungselements nachbildet und dazu ausgebildet ist, den zweiten Abschnitt des Verkleidungselements im Fall einer Beschädigung des Verkleidungselements zu ersetzen. Mit einem solchen Bauteilsatz lassen sich die oben beschriebenen Vorteile und Varianten in demselben Maße realisieren, sodass auf die obigen Ausführungen verwiesen wird. Insbesondere ist durch das vorgefertigte Austauschbauteil möglich, ein beschädigtes Fahrzeug kostengünstig und schnell zu reparieren und so seine Ausfallzeiten gering zu halten.

**[0042]** Das Austauschelement kann auf beliebige geeignete Weise gestaltet sein. Bevorzugt bildet das Austauschelement den Übergangsbereich nach, um sicherzustellen, dass auch das reparierte Fahrzeug in einem weiteren Crashfall wiederum das vorteilhafte Versagensverhalten der ursprünglichen Fahrzeugverkleidung aufweist.

**[0043]** Es versteht sich, dass der Bauteilsatz für den Fall eines kaskadierten Versagensschemas, d. h. einer Gestaltung mit mehreren in der Fahrzeuglängsrichtung beabstandeten Übergangsbereichen, mehrere unterschiedliche Austauschelemente aufweisen kann, welche für den Austausch beim Versagen im Bereich unterschiedlicher Übergangsbereiche ausgebildet sind. Sind also beispielsweise drei in Fahrzeuglängsrichtung beabstandete Übergangsbereiche vorgesehen, so können drei unterschiedliche Austauschelemente vorgesehen sein.

**[0044]** Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung schließlich ein Reparaturverfahren für eine erfindungsgemäße Fahrzeugverkleidung (mit den oben beschriebenen Merkmalen), bei dem der zerstörte zweite Abschnitt des Verkleidungselements ersetzt wird. Hierbei wird der Übergangsbereich von dem Verkleidungselement entfernt und ein Austauschelement an dem ersten Abschnitt des Verkleidungselements befestigt, wobei das Austauschelement den zweiten Abschnitt des Verkleidungselements und den Übergangsbereich nachbildet. Mit einem solchen Reparaturverfahren lassen sich die oben beschriebenen Vorteile und Varianten in demselben Maße realisieren, sodass auf die obigen Ausführungen verwiesen wird.

**[0045]** Der Übergangsbereich kann dabei als Referenz für die Arbeiten an dem unbeschädigten Teil der Verkleidung genutzt werden, um auf einfache Weise eine definierte Schnittstelle für das Austauschelement zu erzeugen. Bevorzugt wird daher beim Entfernen des Übergangsbereichs eine Fläche des Übergangsbereichs als Führungsfläche für ein Werkzeug verwendet. Bei diesem Werkzeug kann es sich zum einen um ein Markierungswerkzeug handeln, mit welchem die zu bearbeitende Position an dem unbeschädigten Teil der Verkleidung markiert wird. Ebenso kann es sich aber auch direkt um ein Werkzeug handeln, mit dem in der unbeschädigten Teil

der Verkleidung unmittelbar bearbeitet wird, um den Anschlussbereich für das Austauschelement zu schaffen.

**[0046]** Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen bzw. der nachstehenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche auf die beigefügten Zeichnungen Bezug nimmt. Es zeigt:

Figur 1 einen schematischen Schnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fahrzeugs mit einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung;

Figur 2 einen schematischen Schnitt durch einen Teil der Fahrzeugverkleidung aus Figur 1 (entlang Linie II-II) im unbeschädigten Zustand;

Figur 3 einen schematischen Schnitt durch den Teil der Fahrzeugverkleidung aus Figur 2 im beschädigten Zustand nach einem Zusammenstoß;

Figur 4 einen schematischen Schnitt durch den Teil der Fahrzeugverkleidung aus Figur 2 im zur Reparatur vorbereiteten Zustand;

Figur 5 einen schematischen Schnitt durch den Teil der Fahrzeugverkleidung aus Figur 2 nach der Reparatur;

Figur 6 einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung;

Figur 7 einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung;

Figur 8 einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung.

#### Erstes Ausführungsbeispiel

**[0047]** Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 5 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Fahrzeugs in Form eines Schienenfahrzeugs 101 beschrieben, welches eine Fahrzeugstruktur 102 und einen Wagenkasten 103 mit einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung 104 umfasst.

**[0048]** Zum einfacheren Verständnis der nachfolgenden Erläuterungen ist in den Figuren 1 und 2 ein Koordinatensystem angegeben, in dem die x-Koordinate die

Längsrichtung des Schienenfahrzeugs 101, die y-Koordinate die Querrichtung des Schienenfahrzeugs 101 und die z-Koordinate die Höhenrichtung des Schienenfahrzeugs 101 bezeichnen, die jeweils durch den Wagenkasten 103 definiert werden.

**[0049]** Die Fahrzeugverkleidung 104 bildet die Außenhülle eines Kopfmoduls 101.1 des Fahrzeugs 101 an einem Ende 101.2 des Fahrzeugs 101. Die Fahrzeugverkleidung 104 umfasst ein Verkleidungselement 105, welches über daran befestigte Anschlussprofile 106 und 107 an der (in Figur 1 nicht dargestellten) weiteren Wagenkastenstruktur sowie der Fahrzeugstruktur 102 befestigt ist.

**[0050]** Das Verkleidungselement 105 ist ein mehrfach gekrümmtes, monolithisches Bauteil in Faserverbundbauweise, welches abgesehen von den Fensterflächen im Wesentlichen die gesamte Außenhülle des Kopfmoduls 101.1 bildet..

**[0051]** Wie Figur 1 zu entnehmen ist, weist das Verkleidungselement 105 eine Reihe von Sollbruchstellen 108 bis 111 auf, welche in Richtung der Fahrzeuginnenachse 101.3 voneinander beabstandet angeordnet sind. Die Sollbruchstellen 108 bis 111 erstrecken sich jeweils als durchgehende Linie durch das gesamte Verkleidungselement 105 hindurch. Die Sollbruchstelle 108 verläuft dabei in einer senkrecht zur Fahrzeuginnenachse 101.3 verlaufenden Ebene, während die übrigen Sollbruchstellen 109 bis 111 jeweils in der in Figur 1 dargestellten Seitenansicht zumindest in ihrem oberen Bereich einen nach vorne gekrümmten Verlauf aufweisen, um die zu erwartende Zerstörungsgeometrie bei unterschiedlich hohen Stoßenergien und damit unterschiedlich weit gehendem Eindringen des zu erwartenden Stoßpartners zu berücksichtigen.

**[0052]** Bei einem Zusammenstoß des Fahrzeugs 101 mit einem Hindernis, beispielsweise einem anderen (in Figur 1 durch die gestrichelte Kontur 112 angedeuteten) Schienenfahrzeug, versagt die Fahrzeugverkleidung 104 definiert im Bereich der Sollbruchstellen 108 bis 111. Dabei erfolgt ein kaskadiertes Versagen der Sollbruchstellen 108 bis 111, d. h. es versagt zunächst die vorderste Sollbruchstelle 111. Dringt der Stoßpartner über die vorderste Sollbruchstelle 111 hinaus in die Struktur des Fahrzeugs 101 ein, so versagt als nächstes definiert die nächstliegende Sollbruchstelle 110. Dieses kaskadierte Versagen setzt sich gegebenenfalls fort, bis schließlich die hinterste Sollbruchstelle 108 versagt.

**[0053]** Das definierte Versagen im Bereich der Sollbruchstellen 108 bis 111 hat zum einen den Vorteil, dass im Bereich der jeweiligen Sollbruchstelle 108 bis 111 die unkontrollierte Rissausbreitung unterbrochen bzw. in eine kontrollierte Rissausbreitung im Bereich der Sollbruchstelle kanalisiert wird. Hierdurch beschränkt sich zum einen die Beschädigung auf den kollisionsseitig der Sollbruchstelle 108 bis 111 liegenden Bereich der Fahrzeugverkleidung 104, sodass es zu keinen unnötigen, großflächigen Beschädigungen der Fahrzeugverkleidung 104 kommt.

**[0054]** Zum anderen erlaubt das Vorsehen solcher Sollbruchstellen 108 bis 111 ein wirtschaftliches Verhalten von vorgefertigten Austauschbauteilen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Fahrzeugverkleidung 104 entsprechend der jeweiligen Stoßenergie nur bis zu der Sollbruchstelle versagt, die dem am weitesten in die Struktur des Fahrzeugs 101 eindringenden Teil des Stoßpartners 112 am nächsten liegt. Weiter hinten liegende Teile der Fahrzeugverkleidung 104, insbesondere weiter hinten liegende Sollbruchstellen bleiben hingegen intakt. Zur Reparatur muss dann, wie im Folgenden noch näher erläutert wird, nur der beschädigte Teil bis in den Bereich der Sollbruchstelle entfernt werden, die als letzte versagt hat und demgemäß am weitesten hinten gelegen ist, um einen sauberen Anschlussbereich am intakten Teil der Fahrzeugverkleidung 104 zu erzielen.

**[0055]** Die Gestaltung der jeweiligen Sollbruchstelle 108 bis 111 wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren 2 bis 5 am Beispiel der Sollbruchstelle 108 näher erläutert. Wie Figur 2 zu entnehmen ist, weist das Verkleidungselement 105 einen ersten Abschnitt 105.1 und einen benachbarten zweiten Abschnitt 105.2 auf, die in einem Übergangsbereich 105.3 ineinander übergehen.

**[0056]** Das Verkleidungselement 105 ist als Faserverbundstruktur mit zwei Decklagen 105.4 und 105.8 sowie mehreren Zwischenlagen 105.5 bis 105.7 aufgebaut. Die Sollbruchstelle 108 wird durch eine gezielte strukturelle Schwächung der Faserverbundstruktur des Verkleidungselements 105 in dem Übergangsbereich 105.3 erzielt. Hierzu sind die beiden Zwischenlagen 105.4 und 105.6 durch ein langgestrecktes Schwächungselement 113 unterbrochen, welches in die Faserverbundstruktur einlaminiert ist und sich über die gesamte Länge der Sollbruchstelle 108 erstreckt.

**[0057]** Das Schwächungselement 113 besteht dabei zum einen aus einem Material, welches einen geringeren Elastizitätsmodul aufweist als die angrenzenden Lagen 105.4 bis 105.8, sodass schon alleine hierdurch eine Reduktion der Biegesteifigkeit des Verkleidungselements 105 um eine in Richtung der (in Figur 2 etwa senkrecht zur Zeichnungsebene verlaufenden) Längsachse des Schwächungselements 113 verlaufenden Biegeachse erzielt wird. Die Biegeachse liegt dabei in einer Ebene, die senkrecht zur Flächennormalen N des Verkleidungselements 105 in dem ersten Übergangsbereich 105.3 verläuft. Zusätzlich oder alternativ kann durch eine geeignete Wahl der Eigenschaften der Kontaktfläche des Schwächungselements zu den angrenzenden Lagen 105.4 bis 105.8 eine Reduktion der Biegesteifigkeit des Verkleidungselements 105 erzielt werden.

**[0058]** Die beschriebene Gestaltung bringt in dem Übergangsbereich 105.3 im Übrigen nicht nur die beschriebene Reduktion der Biegesteifigkeit mit sich, auch die Drucksteifigkeit in der Ebene des Verkleidungselements 105 wird durch das Schwächungselement 113 herabgesetzt.

**[0059]** Wie Figur 2 anhand des xyz-Koordinatensystems zu entnehmen ist, ist das Verkleidungselement 105 leicht zur Stoßrichtung geneigt, sodass das Verkleidungselement 105 im Crashfall hauptsächlich auf Druck und Biegung beansprucht wird. Durch die reduzierte Biegesteifigkeit und Drucksteifigkeit des Verkleidungselements 105 in dem ersten Übergangsbereich 105.3 wird im Crashfall, sobald die Zerstörungszone den zweiten Abschnitt 105.2 erreicht, in dem ersten Übergangsbereich 105.3 eine entsprechend starke Kerbwirkung bzw. Spannungskonzentration erzielt, welche zum definierten frühzeitigen Versagen in diesem Übergangsbereich 105.3 führt.

**[0060]** Im vorliegenden Beispiel ist in dem Übergangsbereich 105.3 durch das Schwächungselement 113 nur eine lokale Reduzierung der Biegesteifigkeit bzw. Drucksteifigkeit und damit eine Schwächung des Verkleidungselements 105 vorgesehen. Mit anderen Worten entspricht also die Biegesteifigkeit bzw. Drucksteifigkeit des Verkleidungselements 105 im vorderen, zweiten Abschnitt 105.2 der ersten Biegesteifigkeit bzw. Drucksteifigkeit des Verkleidungselements 105 im hinteren, ersten Abschnitt 105.1. Die zweite Biegesteifigkeit bzw. Drucksteifigkeit des Verkleidungselements 105 in dem Übergangsbereich beträgt dabei etwa 60% der ersten Biegesteifigkeit bzw. Drucksteifigkeit.

**[0061]** Es versteht sich, dass die Schwächung des Verkleidungselements an die Geometrie des Verkleidungselements und damit an den jeweiligen Lastfall angepasst sein kann. Verläuft das Verkleidungselement beispielsweise parallel zur Fahrzeuglängsachse, sodass hauptsächlich mit einer reinen Druckbelastung in dem Übergangsbereich zu rechnen ist, so kann die Schwächung hieran angepasst sein, um ein definiertes Versagen sicherzustellen.

**[0062]** Durch die Schwächung des Verkleidungselements 105 in dem Übergangsbereich 105.3 und das daraus resultierende definierte Versagen des Verkleidungselements 105 in diesem Übergangsbereich 105.3 wird verhindert, dass die bei dem Crash wirkenden Lasten, die zunächst in den weiter vorne liegenden zweiten Abschnitt 105.2 eingeleitet werden, ungehindert in den weiter hinten liegenden ersten Abschnitt 105.1 des Verkleidungselements 105 weitergeleitet werden. Hiermit wird auch die Rissausbreitung kanalisiert, sodass es im Wesentlichen zu keiner unkontrollierten Rissausbreitung in den ersten Abschnitt 105.1 hinein kommt.

**[0063]** Mit anderen Worten wird durch die Schwächung des Verkleidungselements 105 in dem Übergangsbereich 105.3 die Krafteinleitung in den hinteren, ersten Abschnitt 105.1 im Crashfall durch das definierte Versagen in dem Übergangsbereich 105.3 frühzeitig unterbrochen, sodass der erste Abschnitt 105.1 unbeschädigt bleibt, solange kein Teil des Stoßpartners 112 in den ersten Abschnitt 105.1 eindringt.

**[0064]** Das Kopfmodul 101.1 weist eine vordere Sektion 101.4 und eine im Bereich des ersten Übergangsbereichs 105.3 in Längsrichtung (x-Richtung) daran an-

grenzende hintere Sektion 101.5 auf. Die vordere Sektion 101.4 ist dazu vorgesehen, in einer vorgegebenen Frontalcrashsituation, also beim frontalen Aufprall des Fahrzeugs 101 auf ein Hindernis, durch definierte Deformation möglichst viel Stoßenergie zu absorbieren. Hierzu weist sie unter anderem eine Reihe von speziell gestalteten und auf diese Frontalcrashsituation ausgelegten Crashabsorbieren 114 auf.

**[0065]** Diese mit einem Ende 114.1 an der Fahrzeugstruktur 102 befestigten Crashabsorber 114 nehmen beispielsweise durch Verformung Stoßenergie auf. Dabei wird ihr freies Ende 114.2 in eine (in Figur 1 durch die gestrichelte Kontur 114.3 angedeutete) Endposition verschoben wird, in der ihre Kapazität zur Energieaufnahme im Wesentlichen erschöpft ist.

**[0066]** Die Struktur der hinteren Sektion 101.5, welche einen ausreichend großen Teil der Fahrerkabine des Fahrzeugs 101 umfasst, ist so gestaltet, dass sie in der vorgegebenen Frontalcrashsituation, in der das Fahrzeug 101 unter (beispielsweise durch einen Standard ähnlich der eingangs genannten TSI) vorgegebenen Randbedingungen auf ein definiertes Hindernis auftrifft, in jedem Fall (z. B. in jedem Crashszenario dieses Standards) einen ausreichenden Überlebensraum für den Fahrer im Crashfall bietet.

**[0067]** Der erste Übergangsbereich 105.3 zwischen dem ersten Abschnitt 105.1 und dem zweiten Abschnitt 105.2 liegt in Fahrzeuglängsrichtung leicht hinter der Trennebene zwischen der im Crashfall deformierten vorderen Sektion 101.4 des Wagenkastens und der im Crashfall im Wesentlichen nicht deformierten hinteren Sektion 101.5. Im Bereich dieser Trennebene liegt auch die Endposition 114.3 der Crashabsorber 114, da diese wie erwähnt auf die vorgegebene Frontalcrashsituation ausgelegt sind.

**[0068]** Durch diese Anordnung des Übergangsbereichs 105.3 ist sichergestellt, dass auch in dem (einen Extremfall eines Zusammenstoßes repräsentierenden) vorgegebenen Crashfall der erste Abschnitt 105.1 des Verkleidungselements nicht beeinträchtigt wird.

**[0069]** Die Figur 3 zeigt den Teil des Verkleidungselements 105 aus Figur 2 nach einem Crash, während die Figur 4 diesen Teil nach der Herstellung eines Anschlussbereichs für ein Austauscherelement 115 zeigt.

**[0070]** Wie Figur 3 zu entnehmen ist, hat das Verkleidungselement 105 im Bereich der Sollbruchstelle 108, also in dem Übergangsbereich 105.3, versagt. Zur Reparatur der Fahrzeugverkleidung 104 wird nunmehr entlang einer Schnittlinie 116 der beschädigte Teil der Fahrzeugverkleidung 104 entfernt. Die Schnittlinie 116 liegt dabei in Fahrzeuglängsrichtung hinter dem Übergangsbereich 105.3, sodass auch dieser mit entfernt wird.

**[0071]** Zum Entfernen des beschädigten vorderen Teils können beliebige geeignete Werkzeuge verwendet werden. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das (in Figur 3 nur noch durch eine gestrichelte Kontur angedeutete) Schwächungselement 113 entfernt wird und die sich hierbei ergebende Fläche 105.9 als Führungs-

fläche für ein Werkzeug, beispielsweise ein Trennwerkzeug, genutzt wird, mit dem die in Figur 4 dargestellte erste Anschlussfläche 105.10 an dem unbeschädigten hinteren Teil des Verkleidungselements 105 erzeugt wird. Dies hat den Vorteil, dass dank der Nutzung der Führungsfläche 105.9 auf einfache Weise eine genau definierte erste Anschlussfläche 105.10 erzeugt werden kann.

**[0072]** Wie der Figur 4 zu entnehmen ist, weist das Austauschelement 115 eine zweite Anschlussfläche 115.1 auf, die der ersten Anschlussfläche 105.10 bei der Reparatur in der in Figur 4 dargestellten Weise zugeordnet wird. Wie der Figur 5 zu entnehmen ist, welche den in den Figuren 2 bis 4 dargestellten Teil des Verkleidungselements 105 im reparierten Zustand zeigt, wird die Lücke zwischen der ersten Anschlussfläche 105.10 und der zweiten Anschlussfläche 115.1 durch eine geeignete Laminatstruktur 117 verschlossen, sodass ein ausreichend fester Verbund zwischen dem unbeschädigten Teil des Verkleidungselements 105 und dem Austauschelement 115 erzeugt wird und die bestimmungsgemäße Funktion der Fahrzeugverkleidung 104 nach einer entsprechenden Oberflächenbehandlung (Schleifen, Lackieren etc.) wiederhergestellt ist.

**[0073]** Wie der Figur 4 weiterhin zu entnehmen ist, bildet das Austauschelement 115 hierzu den entfernten Teil des Verkleidungselements 105 in seinem unbeschädigten Zustand nach. Zu diesem Zweck weist das Austauschelement 115 neben der Schichtstruktur des Ausgangsbauteils 105 unter anderem auch wieder einen Übergangsbereich 115.2 mit einem Schwächungselement 113 auf, der im Crashfall auch bei der reparierten Fahrzeugverkleidung 104 wieder die Sollbruchstelle 108 bildet. Dies hat nicht nur den Vorteil des oben geschilderten vorteilhaften Versagensverhaltens, sondern es wird zudem erreicht, dass die Verbindungsstruktur 117 von ungünstigen Lasten freigehalten wird, sodass sie im Crashfall nicht beeinträchtigt wird.

**[0074]** Es versteht sich jedoch in diesem Zusammenhang, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch vorgesehen sein kann, von vornherein oder nach einer Reparatur eine solche Verbindungsstruktur gezielt als Schwächung im Sinne der vorliegenden Erfindung zu nutzen. Mithin ist es also möglich, schon das ursprüngliche Verkleidungselement aus zwei oder mehr separaten Teilen über solche (vorzugsweise nicht zerstörungsfrei zu lösende) Verbindungsstrukturen zu verbinden. Die die jeweilige Verbindungsstruktur und/oder ihre Verbindung mit den angrenzenden Teilen ist dann gegenüber den angrenzenden Teilen des Verkleidungselements entsprechend geschwächt, um die gewünschte Sollbruchstelle für den Crashfall auszubilden.

**[0075]** Die soeben beschriebene Gestaltung zur Ausbildung der Sollbruchstelle 108 wird in ähnlicher Weise auch für die übrigen Sollbruchstelle 109 bis 111 verwendet. Mithin ist also für die Sollbruchstelle 109 ein zweiter Übergangsbereich zwischen dem zweiten Abschnitt 105.2 und dem daran angrenzenden dritten Abschnitt

105.11 des Verkleidungselements 105 vorgesehen.

**[0076]** Um das oben beschriebene kaskadierte Versagensschema zu erzielen, kann die Schwächung in dem jeweiligen Übergangsbereich unterschiedlich stark gewählt sein, um sicherzustellen, dass eine näher am stoßseitigen Fahrzeugende 101.2 liegende Sollbruchstelle (beispielsweise die Sollbruchstelle 111) früherer versagt als eine weiter davon entfernte Sollbruchstelle (beispielsweise die Sollbruchstelle 110). Eine solche Abstufung der Schwächung kann aber auch fehlen, wenn beispielsweise über die Rissausbreitung in der Fahrzeugverkleidung sichergestellt ist, dass immer zunächst der aktuell am weitesten vorne liegende Übergangsbereich versagt.

**[0077]** Das erfindungsgemäße Verkleidungselement wurde in den im vorliegenden Beispiel anhand eines Faserverbundelements 105 beschrieben, welches einen Teil der Außenhülle des Fahrzeugs 101 bildet. Es versteht sich jedoch, dass das erfindungsgemäße Verkleidungselement bei anderen Varianten der Erfindung zum einen zusätzlich oder alternativ auch einen Teil der Innenhülle des Fahrzeugs bilden kann.

**[0078]** Weiterhin versteht es sich, dass das Verkleidungselement 105 bei anderen Varianten der Erfindung auch als anderweitig gestaltete Verbundstruktur ausgebildet sein kann. So kann beispielsweise eine der Decklagen 105.4 und 105.8 aus einem metallischen Werkstoff gebildet sein. Ebenso kann eine der Zwischenlagen 105.5 bis 105.7 aus einem metallischen Werkstoff, beispielsweise einem Metallschaum oder einem Wabenmaterial aus Metall, und/oder aus einem Kunststoff, beispielsweise einem Kunststoffschaum oder einem Wabenmaterial aus Kunststoff, hergestellt sein. Hierbei versteht es sich dann, dass für die Reparatur dann entsprechende materialgerechte Verbindungstechniken verwendet werden.

#### Zweites Ausführungsbeispiel

**[0079]** Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 6 eine weitere bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung 204 beschrieben, welche die Fahrzeugverkleidung 104 aus den Figuren 1 bis 5 ersetzen kann. Der in Figur 6 dargestellte Schnitt entspricht dabei dem in den Figuren 2 bis 5 dargestellten Schnitt.

**[0080]** Die Fahrzeugverkleidung 204 entspricht in Aufbau und Funktionsweise grundsätzlich der Fahrzeugverkleidung 104 aus dem ersten Ausführungsbeispiel, so dass hier lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll.

**[0081]** Der Unterschied zu der Fahrzeugverkleidung 104 besteht hier lediglich in der Gestaltung des Schwächungselements 213, das wiederum in dem Übergangsbereich 205.3 zwischen dem ersten Abschnitt 205.1 und dem zweiten Abschnitt 205.2 angeordnet ist, sowie der sich daraus ergebenden abweichenden Gestaltung des Verkleidungselements 205.

**[0082]** Das Schwächungselement 213 weist einen trapezförmigen Querschnitt auf, der im Crashfall vor allen Dingen an den Schenkeln 213.1 und 213.2 zu einer Scherbelastung der Verbindung zu den angrenzenden Zwischenlagen 205.5 und 205.6 des Verkleidungselements 205 führt. Durch geeignete Gestaltung dieser Verbindung, beispielsweise eine gegenüber der Scherfestigkeit des ersten Abschnitts 205.1 reduzierte Scherfestigkeit der Verbindung, kann eine entsprechende Schwächung des Verkleidungselements 205 erzielt werden. Unterstützend oder alternativ kann natürlich auch wiederum über eine geeignete Wahl des Elastizitätsmoduls des Schwächungselements 213 bzw. eine gegenüber der Scherfestigkeit des ersten Abschnitts 205.1 reduzierte Scherfestigkeit des Schwächungselements 213 eine entsprechende Schwächung erzielt werden.

**[0083]** Wie Figur 6 weiterhin zu entnehmen ist, ist bei dem Verkleidungselement 205 lediglich die mittlere Zwischenlage 205.6 durch das Schwächungselement 213 unterbrochen, während die Decklage 205.4 und die Zwischenlage 205.5 um das Schwächungselement 213 herumgeführt sind. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten der Erfindung auch vorgesehen sein kann, dass keine der Lagen des Verkleidungselements unterbrochen ist und die Schwächung ausschließlich über das Schwächungselement selbst und/oder seine Anbindung an die beiden angrenzenden Lagen erzielt wird.

#### Drittes Ausführungsbeispiel

**[0084]** Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 7 eine weitere bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung 304 beschrieben, welche die Fahrzeugverkleidung 104 aus den Figuren 1 bis 5 ersetzen kann. Der in Figur 7 dargestellte Schnitt entspricht dabei dem in den Figuren 2 bis 5 dargestellten Schnitt.

**[0085]** Die Fahrzeugverkleidung 304 entspricht in Aufbau und Funktionsweise grundsätzlich der Fahrzeugverkleidung 104 aus dem ersten Ausführungsbeispiel, sodass hier lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll.

**[0086]** Der Unterschied zu der Fahrzeugverkleidung 104 besteht hier zum einen in der Gestaltung des Schwächungselements 313, das wiederum in dem Übergangsbereich 305.3 zwischen dem ersten Abschnitt 305.1 und dem zweiten Abschnitt 305.2 angeordnet ist und zur Ausbildung der Sollbruchstelle 108 dient. Das Schwächungselement 313 ist hier als Hohlkörper gestaltet, der dementsprechend eine vergleichsweise starke Schwächung des Verkleidungselements 305 mit sich bringt.

**[0087]** Es versteht sich hierbei, dass der anderen Varianten der Erfindung auch vorgesehen sein kann, dass das Schwächungselement 313 kein eigenständiger physischer Körper ist sondern lediglich ein Hohlraum, der innerhalb der Struktur des Verkleidungselements ausgebildet ist.

**[0088]** Ein weiterer Unterschied zu der Fahrzeugver-

kleidung 104 besteht bei diesem Ausführungsbeispiel darin, dass das Verkleidungselement 305 von vornherein aus zwei oder mehr Teilen 318, 319 aufgebaut ist, welche bei der Herstellung des Verkleidungselements 305 an einer Fügestelle 320 fest miteinander verbunden werden. Die Verbindung im Bereich der Fügestelle 320 ist vorzugsweise nicht zerstörungsfrei zu lösen, um einen einfach herzustellenden, dauerhaft festen Verbund zu erzielen. Bevorzugt handelt es sich hier beispielsweise um eine Verklebung.

**[0089]** Diese Variante hat den Vorteil, dass zur Reparatur der im Bereich der Sollbruchstelle 108 definiert beschädigten Fahrzeugverkleidung 304 einfach die Verbindung im Bereich der Fügestelle 320 gelöst werden kann. Zudem können die Bauteile 318, die schon zur Herstellung des Verkleidungselements 305 in seinem unbeschädigten Ausgangszustand verwendet werden, als Austauschelement verwendet werden, sodass keine Fertigung separater Austauschelemente erforderlich ist.

#### Viertes Ausführungsbeispiel

**[0090]** Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 8 eine weitere bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeugverkleidung 304 beschrieben, welche die Fahrzeugverkleidung 104 aus den Figuren 1 bis 5 ersetzen kann. Der in Figur 8 dargestellte Schnitt entspricht dabei dem in den Figuren 2 bis 5 dargestellten Schnitt.

**[0091]** Die Fahrzeugverkleidung 404 entspricht in Aufbau und Funktionsweise grundsätzlich der Fahrzeugverkleidung 104 aus dem ersten Ausführungsbeispiel, sodass hier lediglich auf die Unterschiede eingegangen werden soll.

**[0092]** Der Unterschied zu der Fahrzeugverkleidung 104 besteht hier in der Gestaltung des Übergangsbereichs 405.3, der zwischen dem ersten Abschnitt 405.1 und dem zweiten Abschnitt 405.2 vorgesehen ist und die Sollbruchstelle 108 ausbildet. Anders als bei den vorherigen Ausführungsbeispielen ist hier kein gesondertes Schwächungselement vorgesehen. Vielmehr ist hier zur Ausbildung der Schwächung gegenüber dem ersten Abschnitt 405.1 eine vergleichsweise scharfe Querschnittsreduktion des Verkleidungselements 405 vorgesehen, indem die beiden Zwischenlagen 405.5 und 405.6 in diesem Bereich abrupt enden.

**[0093]** Aus dieser Querschnittsreduktion ergibt sich eine entsprechende Reduktion des Flächenträgheitsmoments um eine zur Zeichnungsebene der Figur 8 senkrechte Achse und damit eine Reduktion der Biegesteifigkeit um eine solche Achse. Weiterhin ergibt sich hieraus eine entsprechend hohe Kerbwirkung, sodass es im Crashfall zu einer Spannungskonzentration in diesem Übergangsbereich 405.3 und damit zu einem definierten Versagen in diesem Bereich kommt.

**[0094]** Wie Figur 8 zu entnehmen ist, setzt sich der reduzierte Querschnitt in dem zweiten Abschnitt 405.2 fort. Es versteht sich jedoch, dass bei anderen Varianten

der Erfindung zur Ausbildung der Schwächung auch nur eine lokal auf dem Übergangsbereich begrenzte Querschnittsreduktion vorgesehen sein kann, wie dies in Figur 8 durch die gestrichelte Kontur 421 angedeutet ist.

**[0095]** Die vorliegende Erfindung wurde vorstehend ausschließlich anhand von Beispielen aus dem Bereich der Schienenfahrzeuge beschrieben. Es versteht sich jedoch, dass die Erfindung auch in Verbindung mit beliebigen anderen Fahrzeugen zum Einsatz kommen kann.

## Patentansprüche

1. Fahrzeugverkleidung, insbesondere für ein Schienenfahrzeug, mit - wenigstens einem Verkleidungselement (105; 205; 305; 405), wobei

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zumindest einen Teil der Hülle eines Fahrzeugs (101), insbesondere der Außenhülle eines Fahrzeugs (101), ausbildet und

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zumindest abschnittsweise aus wenigstens einer Verbundstruktur, insbesondere einer Faser-verbundstruktur, aufgebaut ist,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) wenigstens einen ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) und einen benachbarten zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) aufweist und

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zumindest in einem Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) zwischen dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) und dem zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) derart gegenüber dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) geschwächt ausgebildet ist, dass in einer vorgebbaren Crashesituation in dem Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) ein definiertes Versagen des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) erfolgt.

2. Fahrzeugverkleidung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) in dem Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) eine sich von dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) in den zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) erstreckende Verbundstruktur aufweist und

- die Verbundstruktur zumindest in dem Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) gegenüber dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) geschwächt ausgebildet ist, wobei

- die Verbundstruktur in dem Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) insbesondere eine

strukturelle Schwächung aufweist.

3. Fahrzeugverkleidung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Verbundstruktur aus mehreren Struktur-lagen (105.4 bis 105.8; 205.4 bis 205.8; 405.4 bis 405.8) aufgebaut ist und

- wenigstens eine der Struktur-lagen (105.5, 105.6; 205.6; 405.5, 405.6) zur Ausbildung der strukturellen Schwächung unterbrochen ist, wobei

- zur Ausbildung der strukturellen Schwächung insbesondere ein Schwächungselement (113; 213; 313) in die Verbundstruktur eingebunden ist, insbesondere einlaminiert ist.

4. Fahrzeugverkleidung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Verbundstruktur außerhalb des Übergangsbereichs (205.3) eine erste Scherfestigkeit aufweist und

- das Schwächungselement (213) und/oder die Verbindung zwischen dem Schwächungselement (213) und einem angrenzenden Abschnitt der Verbundstruktur eine zweite Scherfestigkeit aufweist, wobei

- die zweite Scherfestigkeit kleiner ist als die erste Scherfestigkeit.

5. Fahrzeugverkleidung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schwächungselement (313) durch wenigstens einen Hohlraum in der Verbundstruktur ausgebildet ist.

6. Fahrzeugverkleidung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) ein flächiges Element ist und

- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) in dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) eine erste Biegesteifigkeit um eine Biegeachse aufweist und in dem Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) eine zweite Biegesteifigkeit um die Biegeachse aufweist, wobei

- die Biegeachse in einer Ebene liegt, die senkrecht zu einer Flächennormalen des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) im Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) verläuft, und

- die erste Biegesteifigkeit größer ist als die zweite Biegesteifigkeit, wobei

- die zweite Biegesteifigkeit insbesondere höchstens 80%, vorzugsweise höchstens 60%, weiter vorzugsweise etwa 40% bis 50%, der ersten

Biegesteifigkeit beträgt.

7. Fahrzeugverkleidung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verkleidungselement (405) in dem zweiten Abschnitt (405.2) eine dritte Biegesteifigkeit um die Biegeachse aufweist, die geringer ist als die erste Biegesteifigkeit. 5
8. Fahrzeugverkleidung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) im Wesentlichen vollständig durch das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) hindurch erstreckt. 10
9. Fahrzeugverkleidung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zur Montage in einem Endbereich (101.2) einer Fahrzeugstruktur (102) vorgesehen ist, wobei
  - in dem Endbereich (101.2) wenigstens ein Stoßenergieverzehrelement (114) mit seinem einen Ende (114.1) an der Fahrzeugstruktur (102) befestigt ist, 20
  - das Stoßenergieverzehrelement (114) dazu ausgebildet ist, in der vorgebbaren Crashsituation unter Verschiebung seines anderen Endes (114.2) entlang der Längsrichtung der Fahrzeugstruktur (102) in eine Endposition (114.3) Stoßenergie zu verzehren, und 25
  - der Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) in Längsrichtung der Fahrzeugstruktur (102) in dem Bereich der Endposition (114.3) angeordnet ist, wobei 30
  - der Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) in Längsrichtung der Fahrzeugstruktur (102) insbesondere hinter der Endposition (114.3) angeordnet ist. 35
10. Fahrzeugverkleidung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Verkleidungselement (105) wenigstens einen dem zweiten Abschnitt (105.2) benachbarten dritten Abschnitt (105.11) aufweist und 45
  - das Verkleidungselement (105) zumindest in einem weiteren Übergangsbereich zwischen dem zweiten Abschnitt (105.2) und dem dritten Abschnitt (105.3) derart gegenüber dem sie zweiten Abschnitt (105.2) geschwächt ausgebildet ist, dass in der vorgebbaren Crashsituation in dem weiteren Übergangsbereich ein definiertes Versagen des Verkleidungselements (105) erfolgt. 50
11. Fahrzeugverkleidung nach Anspruch 9 und 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der weitere Übergangsbereich zwischen dem zweiten Abschnitt (105.2) und dem dritten Abschnitt (105.11) in Längsrichtung der Fahrzeugstruktur (102) vor dem Übergangsbereich (105.3) zwischen dem ersten Abschnitt (105.1) und dem zweiten Abschnitt (105.2) angeordnet ist.
12. Fahrzeugverkleidung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) zur Montage in einem Endbereich (101.2) einer Fahrzeugstruktur (102) vorgesehen ist, wobei
  - die Fahrzeugstruktur (102) eine in der vorgebbaren Crashsituation zur Energieaufnahme durch Deformation vorgesehene vordere Sektion (101.4) und eine in der Längsrichtung daran anschließende, in der vorgebbaren Crashsituation im Wesentlichen unverformte hintere Sektion (101.5) aufweist und
  - der Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) zwischen dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) und dem zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) im Bereich des Übergangs zwischen der vorderen Sektion (101.4) und der hinteren Sektion (101.5) angeordnet ist, wobei
  - der Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) insbesondere einen Verlauf aufweist, der an eine durch das Eindringen eines Stoßpartners in die Fahrzeugverkleidung (104; 204; 304; 404) bedingte, zu erwartende Zerstörungszone angepasst ist, insbesondere in einer Seitenansicht der Fahrzeugstruktur (102) zumindest abschnittsweise gekrümmt ausgebildet ist.
13. Fahrzeug mit einer Fahrzeugverkleidung (104; 204; 304; 404) nach einem der vorhergehenden Ansprüche. 40
14. Bauteilsatz für die Außenverkleidung eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, umfassend
- eine Fahrzeugverkleidung (104; 204; 304; 404) nach einem der Ansprüche 1 bis 17 und
  - wenigstens ein Austauschelement (115), wobei
  - das Austauschelement (115) den zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) nachbildet und dazu ausgebildet ist, den zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) im Fall einer Beschädigung des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) zu ersetzen, wobei
  - das Austauschelement (115) insbesondere den Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3;

405.3) nachbildet.

15. Reparaturverfahren für eine Fahrzeugverkleidung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem der zerstörte zweite Abschnitt des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) ersetzt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** 5
- der Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) von dem Verkleidungselement (105; 205; 305; 405) entfernt wird und 10
  - ein Austauschelement (115) an dem ersten Abschnitt (105.1; 205.1; 305.1; 405.1) des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) befestigt wird, wobei 15
  - das Austauschelement (115) den zweiten Abschnitt (105.2; 205.2; 305.2; 405.2) des Verkleidungselements (105; 205; 305; 405) und den Übergangsbereich (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) nachbildet, wobei 20
  - beim Entfernen des Übergangsbereichs (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) insbesondere eine Fläche (105.9) des Übergangsbereichs (105.3; 205.3; 305.3; 405.3) als Führungsfläche für ein Werkzeug verwendet wird. 25

30

35

40

45

50

55

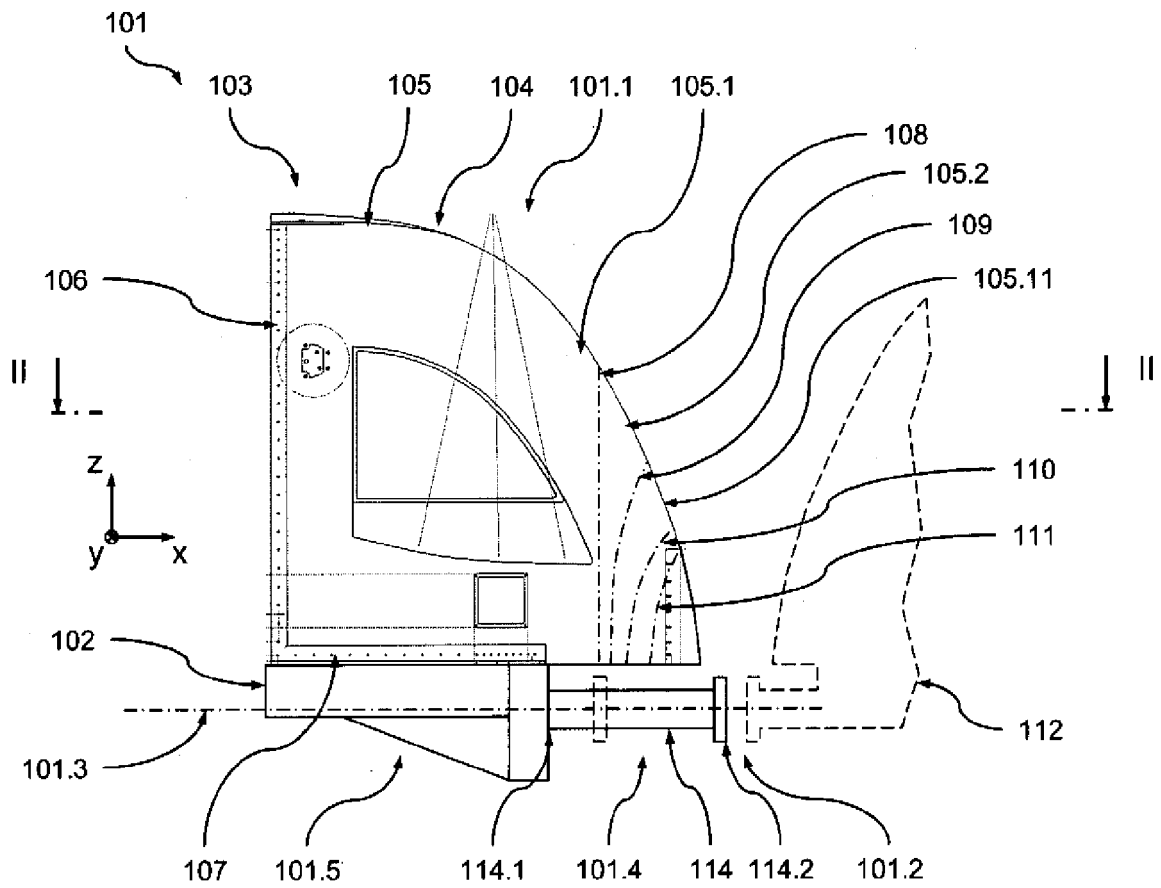


Fig. 1

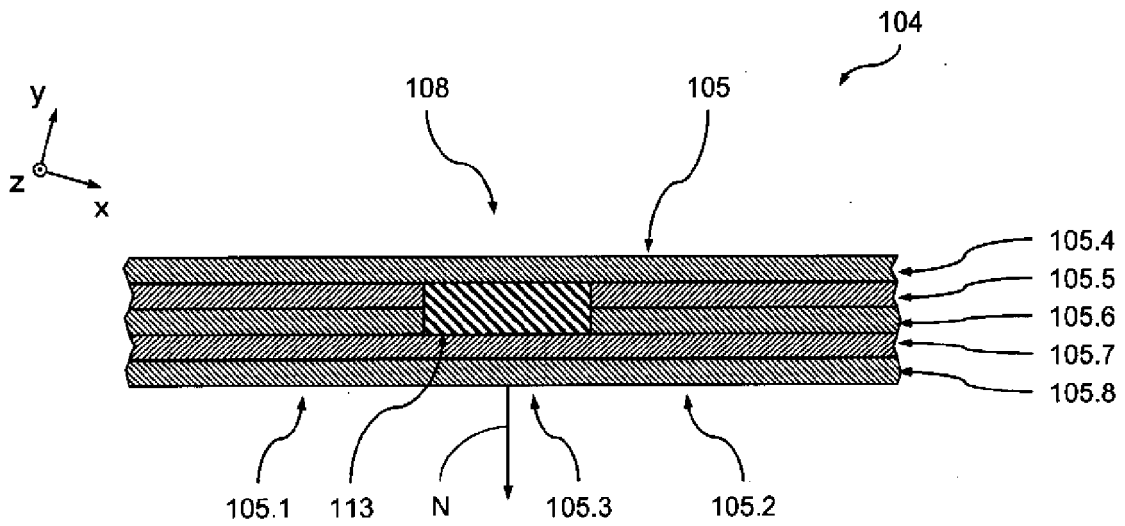


Fig. 2

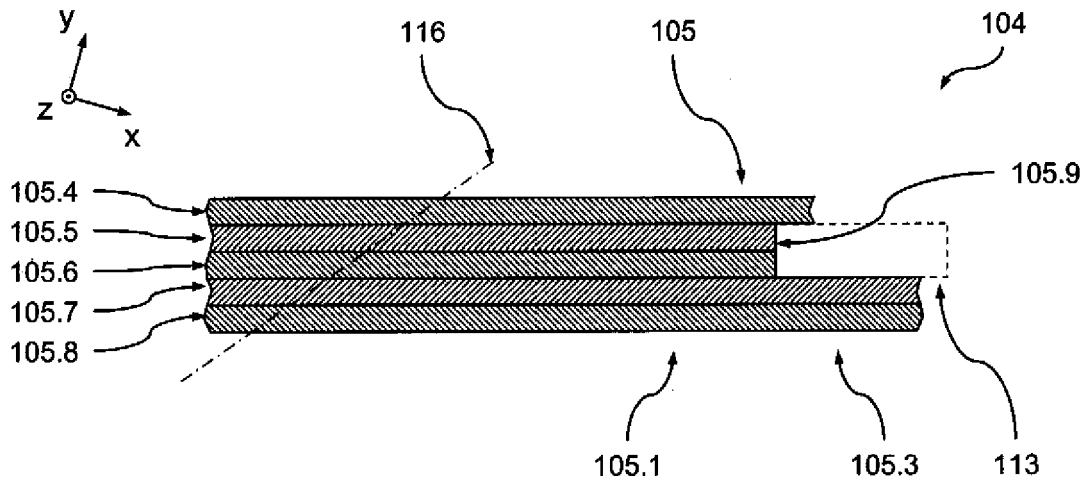


Fig. 3

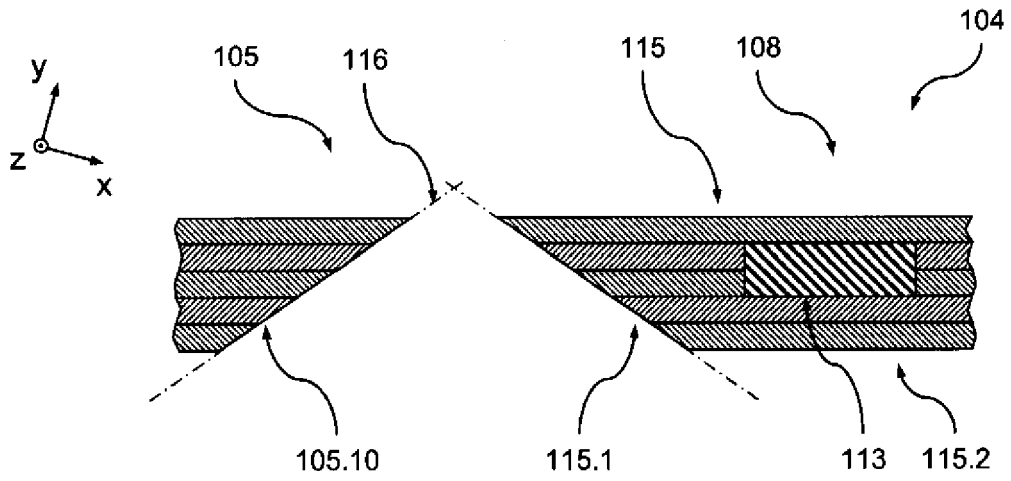


Fig. 4

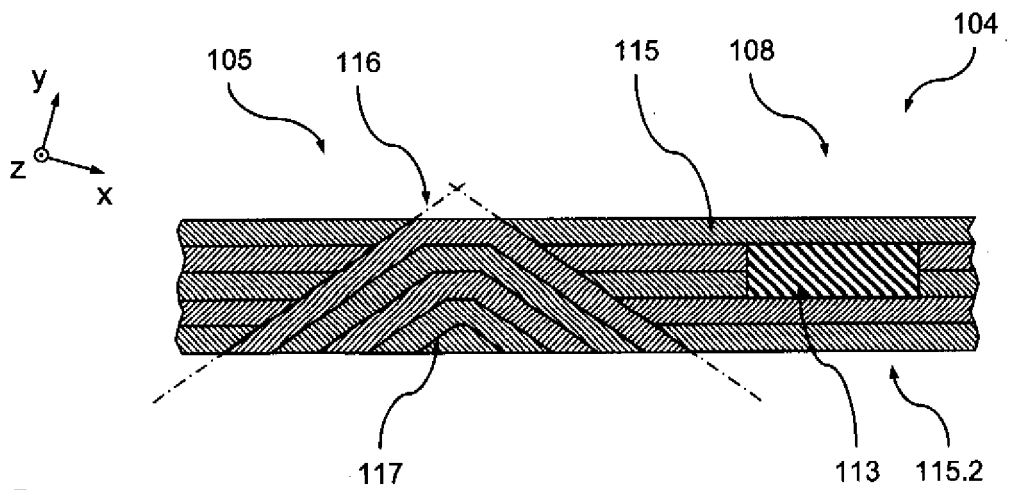


Fig. 5

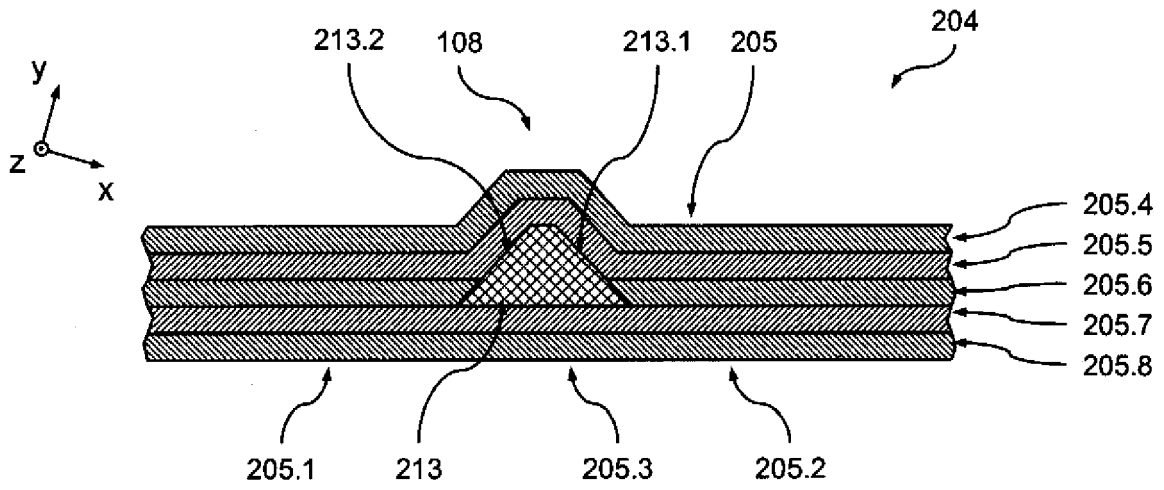


Fig. 6

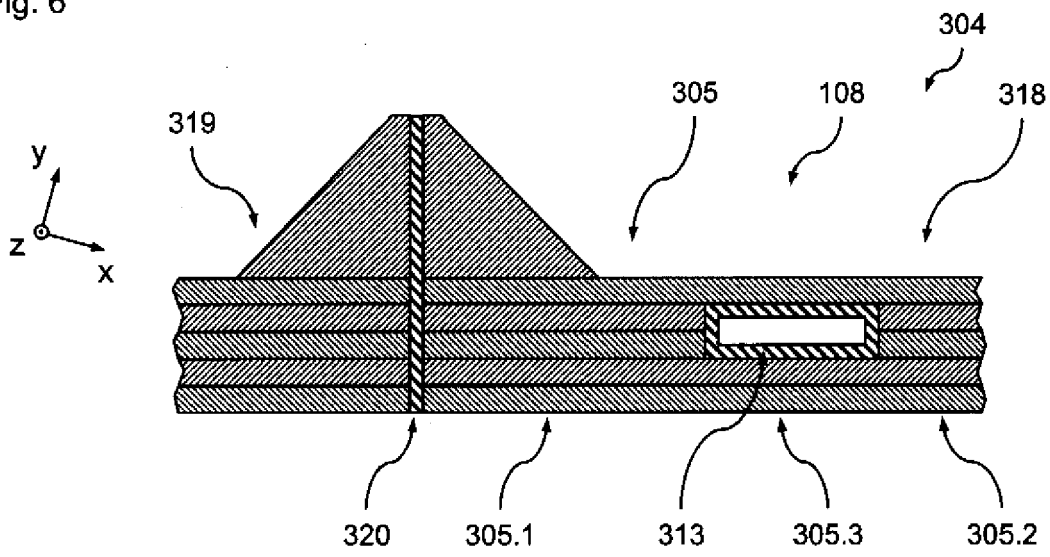


Fig. 7

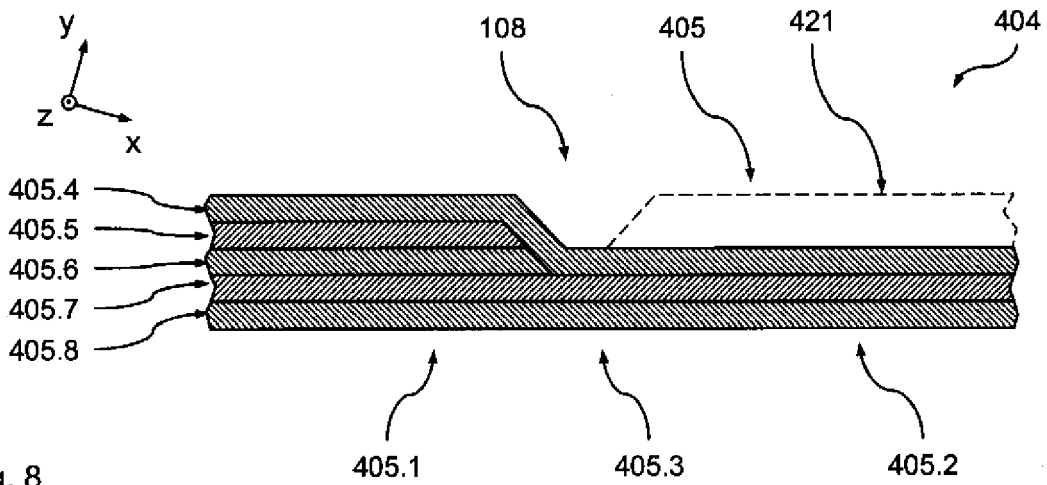


Fig. 8