



(10) **DE 10 2014 214 402 A1** 2015.03.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 214 402.7**

(22) Anmeldetag: **23.07.2014**

(43) Offenlegungstag: **05.03.2015**

(51) Int Cl.: **B29C 70/08** (2006.01)

**B29C 70/00** (2006.01)

**B29C 70/18** (2006.01)

**B29C 70/20** (2006.01)

**B29C 70/22** (2006.01)

**B61D 15/06** (2006.01)

**B61G 11/16** (2006.01)

(66) Innere Priorität:

**10 2013 214 411.3**      **24.07.2013**

(71) Anmelder:

**Voith Patent GmbH, 89522 Heidenheim, DE**

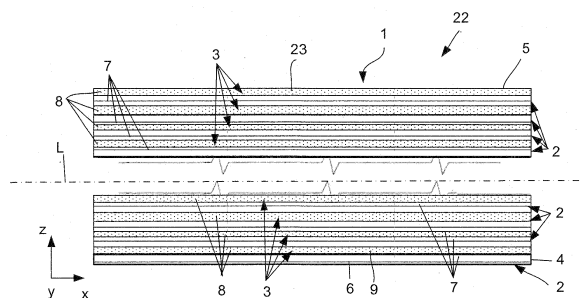
(72) Erfinder:

**Ende, Sascha, 37632 Eschershausen, DE;  
Romund, Mathias, 21710 Engelschoff, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Energieverzehr-Faserverbundstruktur, Verwendung und Energieverzehrvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Energieverzehr-Faserverbundstruktur, im Einzelnen mit den Merkmalen aus dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft ferner eine Verwendung und eine Energieverzehrvorrichtung. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) aus zumindest einer ersten, die zumindest eine Faserlage (7) oder mehrere Faserlagen (7.1, 7.2) aus unidirektional ausgerichteten Endlosfasern (4) und Matrixmaterial (6) aufweisenden Fasermaterialschicht (2) und zumindest einer zweiten, eine oder mehrere Faserlagen (8, 8.1, 8.2, 8.3) multidirektional ausgerichteter Langfasern (5) und Matrixmaterial (9) aufweisenden Fasermaterialschicht (3) ausgebildet ist, wobei erste und zweite Fasermaterialschichten (2, 3) miteinander verbunden sind.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Energieverzehr-Faserverbundstruktur, im Einzelnen mit den Merkmalen aus dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft ferner eine Verwendung und eine Energieverzehrsvorrichtung.

**[0002]** Faserverbundstrukturen sind in einer Vielzahl von Ausführungen aus dem Stand der Technik für unterschiedliche Einsatzzwecke vorbekannt. Ein wesentlicher Anwendungsbereich sind Energieverzehrstrukturen, angeordnet in oder an Fahrzeugen, welche geeignet sind, einen Teil von in diese eingeleiteter Stoßenergie durch nicht duktile Zerstörung abzubauen.

**[0003]** So offenbart beispielsweise die Druckschrift WO 2010/029188 Ausführungen von Fahrzeugkopfstrukturen für schienengebundene Fahrzeuge, gebildet aus ersten, eine Tragfunktion übernehmenden Strukturelementen und zweiten Strukturelementen mit Energieverzehr, wobei die Strukturelemente vorrangig aus einem Faserverbundwerkstoff ausgebildet sind. Die Aufgabe der zweiten Strukturelemente mit Energieverzehr besteht darin, die in einem Crashfall aufgrund einer Stoßkraftübertragung anfallende und in den Fahrzeugkopf eingeleitete Stoßenergie zumindest teilweise zu absorbieren und abzubauen, um die aus den ersten Strukturelementen ausgebildete selbsttragende Struktur nicht in Mitteleinschuldung zu ziehen. Dazu sind die zweiten Strukturelemente derart ausgelegt, die eingeleitete Stoßenergie zumindest teilweise durch nicht-duktilen Zerstörung des Faserverbundwerkstoffes der zweiten Strukturelemente abzubauen.

**[0004]** Eine Ausführung einer Energieverzehrsvorrichtung in Form einer Stoßsicherung ist aus der EP 2 295 305 B1 vorbekannt, umfassend ein Energieverzeherelement und ein derart mit dem Energieverzeherelement zusammenwirkendes Gegenelement, wobei sich bei Überschreiten einer kritischen, in die Energieverzehrsvorrichtung eingeleiteten Stoßkraft das Gegenelement und das Energieverzeherelement unter gleichzeitigem Verzehr von zumindest einem Teil der in die Energieverzehrsvorrichtung eingeleiteten Stoßenergie relativ zueinander aufeinander zu bewegen, wobei das Energieverzeherelement mindestens einen Energieverzehrereich aus Faserverbundwerkstoff aufweist, welcher bei der Bewegung des Gegenelementes relativ zu dem Energieverzeherelement zumindest teilweise nicht-duktil zerfasert wird, und das Gegenelement als ein an seiner dem Energieverzeherelement zugewandten Stirnseite offener Hohlkörper ausgebildet ist derart, dass die bei der Bewegung des Gegenelementes relativ zu dem Energieverzeherelement entstehenden Bruchteile des aus Faserverbundwerkstoff gebildeten Energieverzehrereiches zumindest teilweise im Inne-

ren des Hohlkörpers aufnehmbar sind. D.h., dass zumindest ein Teil der in die Energieverzehrsvorrichtung eingeleiteten Stoßenergie dadurch abgebaut wird, dass der Energieverzehrereich des Energieverzeherelementes nicht derart plastisch verformt wird, wie es bei herkömmlichen Energieverzehrsvorrichtungen der Fall ist, sondern zumindest teilweise in Einzelteile zerlegt wird. Dabei kann die Festigkeit und das Ansprechverhalten der Energieverzehrsvorrichtung durch den Anteil der in Stoßkraftübertragungsrichtung verlegten Fasern eingestellt werden.

**[0005]** Faserverbundstrukturen, die für den dynamischen Energieverzehr entwickelt wurden, haben bisher das Problem ein konstantes Kraftniveau mit einer Abweichung von  $\pm 5\%$  nach dem Einschwingen des Systems im Arbeitsbereich zu erreichen. Ursache hierfür ist das Bruchverhalten des Faserverbundmaterials, auf welches die Materialstärke einen entscheidenden Einfluss hat.

**[0006]** Gerade für den Einsatz in schienengebundenen Fahrzeugen ist es jedoch aufgrund der möglichen auftretenden Stoßbelastungen erforderlich, sehr hohe Kräfte bei gleichzeitig geringem Gewicht und Bauraumbedarf der dazu vorgesehenen Vorrichtung abbauen zu können, wobei der erforderliche Materialeinsatz so ökonomisch wie möglich zu gestalten ist.

**[0007]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen faserverstärkten Kunststoff, insbesondere für den Einsatz in Energieverzehrsvorrichtungen derart weiterzuentwickeln, dass dieser geeignet ist, bei großem Materialquerschnitt auch einen maximalen aber definierten Energieverzehr durch nicht duktile Zerfaserung zu gewährleisten.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Lösung ist durch die Merkmale der Ansprüche 1, 15, 16 und 21 charakterisiert. Vorteilhafte Ausbildungen sind in den Unteransprüchen wiedergegeben.

**[0009]** Eine erfindungsgemäß ausgebildete Energieverzehr-Faserverbundstruktur zum Abbau in dieser einleitbarer Kräfte durch nicht-duktilen Verformung mit zumindest einer, unidirektional ausgerichtete Endlosfasern aufweisenden und in Matrixmaterial eingebettete Faserlage, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverzehr-Faserverbundstruktur aus zumindest einer ersten, die eine Faserlage oder mehrere Faserlagen aus unidirektional ausgerichteten Endlosfasern und Matrixmaterial aufweisenden Fasermaterialschicht und zumindest einer zweiten, eine oder mehrere Faserlagen multidirektional ausgerichteter Langfasern und Matrixmaterial aufweisenden Fasermaterialschicht ausgebildet ist, wobei die erste und zweite Fasermaterialschicht miteinander vollflächig verbunden sind.

**[0010]** Unter einer Faser wird dabei insbesondere ein im Verhältnis zu seiner Länge dünnes, d.h. mit sehr kleinem Querschnitt ausgeführtes flexibles Gebilde verstanden, welches geeignet ist, in Längsrichtung nur Zugkräfte aufzunehmen.

**[0011]** Eine einzelne Fasermaterialschicht kann insbesondere aus zumindest einer oder mehreren Faserlagen bestehen, die in ein Matrixmaterial eingebettet sind. Dabei kann das Matrixmaterial zwischen den einzelnen Faserlagen einer Fasermaterialschicht variieren oder aber für alle Faserlagen einer Fasermaterialschicht gleich sein. D.h. die Zusammensetzung sowie physikalischen und chemischen Eigenschaften des Matrixmaterials ist gleich.

**[0012]** Eine einzelne Faserlage ist durch eine Vielzahl von Fasern charakterisiert, deren Anordnung die Art der Faserlage bestimmt, wobei die einzelnen Fasern durch vordefinierte physikalische und/oder chemische Eigenschaften charakterisiert sind.

**[0013]** Unter einer Langfaser im Sinne der Erfindung wird eine Faser mit einer Länge im Bereich von  $> 1\text{mm}$  bis einschließlich  $120\text{mm}$ , vorzugsweise  $> 10\text{mm}$  bis  $120\text{mm}$  verstanden. Eine Endlosfaser ist durch eine Länge  $> 120\text{mm}$  charakterisiert

**[0014]** In einer vorteilhaften Ausbildung ist eine Mehrzahl von ersten und/oder zweiten Fasermaterialschichten vorgesehen, welche alternierend angeordnet sind, wobei die Endlosfasern innerhalb einer einzelnen ersten Fasermaterialschicht und/oder der einzelnen ersten Fasermaterialschichten zueinander parallel oder in einem Winkel von bis zu  $\pm 2,5^\circ$  von der parallelen Lage abweichend angeordnet sind. Zumindest sind jedoch eine erste und zwei zweite Fasermaterialschicht oder zwei zweite und eine dazwischen angeordnete erste Fasermaterialschicht vorzusehen. Erste und zweite Faserschichten sind vorzugsweise jeweils einfach vernäht oder verstickt, dadurch sind erste und zweite Faserschicht in Dickenrichtung verbunden.

**[0015]** Die Erfinder haben erkannt, dass das Bruch- und das Zerfaserverhalten von Strukturen aus Endlosfasern zum Energieverzehr bei Stoßbelastung erheblich durch das Vorsehen von zwischen-geordneten zweiten, Wirrfasern enthaltenden Fasermaterialschichten verbessert werden kann und die Ausbreitung interlaminarer Brüche reduziert werden kann. Die erfindungsgemäße Lösung bietet aufgrund des vorgesehenen Lagenaufbaus aus wechselweise angeordneten Fasermaterialschichten aus Endlosfasern und aufgrund ihrer ungeordneten Anordnung auch als Wirrfasern bezeichneten Langfasern, den Vorteil, ein Delaminieren, d.h. Trennen der Schichten im Grenzbereich zwischen den einzelnen unterschiedlichen Fasermaterialschichten zu verhindern oder zumindest zu reduzieren. Das aus einem Ener-

gieverzehr-Faserverbundmaterial bestehende Bauteil zerfasert konstant in kleine Bruchstücke und absorbiert dadurch auf einem horizontalen Kraftniveau  $\pm 5\%$  Energie. Das Bruchverhalten des speziellen Lagenaufbaues ist dabei als eine Mischung aus Zwischenfaserbruch und Faserbruch beschreibbar.

**[0016]** In vorteilhafter Weiterbildung ist das Energieabsorptionsvermögen als Funktion zumindest eines der nachfolgenden Parameter einstellbar:

- bei plattenförmiger Ausbildung der Dicke der Energieverzehr-Faserverbundstruktur;
- bei Ausbildung als Profil der Wandstärke der Energieverzehr Faserverbundstruktur;
- der Dicke der einzelnen ersten und/oder zweiten Fasermaterialschichten;
- die Grammaturen der ersten und/oder zweiten Fasermaterialschicht;
- die Verteilung der Langfasern in der zweiten Fasermaterialschicht;
- die physikalischen Eigenschaften des Fasermaterials in den einzelnen Fasermaterialschichten.

**[0017]** Durch die konkrete Wahl der einzelnen Parameter kann die Struktur gezielt an die Anforderungen des Einsatzfalles angepasst werden.

**[0018]** Bezüglich der Ausbildung der einzelnen Fasermaterialschichten besteht eine Vielzahl von Möglichkeiten. Dabei wird vorzugsweise eine einzelne Faserlage einer ersten Fasermaterialschicht von einer Faserlage aus der nachfolgend genannten Gruppe gebildet:

- Gewebe
- Gelege
- Geflecht
- Roving

**[0019]** In besonders vorteilhafter Ausbildung werden aus Gründen einer guten Verarbeitbarkeit als Faserhalbzeuge in Form von Geweben oder Rovings zum Einsatz gelangen.

**[0020]** Die einzelne Faserlage einer zweiten Fasermaterialschicht ist dann vorzugsweise von einer Faserlage aus der nachfolgend genannten Gruppe gebildet:

- Vlies
- Matte

**[0021]** Besonders bevorzugt wird aus dieser Gruppe ein Vlies zum Einsatz gelangen.

**[0022]** In einer vorteilhaften Weiterbildung sind die Langfasern und Endlosfasern zweier benachbart angeordneten Faserlagen der zweiten und ersten Fasermaterialschicht miteinander vernäht oder verstickt. Diese Maßnahme dient auf der einen Seite der Erhöhung der Festigkeit und auf der anderen Seite der Verbesserung des Zerfaserverhaltens.

**[0023]** Vorzugsweise ist eine einzelne Endlosfaser einer Faserlage einer ersten Fasermaterialschicht von einer Faser gebildet, ausgewählt aus der nachfolgenden

Gruppe:

- Kohlefaser (Vorteil: hohes spezifisches Kraftniveau erreichbar)
- Basaltfaser (Vorteil: kostengünstig)
- Glasfaser (bisher kostengünstigstes Laminat)

**[0024]** In Analogie wird eine einzelne Langfaser einer Faserlage einer zweiten Fasermaterialschicht von einer Faser gebildet, ausgewählt aus der nachfolgenden

Gruppe:

- Basaltfaser
- Glasfaser (bisher kostengünstigstes Laminat)

**[0025]** Die einzelne Faserlage der ersten und/oder zweiten Fasermaterialschicht wird dabei in ein Matrixmaterial eingebettet, ausgewählt aus der nachfolgenden

Gruppe:

- Polykondensat, insbesondere Phenol
  - Polyadditive, insbesondere Epichlorhydrin, Polyol oder Dicarbonsäure
  - Polymer
- wobei die Faserlagen einer einzelnen Fasermaterialschicht in demselben Matrixmaterial eingebettet sind.

**[0026]** Um den gewünschten Energieverzehr zu erzielen, ist die Formulierung der Kunstharzmatrix durch eine Bruchdehnung von unter 6% und einen E-Modul von über 3000 MPa charakterisiert.

**[0027]** Fasermaterial aus Langfaserabschnitten kann in unterschiedlichsten Grammaturen zum Einsatz gelangen. In Matte/Vlies-Form gebrachte Langfaserabschnitte können durch eine Länge von 1mm bis 120mm, vorzugsweise 20mm bis 120 mm charakterisiert sein und werden nicht vorher kardiert.

**[0028]** Um das Energieabsorptionsvermögen und das Zerfaserverhalten lokal in Kraftwirkungsrichtung beeinflussen zu können, können die Langfasern einer Faserlage einer zweiten Fasermaterialschicht innerhalb einer einzelnen Faserlage oder zwischen den Faserlagen einer oder mehrerer derartiger zweiter Fasermaterialschichten zumindest hinsichtlich eines Parameters, gewählt aus der nachfolgenden Gruppe, unterschiedlich ausgeführt werden:

- einer materialspezifischen Kenngröße
- einer die Geometrie und/oder Dimensionierung charakterisierenden Kenngröße
- einer physikalische und/oder chemische Eigenschaften beschreibenden Kenngröße.

**[0029]** In einer weiteren vorteilhaften Ausbildung können die Faserlagen einer zweiten Fasermaterialschicht oder die Faserlagen mehrerer zweiter Fasermaterialschichten hinsichtlich zumindest eines Parameters, gewählt aus der nachfolgenden Gruppe, unterschiedlich ausgeführt werden:

- Verteilung der Langfasern in Längs-, Quer- und/oder Höhenrichtung der Faserlage
- Orientierung der Langfasern

**[0030]** Die Ausführung erlaubt es, das Zerfaserverhalten bei Krafteinleitung über größere Flächen zu beeinflussen.

**[0031]** Bezüglich der geometrischen Ausführung der Energieverzehr-Faserverbundstruktur besteht eine Mehrzahl von Möglichkeiten. Denkbar sind beispielsweise Ausführungen als ein Bauteil oder eine Kombination aus der nachfolgenden Gruppe:

- Platte
- Rohr
- Profilelement
- Hohlprofilelement
- Schalenelement

**[0032]** In besonders vorteilhafter Anwendung erfolgt der Einsatz der in einer Stoßsicherung für ein Fahrzeug, da mit der beschriebenen Anordnung große Kräfte in kleinsten Bereichen lokal abbaubar sind.

**[0033]** Energieverzehrsvorrichtungen, insbesondere für den Einsatz in Fahrzeugen umfassen zumindest ein Energieverzeherelement in Gestalt eines sich in einer Längsrichtung, welche in Einbaulage mit der Krafteinleitungsrichtung zusammenfällt, erstreckenden dreidimensionalen Körpers, wobei das Energieverzeherelement derart ausgelegt ist, bei Überschreiten einer in eine Stirnseite des Energieverzeherelementes eingeleiteten kritischen Stoßkraft anzusprechen und zumindest einen Teil der bei der Übertragung der Stoßkraft über das Energieverzeherelement anfallenden Stoßenergie durch nicht duktile Zerfaserung abzubauen. Erfindungsgemäß ist dieses Energieverzeherelement zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig aus einer Energieverzehr-Faserverbundstruktur gemäß der vorgenannten Ausführungen gebildet.

**[0034]** In vorteilhafter Weiterbildung ist das Energieverzeherelement als Profilelement ausgeführt ist, dessen Wandung von der Energieverzehr-Faserverbundstruktur gebildet wird. Dies erlaubt Bauteile mit geringem Gewicht und Materialbedarf bei gleichzeitig großem Kraftabsorptionsvermögen.

**[0035]** Bei Ausbildung der Energieverzehrvorrichtung als Stoßsicherung für ein Fahrzeug ausgeführt, umfasst diese ein mit dem Energieverzeherelement derart zusammenwirkendes Gegenelement, dass sich bei Überschreiten einer kritischen, in die Energieverzehrvorrichtung eingeleiteten Stoßkraft das Gegenelement und das Energieverzeherelement unter gleichzeitigem Verzehr von zumindest einem Teil der in die Energieverzehrvorrichtung eingeleiteten Stoßenergie relativ zueinander aufeinander zu bewegen, wobei das Energieverzeherelement mindestens einen Energieverzehrereich aus Faserverbundwerkstoff aufweist, welcher bei der Bewegung des Gegenelementes relativ zu dem Energieverzeherelement zumindest teilweise nicht-duktil zerfasert wird, wobei das Gegenelement als ein an seiner dem Energieverzeherelement zugewandten Stirnseite offener Hohlkörper ausgebildet ist derart, dass die bei der Bewegung des Gegenelementes relativ zu dem Energieverzeherelement entstehenden Bruchteile des aus Faserverbundwerkstoff gebildeten Energieverzehrereiches zumindest teilweise im Inneren des Hohlkörpers aufnehmbar sind. Das Gegenelement ist in einer vorteilhaften Ausbildung als Kolben und zumindest der dem Gegenelement zugewandte Bereich des Energieverzeherelementes als Zylinder ausgebildet, wobei der dem Energieverzeherelement zugewandte Bereich des Gegenelementes von dem Energieverzeherelement teleskopartig aufgenommen ist derart, dass die Stirnseite des dem Energieverzeherelement zugewandten Bereiches des Gegenelementes an einen Anschlag des Energieverzehrereiches anstößt.

**[0036]** Eine besondere Ausgestaltung für ein derartiges Energieverzeherelement für den Einsatz in Schienenfahrzeugen sieht einen Rohrdurchmesser von 150–300mm mit einer Wandstärke von 10–40 mm vor, um Kraftniveaus von 200–2500 KN pro Energieverzeherelement zu realisieren.

**[0037]** Die Faserlagen der ersten Fasermaterialschicht werden vorzugsweise von einem Gewebe und die Faserlagen der zweiten Fasermaterialschicht von einer Matte/einem Vlies gebildet. Dabei wird in der Gesamtstruktur der Anteil erster Fasermaterialschichten im Bereich von 33% bis 50 % gewählt, während der Anteil zweiter Fasermaterialschichten im Bereich von 67% bis 50% liegt. Der Vorteil bei dieser Faseranordnung ist die vergleichsweise gleichmäßige Verteilung der Kräfte durch die Wirrfaser.

**[0038]** Ein besonders vorteilhaftes Verfahren zur Herstellung sieht die Verwendung von Kombimatten aus zumindest einem, eine Faserlage der ersten Fasermaterialschicht bildenden Gewebe und zumindest einem, eine Faserlage der zweiten Fasermaterialschicht bildenden Vlies. Dieses kann trocken auf einen Kern gewickelt werden oder vorgetränkt dem Wickelverfahren unterzogen werden.

**[0039]** Die erfindungsgemäße Lösung wird nachfolgend anhand von Figuren erläutert. Darin ist im Einzelnen folgendes dargestellt:

**[0040]** Fig. 1 zeigt in schematisiert vereinfachter Darstellung in einem Axialschnitt beispielhaft eine alternierende Anordnung von ersten und zweiten Fasermaterialschichten aus Verstärkungsfasern und Matrixmaterial;

**[0041]** Fig. 2a zeigt in einer Draufsicht eine Ausführung einer ersten Fasermaterialschicht;

**[0042]** Fig. 2b zeigt in einer Draufsicht eine Ausführung einer zweiten Fasermaterialschicht;

**[0043]** Fig. 3a zeigt eine Ausführung einer Endlosfaser;

**[0044]** Fig. 3b zeigt eine Bündelung von Endlosfasern in einem Roving;

**[0045]** Fig. 4a zeigt in einer Ansicht von oben eine Ausführung einer Faserlage aus Endlosfasern in Form eines Gewebes;

**[0046]** Fig. 4b zeigt in einer Ansicht von oben eine Ausführung einer Faserlage aus Endlosfasern in Form eines Geflechts;

**[0047]** Fig. 5a zeigt eine Ausführung einer alternierenden Anordnung von ersten und zweiten Fasermaterialschichten mit mehrlagigem Aufbau der ersten Fasermaterialschichten;

**[0048]** Fig. 5b zeigt eine Ausführung einer alternierenden Anordnung von ersten und zweiten Fasermaterialschichten mit mehrlagigem Aufbau der zweiten Fasermaterialschichten;

**[0049]** Fig. 5c zeigt eine Ausführung einer alternierenden Anordnung von ersten und zweiten Fasermaterialschichten mit mehrlagigem Aufbau erster und zweiter Fasermaterialschichten;

**[0050]** Fig. 6a bis Fig. 6c verdeutlichen verschiedene Grundgeometrie für Bauteile aus Energieverzehr-Faserverbundstrukturen;

**[0051]** Fig. 7a zeigt in einer Perspektivansicht eine Energieverzehrvorrichtung;

**[0052]** Fig. 7b zeigt einen Axialschnitt gemäß Fig. 8a;

**[0053]** Fig. 8 zeigt beispielhaft das Zerfaserungsverhalten der in Fig. 8 dargestellten Energieverzeherelementes;

**[0054]** Fig. 9a bis Fig. 9c verdeutlichen Verfahrensabläufe zur Herstellung einer Energieverzehr-Faserverbundstruktur;

**[0055]** Fig. 10a bis Fig. 10c zeigen beispielhaft anhand eines Ausschnittes aus einem Energieverzehr-element Verfahrensabläufe gemäß Fig. 10a.

**[0056]** Die Fig. 1 zeigt in schematisiert stark vereinfachter Darstellung den Grundaufbau einer erfindungsgemäß ausgebildeten mehrschichtig aufgebauten und eine dreidimensionale Struktur beschreibenden Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 in einem Axialschnitt durch diese. Der Axialschnitt ist dabei durch eine Schnittebene charakterisiert, die durch die Erstreckung in Längsrichtung und eine Senkrechte zu dieser beschreibbar ist. Zur Verdeutlichung der einzelnen Richtungen ist ein Koordinatensystem angelegt. Die X-Richtung beschreibt die Erstreckung der Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 in Beanspruchungsrichtung auf Zug und Druck, die im dargestellten Fall mit der Längsrichtung zusammenfällt. Die Y-Richtung beschreibt die Erstreckung quer zur Beanspruchungsrichtung und die Z-Richtung die Erstreckung in Höhenrichtung.

**[0057]** Die Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 kann als Vollelement in unterschiedlicher geometrischer Ausbildung, beispielsweise plattenförmiges Element oder zumindest Bestandteil eines Profilelementes unterschiedlichster Ausbildung vorliegen. Im letztgenannten Fall bildet dieses beispielsweise Teile der Wandung 23 der das Profilelement bildenden dreidimensionalen Struktur. Nachfolgende Ausführungen sind daher unabhängig von der von der Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 gebildeten dreidimensionalen Struktur, jedoch besonders vorteilhaft in Wandbereichen von Profilelementen. Beispielhaft zeigt Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem Wandbereich eines rohrförmigen Elementes 22.

**[0058]** Die Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 ist als Mehrschichtsystem aufgebaut, umfassend zumindest eine oder mehrere erste Fasermaterialschichten 2 und zumindest eine oder mehrere zweite Fasermaterialschichten 3, welche alternierend, d.h. wechselweise angeordnet und miteinander verbunden sind. Dabei sind jeweils zumindest eine erste und zumindest zwei zweite Fasermaterialschichten 2, 3 vorgesehen oder mindestens zwei erste und mindestens eine zweite Fasermaterialschicht 2, 3. Vorzugsweise sind, wie in der Fig. 1 wiedergegeben, eine Mehrzahl derartiger erster Fasermaterialschichten 2 und zweiter Fasermaterialschichten 3 vorgesehen.

**[0059]** Die einzelne erste Fasermaterialschicht 2 umfasst eine oder mehrere Faserlagen 7 unidirektional ausgerichteter Endlosfasern 4, die in zumindest ein Matrixmaterial 6 eingebettet sind. Mögliche beispielhafte Ausführungen der Endlosfasern 4 als Mo-

nofilamente oder zusammengefasst zu einem Bündel sind in den Fig. 3a und 3b wiedergegeben. Die Ausrichtung der Endlosfasern 4 in der Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 erfolgt in Abhängigkeit einer in Funktionslage der Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 auf diese wirkenden und in dieser durch nicht-duktilen Zerfasern abzubauenen Kraft, insbesondere Druckkraft. Die Längsachse einer einzelnen Endlosfaser 4 ist, wie in Fig. 2a in einer Ansicht von oben auf eine Fasermaterialschicht 2 ersichtlich, parallel oder mit einem Winkel  $\alpha$  von bis zu einschließlich  $\pm 2,5^\circ$  zur Krafrichtung ausgerichtet. Die Abstände  $a$  zwischen zwei benachbart angeordneten Endlosfasern 4 quer zur Faserausrichtung können innerhalb einer Faserlage 7 gleich ausgeführt sein oder variieren.

**[0060]** Die einzelne zweite Fasermaterialschicht 3 weist eine oder mehrere Faserlagen 8 von multidirektional, d.h. räumlich in zwei oder drei Richtungen ausgerichtet angeordneten Langfasern 5 auf. Eine derartige Faserlage 8 ist in einer Ansicht von oben in Fig. 2b beispielhaft wiedergegeben. Die Langfasern 5 sind durch eine Länge im Bereich von 1mm bis einschließlich 120mm, vorzugsweise 1mm bis 50 mm charakterisiert. Diese können als einzelne Monofasern, zu Faserbündeln oder Garnen verarbeitet vorliegen. Die Faserlage 8 ist durch keine bevorzugte Ausrichtung der Langfasern 5 charakterisiert, weshalb diese Fasern auch als Wirrfasern bezeichnet werden.

**[0061]** Die Langfasern 5 sind ebenfalls in ein Matrixmaterial 9 eingebettet, welches in Abhängigkeit des Fertigungsverfahrens zur Erstellung der Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 dem Matrixmaterial 6 der ersten Fasermaterialschicht 2 entspricht.

**[0062]** Durch die wechselweise Anordnung der ersten und zweiten Fasermaterialschichten 2, 3 wird unter Krafteinwirkung in Ausrichtungsrichtung der Endlosfasern 4 eine Zerfasern der Energieverzehr-Faserverbundstruktur 1 erzielt, die durch den Faserbruch und Zwischenfaserbruch der Langfasern 5 und Endlosfasern 4 charakterisiert ist, da insbesondere die Langfasernanordnung ein Delaminieren der einzelnen Schichten weitestgehend verhindert.

**[0063]** Bezüglich der verwendeten Werkstoffe und Materialien für die einzelnen Faserarten-Endlosfasern 4 und Langfasern 5 – besteht eine Mehrzahl von Möglichkeiten. In besonders vorteilhafter Ausführung werden die als Verstärkungsfasern fungierenden Endlosfasern 4 der ersten Fasermaterialschicht 2 und Langfasern 5 der zweiten Fasermaterialschicht 3 von anorganischen Fasern gebildet. Die Faserlage 7 wird aus Endlosfasern in Form von Glasfasern, Kohlefasern oder Basaltfasern gebildet. In Analogie können die für die Langfasern 5 der für die Zerfasern verantwortlichen Faserlagen 8 der zweiten Fa-

sermaterialschichten **3** von Glasfasern oder Basaltfasern gebildet werden.

**[0064]** Als Matrixmaterial **6** beziehungsweise **9** für die einzelnen Faserlagen **7**, **8** finden duroplastische Materialien Verwendung. Diese umfassen jeweils zumindest ein Element aus der nachfolgenden Gruppe

- ein Polykondensat
- ein Polyadditiv
- ein Polymer.

**[0065]** In besonders vorteilhafter Ausbildung werden Matrixmaterialien in Form von Kunstharzen, insbesondere Phenolen auf Aldehydbasis oder Polyadditiven in Form von beispielsweise Epichlorhydrin mit Diolen, Polyol oder Dicarbonsäure eingesetzt. Die Formulierung der Matrix erfolgt derart, dass diese eine Bruchdehnung von unter 6% und mit einem E-Modul von über 3000 MPa, um den gewünschten Energieverzehr zu gewährleisten.

**[0066]** Die Eigenschaften der Faserlage **7** sind insbesondere durch die Anordnung der Endlosfasern **4** zueinander, insbesondere deren Anordnungsdichte quer zur Krafteinwirkungsrichtung, die Geometrie und Dimensionierung sowie die Fasermaterialeigenschaften charakterisiert.

**[0067]** Die Eigenschaften der Faserlage **8** sind als Funktion materialspezifischer Kenngrößen, die Geometrie und/oder Dimensionierung charakterisierender Kenngrößen und/oder physikalischer und/oder chemischer Eigenschaften beschreibender Kenngrößen einstellbar.

**[0068]** Die **Fig. 2a** zeigt beispielhaft in einer Ansicht auf eine Faserlage **7** einer ersten Fasermaterialschicht **2** die unidirektionale Ausrichtung der Endlosfasern **4** parallel zur Krafteinleitungsrichtung in Funktionslage. Die Endlosfasern **4** sind in Erstreckungsrichtung der Faserlage **7** in Breitenrichtung betrachtet gleichmäßig, d.h. mit gleichem Abstand  $a$  zueinander angeordnet. Die einzelne Endlosfaser **4** ist vorzugsweise in Erstreckungsrichtung in Längsrichtung frei von einer Querschnittsänderung, d.h. der Querschnitt der Endlosfasern **4** ist vorzugsweise konstant, wobei bezüglich der Geometrie, d.h. Querschnittsform keine Restriktionen bestehen. Vorzugsweise werden jedoch Endlosfasergebilde mit kreisförmigem Querschnitt zum Einsatz gelangen.

**[0069]** **Fig. 2a** zeigt eine besonders vorteilhafte Ausbildung einer Faserlage **7**, welche quer zur Krafteinleitungsrichtung gleiche Eigenschaften hinsichtlich der Bruchmechanik gewährleistet.

**[0070]** In einer alternativen Ausbildung besteht die Möglichkeit, dass sich die Endlosfasern **4** einer Faserlage **7** hinsichtlich zumindest eines oder mehrerer

Parameter aus der nachfolgenden Gruppe unterscheiden:

- Geometrie, insbesondere Querschnittsgeometrie
- Dimensionierung
- Materialart
- Feinheit

**[0071]** Die Anordnung innerhalb der Faserlage **7** kann quer zur Krafteinwirkungsrichtung gleichmäßig oder aber ungleichmäßig erfolgen. Die als Verstärkungsfasern fungierenden Endlosfasern **4** sind in ein Matrixmaterial **6** eingebettet.

**[0072]** Die **Fig. 2b** zeigt in einer Ansicht von oben auf eine Faserlage **8** die Anordnung und Ausrichtung der Langfasern **5** in einer Faserlage **8** der Fasermaterialschicht **3**. Die Anordnung der Langfasern **5** erfolgt frei von der Ausbildung einer Vorzugsrichtung innerhalb der Faserlage **8**. Dabei können die Langfasern **5** hinsichtlich wesentlicher Kenngrößen gleich ausgeführt sein. Auch hier besteht alternativ die Möglichkeit, dass sich die einzelnen Langfasern **5** einer Faserlage **8** hinsichtlich zumindest eines oder mehrerer Parameter aus der nachfolgenden Gruppe unterscheiden:

- Geometrie, insbesondere Querschnittsgeometrie
- Dimensionierung
- Materialart
- Feinheit

**[0073]** Weiteren Einfluss hat die Orientierung und Faserdichte über die einzelnen Erstreckungsrichtungen der Faserlage **8**.

**[0074]** Die **Fig. 3a** und **Fig. 3b** verdeutlichen beispielhaft mögliche Faserlagenausführungen für Endlosfasern **4**. Gemäß **Fig. 3a** liegen diese vorzugsweise als Monofilamente vor. Diese sind durch eine wesentlich größere Abmessung  $l$  in Längsrichtung als in Breitenrichtung charakterisiert.

**[0075]** **Fig. 3b** zeigt beispielhaft Endlosfasern **4** als Bestandteil von sogenannten Rovings **10**. Ein einzelner Roving **10** wird von einem Bündel, Strang oder Multifilamentgarn von im wesentlichen parallel zueinander angeordneter Endlosfasern **4** gebildet. Die Fixierung in der Fasermaterialschicht **2** erfolgt über Matrixmaterial **6**. Der einzelne Roving **10** ist durch eine Erstreckung  $l$  in Längsrichtung und elliptische oder eckige Querschnitte charakterisiert.

**[0076]** Zu einem Roving **10** sind vorzugsweise Fasern gleicher Eigenschaften zusammengefasst. Denkbar sind jedoch auch Faserbündel aus Endlosfasern **4** unterschiedlicher Eigenschaften.

**[0077]** Die einzelnen Faserlagen **7**, **8** der Fasermaterialschichten **2**, **3** können in unterschiedlichsten

Formen vorliegen. **Fig. 4a** zeigt beispielhaft eine vorteilhafte Ausbildung einer Faserlage **7** als Gewebe **11**, welches aus Kettfäden **12** und Schussfäden **13** gebildet wird. Die **Fig. 4b** zeigt beispielhaft die Ausbildung als Geflecht **14**.

**[0078]** Die **Fig. 5a** bis **Fig. 5c** verdeutlichen beispielhaft mögliche Fasermaterialschichtanordnungen und Ausführungen, welche die Eigenschaften und Bruchmechanik beeinflussen können.

**[0079]** **Fig. 5a** zeigt beispielhaft eine Ausbildung einer ersten Variante zur Ausbildung erster und zweiter Fasermaterialschichten **2**, **3**. Es sind drei erste Fasermaterialschichten **2.2** und **2.1** vorgesehen, wobei die beiden Fasermaterialschichten **2.1** aus jeweils zwei Faserlagen **7.1** und **7.2** bestehen, die miteinander verbunden sind. Die Faserlagen **7.1** und **7.2** sind unterschiedlich ausgeführt. Die Fasermaterialschicht **2.1** ist einlagig ausgebildet und umfasst eine Faserlage **7**. Die Fasermaterialschichten **3** sind vorzugsweise einlagig ausgeführt und im Wesentlichen gleich aufgebaut.

**[0080]** Die Faserlagen **7.1** und **7.2** der Fasermaterialschicht **2.1** sind aus Endlosfasern **4** und Matrixmaterial **6** aufgebaut, wobei die Faserlagen **7.1** und **7.2** unterschiedlich aufgebaut sind. Diese unterscheiden sich zumindest hinsichtlich eines der nachfolgenden Parameter:

- eine Eigenschaft der Fasern betreffende
  - Faserart
  - Materialart
  - Dimensionierung
  - Feinheit
  - Geometrie
  - Dicke der Faserlage
- und/oder in ihrer Anordnung, insbesondere Abstand zueinander.

**[0081]** Demgegenüber verdeutlicht **Fig. 5b** eine Ausführung mit mehrlagigem Aufbau der Fasermaterialschichten **3** aus zwei Faserlagen **8.1**, **8.2** und vorzugsweise einlagigen Fasermaterialschichten **2**. Letztere bestehen aus den Faserlagen **7**. Die Faserlagen **8.1** und **8.2** unterscheiden sich hinsichtlich zumindest einer der nachfolgenden Größen voneinander: eine physikalische oder chemische Eigenschaft der Fasern, Faserart, Materialart, Dimensionierung, Feinheit, Geometrie, Dicke der Faserlage und/oder in ihrer Anordnung, insbesondere Abstand zueinander.

**[0082]** Die **Fig. 5c** zeigt eine Kombination aus Möglichkeiten gemäß den **Fig. 5a** und **Fig. 5b**, d.h. mit mehrlagigem Aufbau sowohl der ersten und zweiten Fasermaterialschichten **2**, **3**, wobei hier die zweiten Fasermaterialschichten **3** beispielhaft durch drei Faserlagen **8.1**, **8.2**, **8.3** und die Fasermaterialschicht **2.1** durch zwei Faserlagen **7.1**, **7.2** und die Fasermaterialschicht **2.1** durch eine Faserlage **7** charakterisiert sind.

terialschicht **2.1** durch eine Faserlage **7** charakterisiert sind.

**[0083]** Bei allen Ausführungen ist die Krafteinleitungsrichtung in Funktionslage eingezeichnet. Die Richtung fällt mit der Ausrichtung der Endlosfasern **4** zusammen.

**[0084]** Die **Fig. 6a** bis **Fig. 6c** zeigen beispielhaft weiter mögliche Grundgeometrieformen für Bauteile aus Energieverzehr-Faserverbundstrukturen **1**. **Fig. 6a** zeigt eine Ausbildung als Platte **16**, **Fig. 6b** eine Ausführung als Vollzylinder **17**, **Fig. 6c** als schalenförmiges textiles Flächengebilde **18**. Eine besonders vorteilhafte Anwendung stellen jedoch Wandungsbereiche beliebig geformter Profilelemente, vorzugsweise in Form von rohrförmigen Elementen dar.

**[0085]** Die **Fig. 7a** zeigt eine besonders vorteilhafte Anwendung einer Energieverzehr-Faserverbundstruktur **1** in einer Energieverzehrvorrichtung **19**. Diese umfasst ein Energieverzeherelement **20**, welches einstückig aus Faserverbundwerkstoff, insbesondere Energieverzehr-Faserverbundstruktur **1** ausgebildet ist und ein relativ zu dieser bewegbares Gegenelement **21** mit einer Stirnseite **25**, über welche die Kraft einleitbar ist. Das Energieverzeherelement **20** ist als sich in einer Längsrichtung **L** erstreckender Hohlkörper, insbesondere rohrförmiges Element **22** ausgeführt. Die Energieverzehr-Faserverbundstruktur **1** bildet hier eine die Mantelfläche des Hohlkörpers bildende Wand **23**. Das Energieverzeherelement **20** ist derart ausgelegt, bei Überschreiten einer in eine Stirnseite des Energieverzeherelementes **20** eingeleiteten kritischen Stoßkraft anzusprechen und zumindest einen Teil der bei der Übertragung der Stoßkraft über das Energieverzeherelement **20** anfallenden Stoßenergie durch nicht duktile Zerfaserung abzubauen. Dazu ist die Energieverzehr-Faserverbundstruktur **1** derart zum Wandungsaufbau des hohlzylindrischen Elementes angeordnet und ausgerichtet, dass die Endlosfasern **4** der Fasermaterialschichten **2** in Längsrichtung des hohlzylindrischen Elementes ausgerichtet sind, so dass deren Lage mit der Wirkrichtung der eingeleiteten Kräfte zusammenfällt.

**[0086]** **Fig. 7a** zeigt ein Beispiel einer vorteilhaften Ausbildung einer Energieverzehrvorrichtung **19**. Im Einzelnen weist das Energieverzeherelement **20** einen Energieverzehrbereich **29** sowie einen Führungsbereich **30** auf. Am Übergang zwischen dem Energieverzehrbereich **29** und dem Führungsbereich **30** ist hier eine Kante vorgesehen, welche einen Anschlag **27** ausbildet, an den das als Kolben ausgebildete Gegenelement **21** anstößt. Denkbar hierbei ist es, dass die Stirnseite des dem Energieverzeherelement **20** zugewandten Bereiches **24** des als Kolben ausgebildeten Gegenelementes **21** an den Anschlag **27** des Energieverzehrbereiches **29** direkt anstößt. Bei der in



**Fig. 7b** dargestellten Ausführungsform der Energieverzehrvorrichtung **19** ist an der Stirnseite des als Kolben ausgebildeten Gegenelementes **21** ein Kegelring **28** vorgesehen, so dass dieser Kegelring **28** an den Anschlag **27** des Energieverzehrbereiches **29** anstößt. Der Kegelring **28** ist dabei fest mit der Stirnseite des Gegenelementes **21** verbunden. Der Führungsbereich **30** des Energieverzehrelementes **20** ist bei der dargestellten Ausführungsform der Energieverzehrvorrichtung **19** als Führungsrohr ausgebildet, dessen Innendurchmesser größer als der Außendurchmesser des als Kolben ausgebildeten Gegenelementes **21** ist. Auf diese Weise kann der dem Energieverzehrelement **20** zugewandte Bereich des Gegenelementes **21** teleskopartig von dem Energieverzehrelement aufgenommen werden.

**[0087]** Die Längsrichtung fällt mit der Längsachse L zusammen.

**[0088]** **Fig. 8** zeigt beispielhaft das Verformungsverhalten des Energieverzehrelementes **20** in Form eines rohrförmigen Elementes **22**, dessen Wandung **23** aus Energieverzehr-Faserverbundstruktur **1** gebildet wird, bei Einleitung einer Stoßkraft F. Verdeutlicht ist das durch die Wirrfaserlagen bedingte Zerfaserverhalten in einem Winkel von bis zu 30° zum Kraftpfad.

**[0089]** Eine besondere Ausgestaltung für ein derartiges Energieverzehrelement **19** für den Einsatz in Schienenfahrzeugen sieht einen Rohrdurchmesser von 150–300mm mit einer Wandstärke von 10–40 mm vor, um Kraftniveaus von 200–2500 KN pro Energieverzehrelement zu realisieren.

**[0090]** Die **Fig. 9a** bis **Fig. 9c** verdeutlichen mögliche Verfahren zur Herstellung einer Energieverzehr-Faserverbundstruktur **1**, insbesondere zur Ausbildung eines Energieverzehrelementes **20** in Form eines rohrförmigen Elementes **22** durch Wickeln. Die Herstellungsverfahren können dabei in Abhängigkeit der bereitgestellten Faserhalbzeuge variieren. Die einzelnen Faserhalbzeuge beinhalten jeweils zumindest eine oder mehrere Faserlagen. Die Faserhalbzeuge können dabei jeweils für die einzelnen Fasermaterialschichten als separate Faserhalbzeuge vorliegen, die im Fertigungsprozess zueinander in die gewünschte Anordnung verbracht werden, oder die einzelnen Faserlagen der unterschiedlichen Fasermaterialschichten enthaltenen Faserhalbzeuge können bereits zu kombinierten Faserhalbzeugen vorkonfektioniert bezogen werden. Ferner unterscheiden sich die Verfahren hinsichtlich der Art und des Zeitpunktes der Einbringung des Matrixmaterials. Alle Verfahren sind jedoch durch die Bereitstellung der Faserlagen – Verfahrensschritte VA oder VA2 – und dem Einbringen von Matrixmaterial – Verfahrensschritte VD, VF sowie dem Aushärten – VE – charakterisiert.

**[0091]** Grundlegend wird zwischen Trocken- und Nasswickelverfahren unterschieden. **Fig. 9a** verdeutlicht beispielhaft ein Verfahren, bei welchem die Faserlagen enthaltenden Faserhalbzeuge **31**, **32** trocken drapiert bzw. gewickelt werden und erst anschließend durch Einbringen und Aushärten von Matrixmaterial in ihrer Lage zueinander fixiert werden.

**[0092]** Ein in der **Fig. 9a** beispielhaft wiedergegebenes erstes Verfahren kann durch nachfolgende Schritte beschrieben werden:

Der Verfahrensschritt VA beinhaltet die Bereitstellung der Faserhalbzeuge **31**, **32** in Form von Endlosfasern **4** enthaltenden, ungetränkten Faserhalbzeugen **31** und Langfasern **5** enthaltenden weiteren Faserhalbzeugen **32**. Die Endlosfasern **4** enthaltenden Faserhalbzeuge **31** werden in besonders vorteilhafter Ausbildung in Form von Rovings oder Geweben bereitgestellt. Die Langfasern **5** enthaltenden Faserhalbzeuge **32** liegen vorzugsweise in Form von Gelegen, Vliesen oder Matten vor.

**[0093]** Im Verfahrensschritt VB werden die Faserhalbzeuge **31**, **32** zueinander ausgerichtet überlappend angeordnet. In vorteilhafter Ausbildung können die einzelnen Faserhalbzeuge **31**, **32** an den zueinanderweisenden Seiten miteinander verbunden werden, beispielsweise durch Vernähen oder Versticken der einander benachbart angeordneten Faserlagen der einzelnen Faserhalbzeuge **31**, **32**. Eine derartige Anordnung der Faserhalbzeuge kann als Kombieinheit im Verfahrensschritt VC um einen Kern gewickelt werden.

**[0094]** Der Verfahrensschritt VD beinhaltet das Einbringen des Matrixmaterials, wobei hier alle Faserlagen **7** und **8** der späteren Fasermaterialschichten **2**, **3** mit dem gleichen Matrixmaterial getränkt werden. Das Einbringen des Matrixmaterials erfolgt entweder durch Injektion oder Infusion. Dazu wird der Bereich, insbesondere die im trockenen Zustand um den Kern drapierte Struktur gasdicht umschlossen und das Matrixmaterial, insbesondere der Kunststoff durch Injektion VD1 oder Infusion VD2 in die Faserlagen und zwischen diesen eingebracht. Denkbar ist auch ein Harztränkverfahren.

**[0095]** Im Verfahrensschritt VE erfolgt ein Aushärten, wobei dieser Vorgang durch zusätzliche Maßnahmen, wie Heizung oder Kühlung beeinflussbar ist.

**[0096]** Demgegenüber verdeutlichen die **Fig. 9b** und **Fig. 9c** Ausführungen zum Nasswickeln. Einige Verfahrensschritte erfolgen in Analogie zu denen in **Fig. 9a** beschriebenen, weshalb diese mit gleicher Bezugsziffer benannt sind. Auf die Erläuterungen in **Fig. 9a** zu diesen wird verwiesen.

**[0097]** Auch hier erfolgt Bereitstellung von Faserhalbzeugen **31** und **32** im Verfahrensschritt VA, wobei

diese entweder als separate Faserhalbzeuge für die einzelnen Faserlagen der unterschiedlichen Schichten bereitgestellt werden und im nicht dargestellten Verfahrensschritt VB in ihrer Lage zueinander angeordnet werden, um gemeinsam gehandelt zu werden. Im Einzelnen werden die einzelnen Faserhalbzeuge übereinander angeordnet. Denkbar ist es auch, auf ein Faserhalbzeug in Form einer Kombieinheit, insbesondere Kombimatte aus den die unterschiedlichen Fasermaterialschichten bildenden Faserlagen zu nutzen. Die so gebildete Struktur wird in einem Verfahrensschritt VF vor dem Wickeln getränkt, insbesondere durch ein Bad aus Matrixmaterial geführt und in diesem nassen Zustand auf einen Kern im Verfahrensschritt VC gewickelt. An den Wickelvorgang schließt sich der Verfahrensschritt des Aushärtens und Verfestigens VE an.

**[0098]** Demgegenüber verdeutlicht **Fig. 9c** ein Verfahren, welches bereits vorgetränkte Faserhalbzeuge **31, 32** in VA2 verwendet. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführung wird als Faserhalbzeug eine Kombimatte aus einem Gewebe aus Endlosfasern und einem Gelege aus Langfasern vorgetränkt mit Matrixmaterial und als derart gebildetes Halbzeug um einen Kern in Schritt VC gewickelt. Das Aushärten erfolgt im Schritt VE.

**[0099]** Die **Fig. 10a** zeigt beispielhaft die Anordnung der die späteren Fasermaterialschichten **2, 3** bildenden und Faserlagen enthaltenden Faserhalbzeuge **31** und **32** in der eine kombinierte Faserhalbzeugstruktur bildenden Ausführung in einem Ausschnitt beim Wickeln um einen Kern **36**. Beide Faserhalbzeuge **31, 32** sind derart zueinander angeordnet, dass diese nach Möglichkeit vollflächig aneinander anliegen. Diese werden um den Kern **36** gewickelt.

**[0100]** Je nach Bereitstellung der Faserhalbzeuge **31, 32** erfolgt die Einbettung in Matrixmaterial. **Fig. 10b** stellt beispielhaft für trocken drapierte Faserhalbzeuge **31, 32** die Gegebenheiten für einen Injektions- oder Infusionsprozess dar. Erkennbar ist ein Anschluss **34**, der mit einer Einrichtung zur Unterdruckerzeugung koppelbar ist, um die trocken drapierte Anordnung gasdicht abzuschließen. Der sich ausbildende Vakuumsack ist mit **33** bezeichnet. Das Matrixmaterial in Form eines Harz-/Härtergemisches wird beispielsweise mit Hilfe einer Pumpe in den Lagenaufbau eingepresst. Die Harzfließfront ist mit **35** bezeichnet.

**[0101]** Der Prozess des Aushärtens kann durch zusätzliche Maßnahmen beschleunigt werden. So erfolgt beispielsweise eine Erwärmung/Aufheizung, wenn leicht exotherme Harzsysteme zum Einsatz gelangen, während eine Abkühlung bei stark exothermen Harzsystemen angewandt wird. Dazu sind entsprechende Heiz- und/oder Kühleinrichtungen **37** am

Innen- und/oder Außenumfang der Wandung zugeordnet, wie in **Fig. 10c** wiedergegeben.

**[0102]** Für die Herstellung von Energieverzehrelementen, wie beispielsweise dem Energieverzehrelement **19** aus den **Fig. 7** und **Fig. 8** wird in besonders vorteilhafter Ausbildung ein Kombihalbzeug aus mehreren Faserlagen in Form einer Kombimatte verwendet. Diese besteht aus zumindest zwei Faserlagen, einem eine Faserlage **7** bildenden Gewebe und einem, eine Faserlage **8** bildenden Vlies. Das Gewebe besteht aus einem 0°/90° Glasgewebe, d.h. unidirektional ausgerichteten Endlosfasern in Form von Glasfasern. Die Faserlage **8** wird von einer Glas-Wirrfaser Vliesmatte gebildet. Dabei sind die Faserlagen übereinander angeordnet und miteinander vorzugsweise vollflächig verbunden, wobei die Verbindung durch vernähen oder verstickten erfolgen kann. Die Grammatur dieser Gesamt-Faserhalbzeugstruktur wird vorzugsweise im Bereich zwischen 300g/m<sup>2</sup> und 900g/m<sup>2</sup> mit einer Gewichtsaufteilung von 50/50 zwischen 0°/90° Glasfasergewebe und Glas-Wirrfaser Vlies gewählt. Andere vorteilhafte Aufteilungen wären 1/3 0°/90° Glasfasergewebe zu 2/3 Glas-Wirrfaser Vlies.

**[0103]** Die Einbringung der Harzmatrix kann gemäß einem der in den **Fig. 9a** bis **Fig. 9c** beschriebenen Verfahren erfolgen, ist jedoch nicht auf diese beschränkt.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Energieverzehr-Faser-verbundstruktur
<b>2, 2.1, 2.2</b>	erste Fasermaterialschicht
<b>3</b>	zweite Fasermaterialschicht
<b>4</b>	Endlosfaser
<b>5</b>	Langfaser
<b>6</b>	Matrixmaterial
<b>7, 7.1, 7.2</b>	Faserlage der ersten Fasermaterialschicht
<b>8, 8.1, 8.2, 8.3</b>	Faserlage der ersten Fasermaterialschicht
<b>9</b>	Matrixmaterial
<b>10</b>	Roving
<b>11</b>	Gewebe
<b>12</b>	Kettfäden
<b>13</b>	Schußfäden
<b>15</b>	Bereich
<b>16</b>	Platte
<b>17</b>	Vollzylinder
<b>18</b>	schalenförmiges textiles Flächegebilde
<b>19</b>	Energieverzehrsvorrichtung
<b>20</b>	Energieverzehrelement
<b>21</b>	Gegenelement

<b>22</b>	hohlzylindrisches Element; rohrförmiges Element
<b>23</b>	Wand, Wandung
<b>24</b>	Bereich
<b>25</b>	Stirnseite
<b>27</b>	Anschlag
<b>28</b>	Kegelring
<b>29</b>	Energieverzehrereich
<b>30</b>	Führungsbereich
<b>31</b>	Faserhalbzeug
<b>32</b>	Faserhalbzeug
<b>33</b>	Vakuumsack
<b>34</b>	Anschluss
<b>35</b>	Harzfließfront
<b>36</b>	Kern
<b>37</b>	Heiz- und/oder Kühleinrichtung
<b>L</b>	Längsachse
<b>VA-VF</b>	Verfahrensschritte

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2010/029188 [0003]
- EP 2295305 B1 [0004]

## Patentansprüche

1. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) zum Abbau in dieser einleitbarer Kräfte durch nicht-duktilen Verformung mit zumindest einer, unidirektional ausgerichteten Endlosfasern (4) aufweisenden und in Matrixmaterial (6) eingebetteten Faserlage (6), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) aus zumindest einer ersten, die zumindest eine Faserlage (7) oder mehrere Faserlagen (7.1, 7.2) aus unidirektional ausgerichteten Endlosfasern (4) und Matrixmaterial (6) aufweisenden Fasermaterialschicht (2) und zumindest einer zweiten, eine oder mehrere Faserlagen (8, 8.1, 8.2, 8.3) multidirektional ausgerichteter Langfasern (5) und Matrixmaterial (9) aufweisenden Fasermaterialschicht (3) ausgebildet ist, wobei erste und zweite Fasermaterialschichten (2, 3) miteinander verbunden sind.

2. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Mehrzahl von ersten und/oder zweiten Fasermaterialschichten (2, 2.1, 2.2, 3) vorgesehen ist, welche im Querschnitt der Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) betrachtet alternierend angeordnet sind, wobei die Endlosfasern (4) innerhalb einer einzelnen ersten Fasermaterialschicht und/oder der einzelnen ersten Fasermaterialschichten (2, 2.1, 2.2) zueinander parallel oder in einem Winkel ( $\alpha$ ) von bis zu 2,5° von der parallelen Lage abweichend angeordnet sind.

3. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelne zweite Fasermaterialschicht (3) derart ausgebildet ist, dass bei Einleitung einer, eine vordefinierte Größe überschreitenden Kraft, die Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) in einem Winkel von bis zu 60°, vorzugsweise 45°  $\pm$  15° gegenüber der Krafteinleitungsrichtung zerfasert wird.

4. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Energieabsorptionsvermögen als Funktion zumindest einer der nachfolgenden Größen einstellbar ist:

- bei plattenförmiger Ausbildung (16) der Dicke der Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1);
- bei Ausbildung als Profil der Wandstärke der Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1);
- der Dicke der einzelnen ersten und/oder zweiten Fasermaterialschichten (2, 2.1, 2.2, 3);
- die Grammaturen der ersten und/oder zweiten Fasermaterialschicht (2, 2.1, 2.2, 3);
- die Verteilung der Langfasern (5) in der zweiten Fasermaterialschicht (3);
- die physikalischen Eigenschaften des Fasermaterials in den einzelnen Fasermaterialschichten (2, 2.1, 2.2, 3).

5. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine einzelne Faserlage (7, 7.1, 7.2) einer ersten Fasermaterialschicht (2, 2.1, 2.2) von einer Faserlage aus der nachfolgend genannten Gruppe gebildet ist:

- Gewebe
- Gelege
- Geflecht
- Roving

6. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelne Faserlage (8, 8.1, 8.2, 8.3) einer zweiten Fasermaterialschicht (3) von einer Faserlage aus der nachfolgend genannten Gruppe gebildet ist:

- Gelege
- Multiaxialgelege
- Vlies
- Matte

7. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Langfasern (5) und Endlosfasern (4) zweier benachbart angeordneten Faserlagen (8, 8.1, 8.2, 8.3, 7, 7.1, 7.2) der zweiten und ersten Fasermaterialschicht (3, 2) miteinander vernäht oder verstickt sind.

8. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine einzelne Endlosfaser (4) einer Faserlage (7, 7.1, 7.2) einer ersten Fasermaterialschicht (2) von einer Faser gebildet ist, ausgewählt aus der nachfolgenden Gruppe:

- Kohlefaser
- Basaltfaser
- Glasfaser

9. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine einzelne Langfaser (5) einer Faserlage (8, 8.1, 8.2, 8.3) einer zweiten Fasermaterialschicht (3) von einer Faser gebildet ist, ausgewählt aus der nachfolgenden Gruppe:

- Basaltfaser
- Glasfaser

10. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelne Faserlage (7, 7.1, 7.2, 8, 8.1, 8.2, 8.3) der ersten und/oder zweiten Fasermaterialschicht (2, 3) in ein Matrixmaterial (6, 9) eingebettet ist, ausgewählt aus der nachfolgenden Gruppe:

- Polykondensat, insbesondere Phenol

– Polyadditiv, insbesondere Epichlorhydrin, Polyol oder Dicarbonsäure  
 – Polymer  
 wobei die Faserlagen (7, 7.1, 7.2, 8, 8.1, 8.2, 8.3) einer einzelnen Fasermaterialschicht (2, 3) in gleiches oder unterschiedliches Matrixmaterial (6, 9) eingebettet sind.

11. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Formulierung des Matrixmaterials (6, 9) derart ausgeführt ist, dass dieses durch eine Bruchdehnung von unter 6% und einen E-Modul von über 3000 MPa charakterisiert ist.

12. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Langfasern (5) einer Faserlage (8, 8.1, 8.2, 8.3) einer zweiten Fasermaterialschicht (3) innerhalb einer einzelnen Faserlage oder zwischen den Faserlagen einer oder mehrerer derartiger zweiter Fasermaterialschichten (3) zumindest hinsichtlich eines Parameters, gewählt aus der nachfolgenden Gruppe, unterschiedlich ausgeführt sind:  
 – einer materialspezifischen Kenngröße  
 – einer die Geometrie und/oder Dimensionierung charakterisierenden Kenngröße  
 – einer physikalische und/oder chemische Eigenschaften beschreibenden Kenngröße.

13. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Faserlagen (7, 7.1, 7.2) einer zweiten Fasermaterialschicht (3) oder die Faserlagen mehrerer zweiter Fasermaterialschichten (3) hinsichtlich zumindest hinsichtlich eines Parameters, gewählt aus der nachfolgenden Gruppe, unterschiedlich ausgeführt sind:  
 – Verteilung der Langfasern (5) in Längs-, Quer- und/oder Höhenrichtung der Faserlage  
 – Orientierung der Langfasern (5).

14. Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese ein Bauteil in einer Form, gewählt aus der nachfolgenden Gruppe ausbildet:  
 – Platte (16)  
 – Rohr (22)  
 – Profilelement  
 – Hohlprofilelement  
 – Schalelement (17)

15. Verwendung einer Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche in einer Stoßsicherung (19) für ein Fahrzeug, insbesondere einem schienengebundenen Fahrzeug.

16. Energieverzehrsvorrichtung (19), umfassend zumindest ein Energieverzeherelement (20) in Gestalt eines sich in einer Längsrichtung erstreckenden dreidimensionalen Körpers, wobei das Energieverzeherelement (20) derart ausgelegt ist, bei Überschreiten einer in eine Stirnseite des Energieverzeherelementes (20) eingeleiteten kritischen Stoßkraft anzusprechen und zumindest einen Teil der bei der Übertragung der Stoßkraft über das Energieverzeherelement (20) anfallenden Stoßenergie durch nicht duktile Zerfaserung abzubauen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Energieverzeherelement zumindest teilweise aus einer Energieverzehr-Faserverbundstruktur gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 gebildet ist.

17. Energieverzehrsvorrichtung (19) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Energieverzeherelement (20) als Profilelement ausgeführt ist, dessen Wandung (23) zumindest teilweise von der Energieverzehr-Faserverbundstruktur (1) gebildet ist.

18. Energieverzehrsvorrichtung (19) nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese als Stoßsicherung für ein Fahrzeug ausgeführt ist, umfassend ein mit dem Energieverzeherelement (20) derart zusammenwirkendes Gegenelement (21), dass sich bei Überschreiten einer kritischen, in die Energieverzehrsvorrichtung (19) eingeleiteten Stoßkraft das Gegenelement (21) und das Energieverzeherelement (20) unter gleichzeitigem Verzehr von zumindest einem Teil der in die Energieverzehrsvorrichtung (19) eingeleiteten Stoßenergie relativ zueinander aufeinander zu bewegen, wobei das Gegenelement (21) als ein an seiner dem Energieverzeherelement (20) zugewandten Stirnseite offener Hohlkörper ausgebildet ist derart, dass die bei der Bewegung des Gegenelementes (21) relativ zu dem Energieverzeherelement (20) entstehenden Bruchteile des aus Energieverzehr-Faserverbundwerkstoff gebildeten Bereiches zumindest teilweise im Inneren des Hohlkörpers aufnehmbar sind.

19. Energieverzehrsvorrichtung (19) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gegenelement (20) als Kolben und zumindest der dem Gegenelement (20) zugewandte Bereich des Energieverzeherelementes (20) als Zylinder ausgebildet ist, und wobei der dem Energieverzeherelement (20) zugewandte Bereich des Gegenelementes (21) von dem Energieverzeherelement (20) teleskopartig aufgenommen ist derart, dass die Stirnseite des dem Energieverzeherelement (20) zugewandten Bereiches des Gegenelementes (21) an einen Anschlag (27) am Energieverzeherelement (20) anstößt.

20. Energieverzehrsvorrichtung (19) nach einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Faserlagen der ersten Fasermaterialschicht der das Energieverzeherelement bildenden Energieverzehr-Faserverbundstruktur von einem Ge-

webe und die Faserlagen der zweiten Fasermaterialschicht von einem Vlies gebildet werden, wobei das Verhältnis des prozentualen Anteils Gewebe/Vlies an der Gesamtstruktur im Bereich von 33%/67% bis 50%/50% liegt.

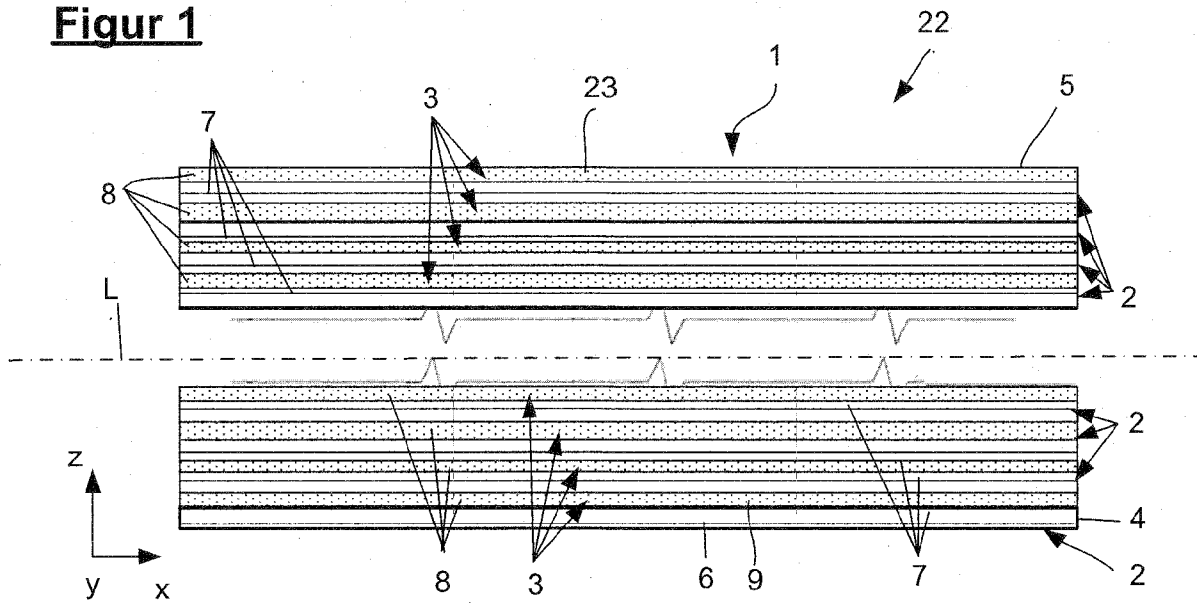
21. Verfahren zur Herstellung eines Energieverzehrelementes (**20**) in Form eines Profilelementes, insbesondere Rohres gemäß Anspruch 14; gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:  
a) Bereitstellung von die Faserlagen der unterschiedlichen Fasermaterialschichten enthaltenden Faserhalbzeugen:  
b) Drapieren der Faserhalbzeuge  
c) Tränken der Faserhalbzeuge mit Matrixmaterial  
d) Aushärten der Matrix.

22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Faserlagen enthaltendes Faserhalbzeug eine Gesamt-Faserhalbzeugstruktur aus einem Endlosfasern enthaltenden Gewebe und Langfasern enthaltenden Vliesmatte, die vollflächig aneinander anliegen und miteinander verbunden sind, eingesetzt wird und der Verfahrensschritt c) vor dem Verfahrensschritt b) ausgeführt wird.

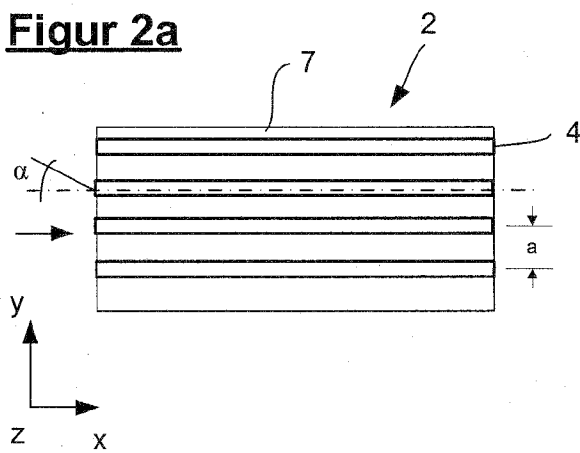
Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

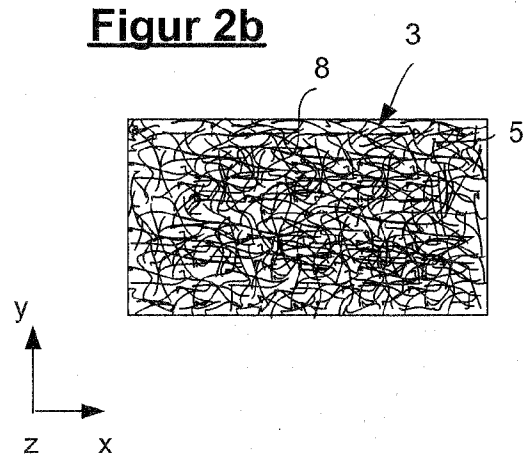
**Figur 1**



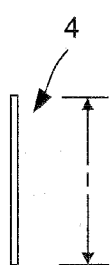
**Figur 2a**



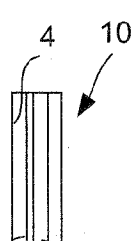
**Figur 2b**



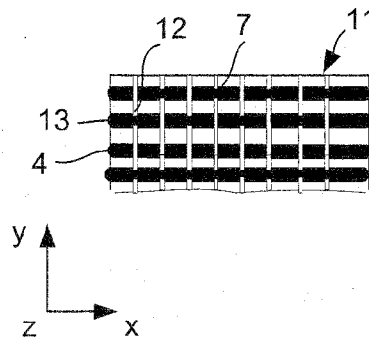
**Figur 3a**



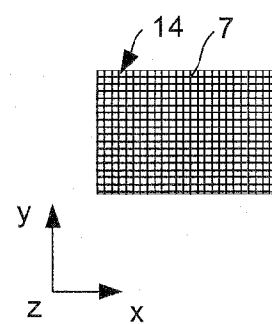
**Figur 3b**



**Figur 4a**

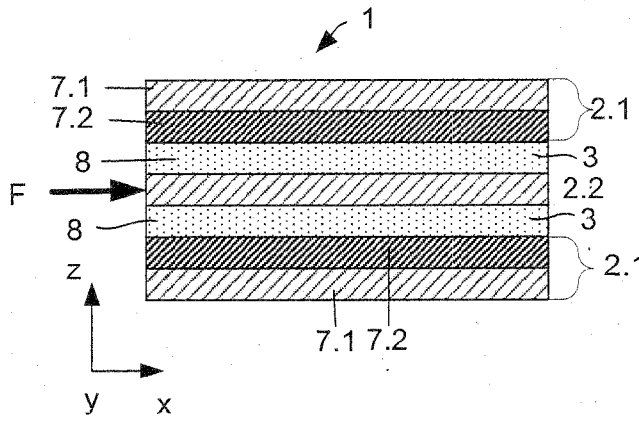


**Figur 4b**

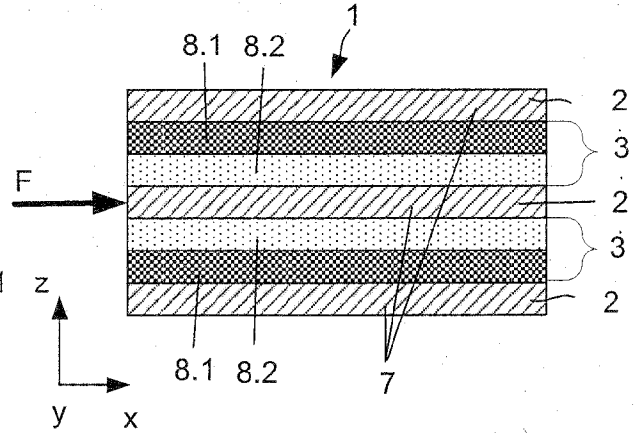




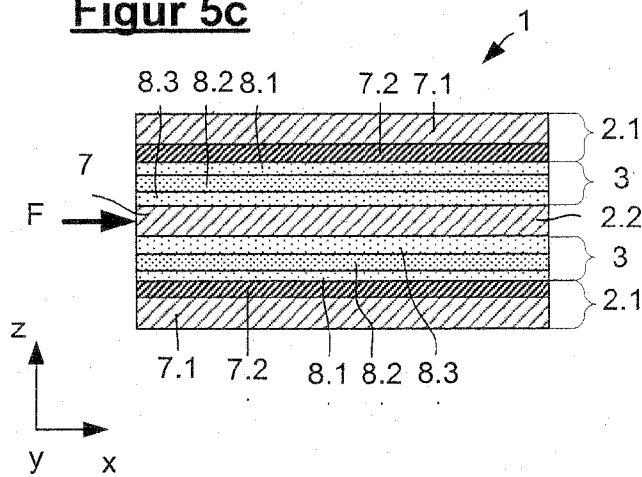
**Figur 5a**



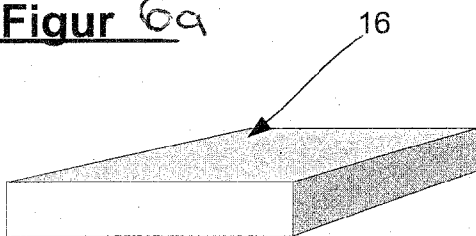
**Figur 5b**



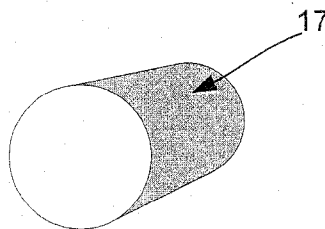
**Figur 5c**



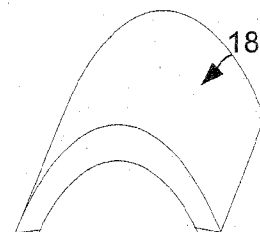
**Figur 6a**



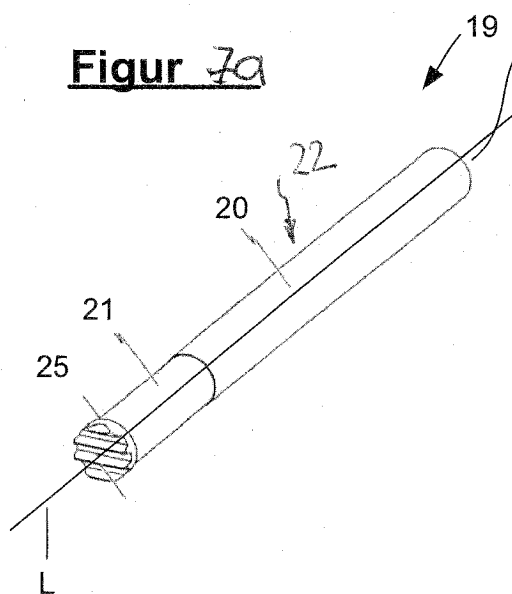
**Figur 6b**



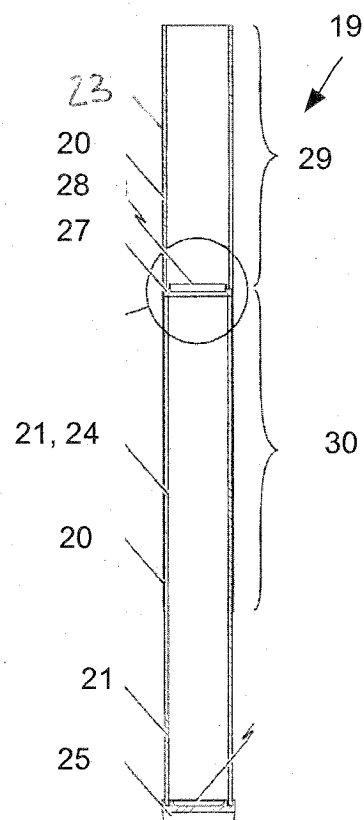
**Figur 6c**



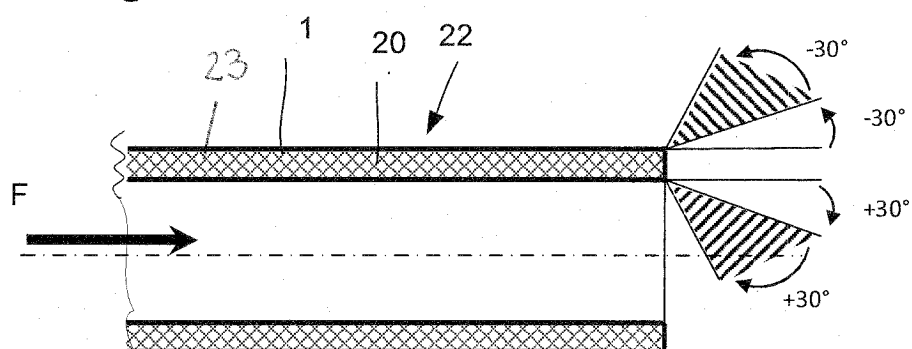
**Figur 7a**



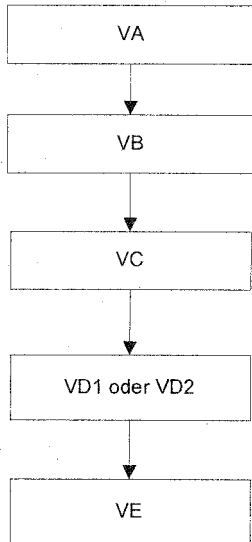
**Figur 7b**



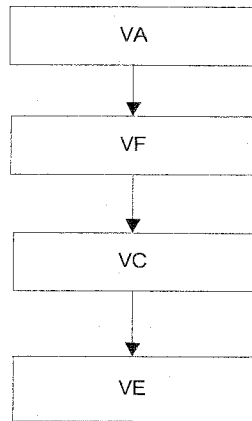
**Figur 9**



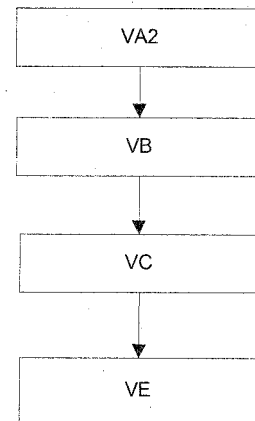
**Figur 9a**



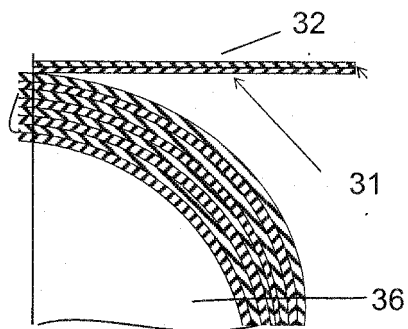
**Figur 9b**



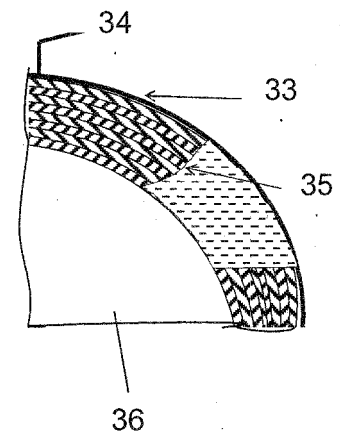
**Figur 9c**



**Figur 10a**



**Figur 10b**



**Figur 10c**

