

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Juni 2009 (11.06.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/071331 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B29C 70/54 (2006.01) **B29C 70/30** (2006.01)
B29B 11/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/010398

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Dezember 2008 (08.12.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
60/992,740 6. Dezember 2007 (06.12.2007) US
10 2007 058 727.0
6. Dezember 2007 (06.12.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **AIRBUS DEUTSCHLAND GMBH** [DE/DE];
Kreetslag 10, 21129 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GRÄBER, Rainer**
[DE/DE]; Ottenser Hauptstrasse 12, 22765 Hamburg (DE).

(74) Anwalt: **SCHATT IP**; Rindermarkt 7, 80331 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,
MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF A FIBER-REINFORCED COMPOSITE PREFORM FROM A LAMINATE,
HAVING AT LEAST TWO PREPREG LAYERS, AND PRODUCTION DEVICE FOR SUCH A METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES FWV-VORFORMLINGS AUS EINEM LAMINAT MIT ZU-
MINDEST ZWEI PREPREG-LAGEN SOWIE HERSTELLUNGSVORRICHTUNG FÜR EIN DERARTIGES VERFAHREN

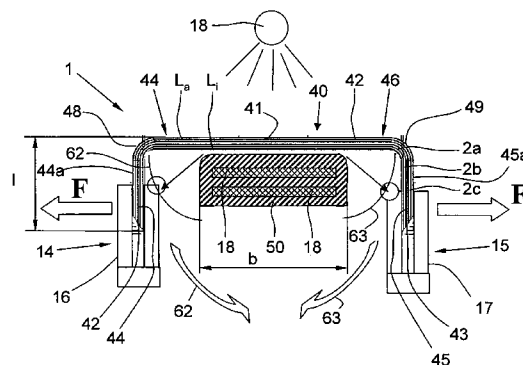


Fig. 7

(57) Abstract: The invention relates to a method for the production of a fiber-reinforced composite preform from a laminate (40), having at least two prepreg layers, comprising the following steps: - clamping at least one first edge section (44) of the laminate (40) in a first clamping device (16) that is movable relative to a molded piece by means of a movement mechanism, and a second edge section (44) of the laminate (40) positioned opposite the first edge section in a further clamping device, - applying a tensile force (F) across the region of the laminate (40) positioned between the clamping devices by means of the first clamping device (16) relative to the second clamping device (17), and simultaneously moving the first clamping device (16) into a direction that is facing away from the second clamping device (17) up to a location at which the rounded surface region (58, 59) impresses a curvature onto the laminate (40) between the first clamping device (16) and the second clamping device (17) as viewed in the longitudinal direction thereof, and to a production device for deforming a semi-finished product for the production of a fiber-reinforced composite component according to said method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2009/071331 A2



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung eines FVW- Vorformlings aus einem Laminat (40) mit zumindest zwei Pre-preg- Lagen mit den Schritten: - Einspannen zumindest eines ersten Randabschnitts (44) des Laminats (40) in eine mittels einer Bewegungsmechanik gegenüber einem Formstück bewegbare erste Klemmvorrichtung (16) und eines entgegengesetzt zu dem ersten Randabschnitt gelegenen zweiten Randabschnitts (44) des Laminats (40) in eine weitere Klemmvorrichtung, - Ausüben einer Zugkraft (F) durch die erste Klemmvorrichtung (16) gegenüber der zweiten Klemmvorrichtung (17) über den zwischen den Klemmvorrichtungen gelegenen Bereich des Laminats (40) und gleichzeitig Bewegen der ersten Klemmvorrichtung (16) in einer Richtung, die von der zweiten Klemmvorrichtung (17) bis zu einer Stelle weg gerichtet ist, an der der gerundete Oberflächenbereich (58, 59) dem Laminat (40) zwischen der ersten Klemmvorrichtung (16) und der zweiten Klemmvorrichtung (17) in dessen Längsrichtung gesehen eine Krümmung aufprägt, sowie Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils nach diesem Verfahren.

**Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem
Laminat mit zumindest zwei Prepreg-Lagen sowie
Herstellungsvorrichtung für ein derartiges Verfahren**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem Laminat mit zumindest zwei Prepreg-Lagen sowie eine Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils nach diesem Verfahren.

Die EP 1 393 875 A1 beschreibt eine Pressvorrichtung zum Umformen einer Laminatstruktur. Die Pressvorrichtung weist ein Presswerkzeug auf, das von einem mittleren Abschnitt wegragende seitliche Endstücke aus einem elastischen Material aufweist. Bei der Pressverform-Bewegung wird das Presswerkzeug gegen eine Gegenlage mit einer darauf liegenden Laminatstruktur gefahren, die derart auf der Gegenlage angeordnet ist, dass sich entgegengesetzt zueinander gelegene Abschnitte über die Gegenlage hinaus erstrecken. Die Gegenlage ist derart ausgebildet, dass bei der Pressbewegung des Presswerkzeugs die sich über die Gegenlage hinaus erstreckenden Abschnitte der Laminatstruktur seitlich der Gegenlage hinab gedrückt werden. Die elastischen Endstücke pressen dabei die seitlich der Gegenlage mit zunehmender Pressbewegung entstehenden Krümmungsbereiche der Laminatstruktur in deren Dickerichtung zusammen. Bei der Pressbewegung gleiten die Anlageflächen der Endstücke über der diesen zugewandten Oberfläche der Laminatstruktur.

In der US 2 378 642 ist die Herstellung von Produkten aus Naturfaser durch einen stempelartigen Formgebungsprozess beschrieben, bei dem ein erstes Presswerkzeugteil mit einer dreidimensionalen Verformungskontur gegen ein zweites Presswerkzeugteil mit einer dreidimensionalen Verformungskontur, die komplementär zu der Verformungskontur des ersten Presswerkzeugteils gebildet ist, gefahren wird. Durch ein Pressverfahren wird ein zwischen diesen eingelegtes Faserhalbzeug dreidimensional verformt.

Ein mehrstufiges Verfahren zur Herstellung eines strukturellen Verbundträgers für Flugzeuge ist aus der DE 60 2005 002 300 T2 bekannt.

Für eine Vielzahl von Anwendungen der Luft- und Raumfahrttechnik, im Fahrzeugbau und anderen Bereichen werden vorimprägnierte, auch als Prepreg bezeichnete Faserverbundwerkstoffe bestehend aus mit einer Harzmischung, unter Einhaltung eines definierten Faservolumengehalts, getränkten Verstärkungsfasern verwendet. Zur Steigerung der Produktivität, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit moderner Verfahren zur Herstellung von Faserverbundwerkstoffbauteilen ist es aus dem allgemeinen Stand der Technik bekannt, derartige Prepregs mittels einem Warmumformverfahren umzuformen. Hierbei wird das mehrschichtige Prepreglaminat auf eine Umformtemperatur erwärmt, um die Fließeigenschaften der Harzmischung zu verbessern. Anschließend wird das Prepreglaminat umgeformt,

wobei die Laminatschichten (Laminatlagen) des Laminats aufeinander abgleiten. Das Warmumformen des Laminats erfolgt beispielsweise mittels eines Einfach- oder Doppel-Diaphragma-Umformverfahrens, Pressumformverfahrens oder Biegeverfahrens. Diaphragma-Umformverfahren verwenden eine Werkzeugform und eine flexible Membran (Diaphragma), die durch Teilevakuieren eine Verformung des Laminats bewirken. Das Pressumformverfahren erfolgt durch ein Zusammenpressen von erwärmten Formwerkzeugen.

Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Warmumformung von Verbundwerkstoffplatten mittels einer Biegetechnik ist beispielsweise aus der WO 90/11882 bekannt. Diese herkömmliche Biegevorrichtung verwendet zwei Biegeplatten, zwischen denen das Laminat angeordnet ist. Während des Umformens wird mittels eines Pressstempels und einer Druckwalze eine Zugkraft in Richtung des freien Plattenrandes des Laminats aufgebracht, um eine Spannung der Laminatschichten zu erreichen.

Nachteilig bei derartigen Verfahren ist, dass das interlaminare Gleiten der Laminatschichten, insbesondere bei großen Schenkellängen und Bauteildicken des Faserverbundwerkstoffbauteils, mit einem großen Widerstand verbunden ist, so dass es bei der Herstellung des Bauteils zu einem Abheben und Ausbeulen der inneren Laminatschichten in Folge von Druckspannungen am Innenradius des Bauteils kommen kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem Laminat mit zumindest zwei Prepreg-Lagen sowie eine Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils nach diesem Verfahren bereitzustellen, wobei ein Abheben und Aufwerfen der inneren Laminat-Lagen während dem Umformen verhindert wird.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Ausführungsformen sind in den auf diese rückbezogenen Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß ist insbesondere ein Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem Laminat mit insgesamt zumindest zwei Trockenfasergewebe-Lagen, das mit Bindern zusammengehalten wird, und/oder Prepreg-Lagen, vorgesehen, bei dem

- zwei Laminatabschnitte durch Klemmvorrichtungen eingespannt werden,
- ein Umformen des Laminats unter Ausbildung einer Krümmung

erfolgt, wobei

- die Klemmkräfte in der ersten und der zweiten Klemmvorrichtung so groß sind, dass innerhalb der jeweiligen Klemmvorrichtung kein Gleiten der Laminat-Lagen relativ zueinander erlaubt wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren oder mit der erfindungsgemäßen Herstellungsvorrichtung ist es möglich, dass das Laminatmaterial nicht langgezogen, sondern gebogen wird, und zwar so, dass die Laminatlagen nicht gegenseitig verrutschen oder aneinanderbzw. übereinander gleiten. Dadurch werden Gleitbewegungen zwischen den Laminatschichten beim Umformprozess und insbesondere daraus entstehende Beschädigungen der Oberfläche der Laminatstruktur und somit eine Beeinträchtigung der Qualität des herzustellenden Bauteils vermieden. Erfindungsgemäß erfolgt innerhalb der Klemmvorrichtung keine oder nur eine sehr geringe Gleitbewegung zwischen dem Laminat und der Klemmvorrichtung und/oder zwischen Laminatschichten, darüber hinaus liegt der Krümmungsbereich zur Außenseite hin frei.

Erfindungsgemäß ist insbesondere ein Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem Laminat mit insgesamt zumindest zwei Trockenfasergewebe-Lagen vorgesehen, das mit Bindern zusammengehalten wird, und/oder Prepreg-Lagen mit den Schritten:

- Einspannen von zwei entgegengesetzt zueinander gelegenen Randabschnitten in jeweils eine Klemmvorrichtung,
- Anordnung des Laminats auf einem Formstück und
- Zugbeaufschlagung des Laminats, so dass sich die Kontur des Formstücks abschnittsweise an dem Laminat ausbildet.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung wird bei dem Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings die

Zugspannung im Laminat durch eine Bewegung des Formstücks quer zur Längsrichtung des Laminats erzeugt. Hierzu ist die Herstellungsvorrichtung für die Durchführung des Verfahrens mit einer Betätigungseinrichtung und einer Bewegungsmechanik versehen, mit der das Formstück bewegt werden kann.

Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung weist das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere die Schritte auf:

- Einspannen zumindest eines ersten Randabschnitts des Laminats in eine mittels einer Bewegungsmechanik gegenüber einem Formstück bewegbare erste Klemmvorrichtung und eines entgegengesetzt zu dem ersten Randabschnitt gelegenen zweiten Randabschnitts des Laminats in eine weitere Klemmvorrichtung, wobei die erste Klemmvorrichtung von der weiteren Klemmvorrichtung aus gesehen jenseits eines gerundeten Oberflächenbereichs des Formstücks gelegen ist,
- Ausüben einer Zugkraft durch die erste Klemmvorrichtung gegenüber der zweiten Klemmvorrichtung über den zwischen den Klemmvorrichtungen gelegenen Bereich des Laminats und gleichzeitig Bewegen der ersten Klemmvorrichtung in einer Richtung, die von der zweiten Klemmvorrichtung bis zu einer Stelle weg gerichtet ist, an der der gerundete Oberflächenbereich dem Laminat zwischen der ersten Klemmvorrichtung und der zweiten Klemmvorrichtung in dessen Längsrichtung gesehen eine Krümmung aufprägt,

- wobei die Klemmkräfte in der ersten und der weiteren Klemmvorrichtung mindestens so groß sind, dass die bei Ausübung einer vorgegebenen maximalen Zugkraft auf das Laminat innerhalb der jeweiligen Klemmvorrichtung kein Gleiten der Laminat-Lagen relativ zueinander erlaubt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem Laminat mit insgesamt zumindest zwei Trockenfasergewebe-Lagen, das mit Bindern zusammengehalten wird, und/oder Prepreg-Lagen, kann insbesondere die Schritte aufweisen:

- Einspannen eines ersten Randabschnitts des Laminats in eine mittels einer Bewegungsmechanik gegenüber einem Formstück bewegbare erste Klemmvorrichtung und eines entgegengesetzt zu dem ersten Randabschnitt gelegenen zweiten Randabschnitts des Laminats in eine weitere Klemmvorrichtung, wobei die erste Klemmvorrichtung von der weiteren Klemmvorrichtung aus gesehen jenseits eines gerundeten Oberflächenbereichs des Formstücks liegt,
- Ausüben einer Zugkraft von der ersten Klemmvorrichtung gegenüber der zweiten Klemmvorrichtung über den zwischen den Klemmvorrichtungen gelegenen Bereich des Laminats hinweg, wobei die erste Klemmvorrichtung in eine vorbestimmte Richtung bewegt wird, so dass das Formstück durch seinen gerundeten Oberflächenbereich dem Laminat zwischen der ersten Klemmvorrichtung und

der zweiten Klemmvorrichtung, in Längsrichtung des Laminats gesehen, eine Krümmung aufprägt,

- wobei die Klemmkräfte in der ersten und der zweiten Klemmvorrichtung so groß sind, dass kein Gleiten der Laminat-Lagen relativ zueinander erlaubt wird.

Dabei kann weiterhin vorgesehen sein, dass die erste Klemmvorrichtung nach unten und in Richtung einer der ersten Klemmvorrichtung zugewandten ersten Seitenfläche des Formstücks bewegt wird, bis das Laminat abschnittsweise an der ersten Seitenfläche anliegt. Dabei kann weiterhin vorgesehen sein,

- dass vor dem Einspannen des Endabschnitts des Laminats (40) in die erste Klemmvorrichtung (16) der erste Randabschnitt (44, 45) gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich (46, 47) unter Ausbildung eines zwischen diesen Bereichen gelegenen Krümmungsbereichs angewinkelt ist und dabei die Lagen (Li, La) aufgrund der Krümmung zueinander versetzt sind, und
- dass die Lagen (Li, La) des ersten Endabschnitts in dieser versetzten Auflage in der ersten Klemmvorrichtung (16) zusammen geklemmt werden.

Bei dem Verfahren kann vorgesehen sein, dass das Bewegen der ersten Klemmvorrichtung unter Ausübung einer Zugkraft eine Bewegung der ersten Klemmvorrichtung in Richtung der Seitenfläche des Formstücks nach unten umfasst, bis das

Laminat abschnittsweise an einer der ersten Klemmvorrichtung zugewandten ersten Seitenfläche anliegt. Weiterhin kann dabei der Winkel, um den der in der ersten Klemmvorrichtung gelegene Randabschnitt gegenüber dem vor der ersten Klemmvorrichtung gelegenen Bereich des Laminats gedreht ist, im Bereich ± 10 Grad gleich dem Winkel sein, in dem die zweite Seitenfläche gegenüber der Auflagefläche verläuft.

Auch kann dabei vorgesehen sein, dass vor dem Bewegen der ersten Klemmvorrichtung zur Verformung des Laminats unter Ausübung einer Zugkraft oder, in einem speziellen Ausführungsbeispiel, vor dem Einspannen des Laminats in die Klemmvorrichtungen ein Anordnen des Laminats auf eine Auflagefläche eines Formstücks erfolgt, das in der Richtung von der weiteren zur ersten Klemmvorrichtung gesehen ineinander übergehend die Auflagefläche, den zwischen diesen gelegenen gerundeten Oberflächenbereich und die erste Seitenfläche aufweist.

Vor dem Einspannen des Endabschnitts des Laminats in die erste Klemmvorrichtung kann vorgesehen sein, dass der erste Endabschnitt gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich unter Ausbildung eines zwischen diesen Bereichen gelegenen Krümmungsbereichs angewinkelt ist und dabei die Lagen aufgrund der Krümmung zueinander versetzt sind, und dass die Lagen des ersten Endabschnitts in dieser versetzten Auflage in der ersten Klemmvorrichtung zusammen geklemmt werden. Dabei kann die Länge des Endabschnitts so gering vorgesehen sein, dass eine Versetzung der Lage des

Endbereichs ohne Bildung eines Aufwerfens einer inneren Lage stattfindet.

Bei dem Verfahren kann der Endabschnitt gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich mittels eines Umformkerns angewinkelt werden.

Das Anwinkeln des Endabschnitts gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich kann durch Drehung der ersten Klemmvorrichtung um eine Achse erfolgen, bei der der von der ersten Klemmvorrichtung aufgenommene Abschnitt des Laminats in seiner Längsrichtung gegenüber dem Bereich gewinkelt wird, der außerhalb der ersten Klemmvorrichtung und vor dieser gelegen ist. Dabei ist insbesondere eine geringere Klemmkraft eingestellt, die aufgrund der Drehung der Lagen eine Versetzung der Lagen zueinander erlaubt.

Das Laminat kann ein ringförmiges Segment eines durch Wickeln eines Halbzeugs auf einen Wickelkern hergestellten ringförmigen Vorformling-Laminats sein.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings kann die Auflagefläche und/oder die Seitenfläche eben ausgebildet sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Auflagefläche und/oder die erste Seitenfläche eine in der Zugrichtung gesehen gekrümmte Oberfläche haben. Auch kann die Auflagefläche und/oder die erste Seitenfläche eine quer zur Zugrichtung verlaufende dreidimensionale Kontur haben, so dass der Vorformling eine

quer zur Zugrichtung gesehen dreidimensionale Verformung erhält.

Weiterhin kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings vorgesehen sein, dass bei dem Bewegen der ersten Klemmvorrichtung mittels einer weiteren Bewegungsmechanik auch die zweite Klemmvorrichtung, die von der ersten Klemmvorrichtung aus gesehen jenseits eines weiteren gerundeten Oberflächenbereichs des Formstücks gelegen ist, in einer Richtung entgegen gesetzt zur Bewegungsrichtung der ersten Klemmvorrichtung bis zu einer Stelle bewegt wird, an der der zweite gerundete Oberflächenbereich des Formstücks, der von der ersten Klemmvorrichtung aus gesehen jenseits des ersten Oberflächenbereichs gelegen ist, dem Laminat zwischen dem ersten gerundeten Oberflächenbereich und der zweiten Klemmvorrichtung in dessen Längsrichtung gesehen eine Krümmung aufprägt. Die Bewegung der zweiten Klemmvorrichtung kann dabei gleichzeitig zur Bewegung der ersten Klemmvorrichtung erfolgen. Auch kann das Bewegen der weiteren Klemmvorrichtung eine Bewegung der weiteren Klemmvorrichtung in Richtung einer entgegen gesetzt zur ersten Seitenfläche gelegenen und der zweiten Klemmvorrichtung zugewandten zweiten Seitenfläche des Formstücks nach unten umfassen, bis das Laminat abschnittsweise an der zweiten Seitenfläche anliegt.

Bei diesem Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings kann vorgesehen sein,

- dass vor dem Einspannen des zweiten Endabschnitts des Laminats in die zweite Klemmvorrichtung der zweite Endabschnitt gegenüber dem neben dem zweiten Endabschnitt gelegenen Bereich unter Ausbildung eines zwischen diesen Bereichen gelegenen Krümmungsbereichs angewinkelt ist und dabei die Lagen aufgrund der Krümmung zueinander versetzt sind, und
- dass die Lagen des Endabschnitts in dieser versetzten Auflage in der ersten Klemmvorrichtung zusammen geklemmt werden.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die Länge des zweiten Endabschnitts so gering ist, dass eine Versetzung der Lage des Endbereichs ohne Bildung eines Aufwerfens einer inneren Lage stattfindet. Weiterhin kann bei dem Verfahren vorgesehen sein, dass der Winkel um den in der zweiten Klemmvorrichtung gelegenen Randabschnitt gegenüber dem vor der ersten Klemmvorrichtung gelegenen Bereich des Laminats im Bereich ± 10 Grad gleich dem Winkel ist, in dem die zweite Seitenfläche gegenüber der Auflagefläche verläuft. Bei dem Schritt des Anwinkelns des zweiten Endabschnitts gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich kann diese Anwinkelns mittels eines Umformkerns erfolgen. Insbesondere kann das Abwinkeln des zweiten Endabschnitts gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich durch Drehung der zweiten Klemmvorrichtung um eine Achse erfolgen, bei welcher der von der zweiten Klemmvorrichtung aufgenommene zweite Endabschnitt des Laminats in seiner Längsrichtung gegenüber dem Bereich gewinkelt wird, der

außerhalb der zweiten Klemmvorrichtung und vor dieser gelegen ist.

Die zweite Seitenfläche kann zumindest abschnittsweise eben ausgebildet sein oder zumindest abschnittsweise eine in der Zugrichtung gesehen gekrümmte Oberfläche haben. Weiterhin kann die Auflagefläche und/oder die erste Seitenfläche eine quer zur Zugrichtung verlaufende dreidimensionale Kontur haben, so dass an dem Vorformling eine quer zur Zugrichtung gesehen dreidimensionale Verformung erhält.

Erfindungsgemäß ist auch eine Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils vorgesehen, die aufweist:

- ein Formstück mit einer Kontur zur Anlage des Halbzeugs,
- eine erste und eine zweite Aufnahmevorrichtung jeweils zur Aufnahme eines Randabschnitts eines Laminats, die jeweils eine Klemmvorrichtung zum Einklemmen des Halbzeugs aufweisen,
- eine Bewegungsmechanik, die mittels einer Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an das Formstück gekoppelt und mit der das Formstück mit einer Anlagekontur quer zum zwischen der ersten Aufnahmevorrichtung und der zweiten Aufnahmevorrichtung gelegenen Halbzeug bewegbar ist, um eine vorbestimmte Zugkraft auf das Halbzeug auszuüben, wobei die Anlagekontur eine Krümmung aufweist und das Formstück derart positioniert ist, dass sich bei der Bewegung

desselben quer zum Laminatverlauf eine Krümmung im Laminat ausbildet.

Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils vorgesehen, aufweisend:

- eine Formstück-Aufnahme zur Aufnahme eines Formstücks für Umformung des Halbzeugs,
- eine erste und eine zweite Aufnahmevorrichtung jeweils zur Aufnahme eines Randbereichs eines Laminats, die jeweils eine Klemmvorrichtung zum Einklemmen des Halbzeugs aufweisen,
- eine Bewegungsmechanik, die mittels einer Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an der die erste Aufnahmevorrichtung gekoppelt ist, wobei die Bewegungsmechanik derart gestaltet ist, dass die erste Aufnahmevorrichtung eine vorbestimmte Zugkraft gegen die Richtung, die zur zweiten Aufnahmevorrichtung weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass mit der Bewegungsmechanik eine Antriebsvorrichtung gekoppelt ist, die mittels der Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an der die erste Aufnahmevorrichtung gekoppelt ist, wobei die Bewegungsmechanik und die Antriebsvorrichtung derart gestaltet sind, dass die erste Aufnahmevorrichtung eine vorbestimmte Zugkraft gegen die Richtung, die zur zweiten Aufnahmevorrichtung weist, aufbringen kann und gleichzeitig

eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann.

Die von der Bewegungsmechanik ausgeführte Bewegung kann dabei in einer Ebene gelegen sein. Die Antriebsvorrichtung kann geeignet sein, während der von der Bewegungsmechanik ausgeführten Bewegung auf das Laminat eine Zugkraft mit einem vorbestimmten Betrag auszuüben. Die Zugkraft kann mittels einer insbesondere mit der Antriebsvorrichtung gekoppelte Federeinrichtung aufgebracht werden, mit der eine Mindest-Zugkraft während der Umform-Bewegung erhalten bleibt. Auch kann die Bewegungsmechanik derart gestaltet sein, dass die Bewegungsbahn einstellbar ist. Die Bewegungsbahn kann dabei bogenförmig sein. Weiterhin kann die erste Aufnahmevorrichtung eine Drehvorrichtung aufweisen, mit der die erste Aufnahmevorrichtung um eine Achse, die quer zur Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Aufnahmevorrichtung verläuft, drehbar ist.

Zusätzlich kann vorgesehen sein, dass an die zweite Aufnahmevorrichtung eine Bewegungsmechanik gekoppelt ist, die mittels einer Betätigungsvorrichtung ansteuerbar, wobei die Bewegungsmechanik und die Antriebsvorrichtung derart gestaltet sind, dass die zweite Aufnahmevorrichtung eine vorbestimmte Zugkraft gegen die Richtung, die zur ersten Aufnahmevorrichtung weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann. Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die von der Bewegungsmechanik ausgeführte Bewegung der zweiten Aufnahmevorrichtung in einer Ebene gelegen ist.

Insbesondere kann die Antriebsvorrichtung der zweiten Aufnahmeverrichtung so gestaltet sein, dass diese geeignet ist, auf das Laminat eine Zugkraft mit einem vorbestimmten Betrag auszuüben. Auch die Antriebsvorrichtung der zweiten Aufnahmeverrichtung kann eine Federeinrichtung aufweisen, mit der eine Zugkraft entgegen der ersten Aufnahmeverrichtung aufgebracht wird, so dass eine Mindest-Zugkraft während Umformen erhalten bleibt. Die Bewegungsmechanik der zweiten Aufnahmeverrichtung kann derart gestaltet sein, dass die Bewegungsbahn einstellbar ist. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Herstellungsvorrichtung derart gestaltet ist, dass eine Zugkraft in Richtung des vor der jeweiligen Klemmvorrichtung oder Aufnahmeverrichtung freiliegenden Abschnitts ausgeübt wird und gleichzeitig eine vorgegebene Bewegungsbahn ausgeführt wird. Generell kann die Bewegungsbahn der zweiten Aufnahmeverrichtung bogenförmig ist. Weiterhin kann die zweite Aufnahmeverrichtung eine Drehvorrichtung aufweisen, mit der die zweite Aufnahmeverrichtung um eine Achse, die quer zur Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Aufnahmeverrichtung verläuft, drehbar ist.

Die Betätigungsvorrichtung und der Bewegungsmechanik mit den vorgenannten Alternativen können in analoger Weise auch für die Bewegung des Formstücks vorgesehen sein.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung an Hand der beiliegenden Figuren beschrieben, die zeigen:

- Figur 1 eine Seitenansicht eines Wickelkerns mit aufgewickeltem Laminat mit mehreren Lagen als optionaler erster Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Vorformlings für ein Faserverbundwerkstoff (FVW)-Bauteil gemäß einem ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel;
- Figur 2 eine Seitenansicht eines Segments des nach der Figur 1 gewickelten Vorformlings, das für nachfolgende Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet werden kann;
- Figur 3 eine Seitenansicht einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Umformvorrichtung zur Herstellung eines FVW-Bauteils, in die ein aus dem Vorformling nach Figur 2 gebildetes Laminat eingelegt worden ist, wobei die Figur 3 den Zustand der Vorrichtung und des Laminats vor der Umformung zeigt;
- Figur 4 die Ausführungsform der erfindungsgemäßen Umformvorrichtung nach der Figur 3 in derselben Seitenansicht mit dem Laminat nach der Umformung;
- Figur 5 eine zu dem in den Figuren 1 und 2 gezeigten Verfahren zur Bildung des Laminats alternatives Verfahren mit einem ersten Schritt, wobei eine Seitenansicht einer Vorform-Vorrichtung mit aufgelegtem Laminat gezeigt ist;

- Figur 6 eine Seitenansicht der Vorform-Vorrichtung nach der Figur 5 nach der Umformung des Vorformlings;
- Figur 7 eine Seitenansicht einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Umformvorrichtung mit eingelegtem Vorformling aus Figur 6 vor der Umformung und
- Figur 8 eine Seitenansicht der Umformvorrichtung nach der Figur 7 mit eingelegtem Vorformling nach der Umformung.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Faserverbundwerkstoff (FVW)-Vorformlings 1, das in den Figuren 4 und 8 in einer herzustellenden Form gezeigt ist, wird mittels der Bewegung einer Klemmvorrichtung zumindest ein eingespannter Endabschnitt 46 bzw. 47 durch Anlage an einen gerundeten Oberflächenbereich 56 bzw. 57 unter Ausübung einer Zugkraft quer zur Drehachse der Klemmvorrichtung angewinkelt (Figuren 3 sowie 7 und 8).

Optional kann vor diesem Verfahrensschritt zur Bildung eines Ausgangs-Vorformlings in einem Ausgangszustand 2 eine Vorkrümmung des Laminats insbesondere in der Umgebung eines bei den herzustellenden Bauteil vorzusehenden Krümmungsbereichs 68, 69 (Figur 8) durchgeführt werden, wie dies an Ausführungsbeispielen in den Figuren 1, 2 sowie 5, 6 gezeigt ist. Dabei wird ein Laminat 4, 42, das eine Mehrzahl oder eine Vielzahl von Laminatschichten oder Lagen 2a, 2b, 2c aufweist, z.B. in einem Zustand, der in den Figuren 2 bzw. 6 und 7 gezeigt ist, verformt.

Zur erfindungsgemäßen Herstellung eines FVW-Vorformlings wird als Ausgangs-Laminat ein Laminat aus mit insgesamt zumindest zwei Trockenfasergewebe-Lagen, das mit Bindern zusammengehalten wird, und/oder Prepreg-Lagen verwendet. In diesem Sinne wird im Folgenden kurz von Laminat aus Lagen gesprochen.

Die Verformung kann eine Umformung sein und kann insbesondere zusätzlich auch eine dreidimensionale Verformung der Lagen des Ausgangs-Laminats sein.

Zur Bildung eines solchen Ausgangs-Vorformlings in einem Ausgangszustand 2, können optional verschiedene Verfahren verwendet werden, von denen eines in den Figuren 1 und 2 und ein anderes in den Figuren 5 und 6 gezeigt ist.

Nach einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bildung eines Ausgangs-Vorformlings zur Verwendung in der erfindungsgemäßen Herstellungsvorrichtung wird optional das für die nachfolgenden Umformschritte verwendete Laminat 4 zuvor in einem Wickelprozess hergestellt (Figur 1), bei dem z.B. ein Faserverbundwerkstoff auf einen Wickelkern 6 gewickelt, der insbesondere einen kreisförmigen Querschnitt haben kann (Figur 1). Der Wickelprozess kann auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Es kann vorgesehen sein, eine Endlosfaser, einen Strang oder ein Band zunächst durch ein Tränkbad zu führen, mit dem Matrixwerkstoff zu benetzen und dann um dem Wickelkern 6 zu wickeln. Alternativ werden

Prepreg-Bänder aufgewickelt, die anschließend ausgehärtet werden. Ferner ist es möglich den Kern mit ungetränkten Verbundwerkstoffen zu umwickeln, die anschließend in einem Harzinjektionsverfahren zur Bildung des Laminats getränkt werden. Die Schichtfolge und Anzahl der aufgetragenen Laminatschichten 2a, 2b, 2c hängt von den Anforderungen an das herzustellende Bauteil ab. Insbesondere wird der Faserverlauf an den Lastpfad des Bauteils angepasst, so dass die Herstellung leichter, hochfester Strukturen möglich ist. Der Wickelprozess und damit die Herstellung des Vorformlings 4 kann weitgehend automatisiert durchgeführt werden.

Figur 2 zeigt eine Seitenansicht eines Segments des nach der Figur 1 gewickelten Vorformlings 4 aus Figur 1, das aus dem im Wickelverfahren hergestellten ringförmigen Vorformling 2 kann nach dem Wickeln in mehrere und vorzugsweise in zwei, jeweils ein Laminat 4 ausbildende Halbringe aufgetrennt und von dem Wickelkörper 6 abgenommen wird. Durch die Verwendung eines Laminat-Ringsegments als Ausgangsvorformling für den Umformverfahren nach der Figur 3 sind in der Längsrichtung der Krümmung gesehen die Endabschnitte 24, 25 gegenüber einem mittleren Bereich 21 in der Orientierung ihrer Längsrichtungen gedreht.

Alternativ kann das Vorformling-Laminat auch nach der Darstellung der Figuren 5 und 6 oder auf andere Weise gebildet werden.

Dabei kann vorgesehen sein, dass zumindest ein erster Endabschnitt 44, 45 gegenüber einem Bereich 46, 47 angewinkelt ist, der neben diesem Endabschnitt 44, 45 zum mittleren Bereich 41 der Oberfläche des Laminats gelegen ist, so dass ein zwischen dem Endabschnitt 46 bzw. 47 gelegener Bereich unter Ausbildung eines zwischen diesen Bereichen gelegenen Krümmungsbereichs 48 bzw. 49 angewinkelt ist.

Bei dem in den Figuren 5 und 6 dargestellten Beispiel erfolgt das Einbringen der Krümmung 48, 49 an Kantenlinien oder Kantenbereichen einer Werkzeugform 20. Zur Ausbildung der Krümmung 48, 49 kann das Vorformling-Laminat 3 insbesondere gerundete Oberflächenbereiche 36, 37 aufweisen.

Die Querschnittsform der Werkzeugform 20 kann nach dem Anwendungsfall und der geforderten Form des Vorformlings 3 vorgesehen sein. In den Figuren 5 und 6 ist eine etwa rechteckige Querschnittsform dargestellt. Die Werkzeugform 20 könnte z.B. auch eine trapezförmige, dreieckige oder hexagonale Querschnittsform haben.

Die gerundeten Kanten oder Oberflächenbereiche 36 bzw. 37 bilden bei entsprechender Anlage des Laminats an demselben die Krümmungsbereiche 48 bzw. 49 aus. Dieser Schritt kann auch mit zwei, in einer Längsrichtung oder Bearbeitungsrichtung gesehen entgegen gesetzt zu diesem gelegenen zweiten Endabschnitten vorgesehen sein, wie dies in den Figuren 5 und 6 dargestellt ist. Da bei diesem

Schritt der jeweilige Endabschnitt in Querschnittsrichtung nicht eingespannt oder geklemmt ist, können sich die Lagen entsprechend ihres jeweiligen Radius im Krümmungsbereich 48 bzw. 49 zueinander in ihrer Längsrichtung versetzen.

Die Bildung eines Ausgangs-Vorformlings mit einem Abwinkeln des Endabschnitts gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich kann auch, nach Einspannen eines Randabschnitts in eine Klemmvorrichtung, durch Drehung der jeweiligen Klemmvorrichtung um eine Achse erfolgen, bei der sich der von der ersten Klemmvorrichtung aufgenommene Abschnitt des Laminats in seiner Längsrichtung gegenüber dem Bereich gewinkelt wird, der außerhalb der ersten Klemmvorrichtung und vor dieser gelegen ist, wobei eine geringere, d.h. maximal zulässige Klemmkraft eingestellt ist, die aufgrund der Drehung der Lagen eine Versetzung der Lagen zueinander erlaubt.

Durch diese optionale Bildung eines Ausgangs-Vorformlings wird nachfolgend zumindest ein freiliegender Endabschnitt 46 bzw. 47 mit Lagen, die gegenüber einer Ausgangslage mit anderer Krümmung und insbesondere mit einem, zumindest in diesen Bereichen, ebenen Verlauf zueinander versetzt sind, derart eingespannt oder festgeklemmt, so dass sich die Lagen des Endabschnitts im weiteren Verfahrensschritten nicht mehr zueinander versetzen können. Durch die genannten Schritte zur Bildung eines Ausgangs-Vorformlings, der bereits eine Krümmung aufweist, wird die Gefahr der Bildung von Beulen oder eines Aufwerfens oder von Falten im Krümmungsbereich 48 bzw. 49 an den innen liegenden Lagen

L_i , d.h. den Lagen mit geringerem Durchmesser, gegenüber weiter außen liegenden Lagen L_a mit im Krümmungsbereich größeren Radien weiter verringert. Zu diesem Zweck soll vorzugsweise, bei der Verformung nach den Figuren 5 und 6 die Länge des jeweiligen Endabschnitts 46 bzw. 47 in Längsrichtung LR gesehen, abhängig vom Material der verwendeten Prepreg-Lagen, einen vorbestimmten Maximal-Betrag nicht überschreiten, ab dem ein Aufwerfen oder eine Beulung von innen liegenden Lagen gegenüber äußeren Lagen im jeweiligen Krümmungsbereich 48 bzw. 49 auftritt. Dadurch, das auf einer Seite des Laminats zunächst ein Schenkel mit einer geringeren Länge l (Figur 6) durch Anwinkeln gebildet wird und im nachfolgenden Schritt aus diesem Schenkel ein Schenkel des herzustellenden Bauteils mit einer größeren Länge L (Figur 8) mittels der mit Ausübung einer Zugkraft auf das Laminat bewegten Klemmvorrichtung gebildet wird, wird erreicht: in dem ersten Schritt wird eine Verschiebung von Lagen zueinander über eine Länge erreicht, bei der die Anwinklung des Schenkels noch keine Aufwerfen oder Beulend innerer Lagen bewirkt wird; und in dem zweiten Schritt wird die Verschiebung der Lagen zueinander über die größere Schenkel-Länge L des herzustellenden Bauteils verteilt. Auch dabei erfolgt, solange der Unterschied der Längen L und l nicht zu groß gewählt ist, wiederum keine Aufwerfen oder Beulen von innerer Lagen des Laminats.

Als Ausgangs-Vorformling für das Verfahren auch nach den Figuren 5 und 6 kann auch ein Vorformlings-Segment 2 nach der Figur 2 verwendet werden.

Das Umformen des Vorformlings 3 kann mittels einem Warmumformverfahren erfolgen, um die gemäß Figur 5 überstehenden Endabschnitte 44, 45 des Laminats 2 werden mittels einem Warmumformverfahren umgeformt. Das Warmumformen des plattenförmigen Laminats 2 kann beispielsweise durch ein Einfach- oder Doppel-Diaphragma-Umformverfahren erfolgen. Hierbei gleiten die Lagen 2a, 2b, 2c des Laminats 2 aufeinander, wobei die Verschiebungen an den Schenkel-Enden 42, 43 auslaufen, so dass der in der Figur 6 gezeigte „Bucheffect“ am Laminatrand 42, 43 des etwa U-förmigen Vorformlings 40 auftritt. Bei den Diaphragma-Umformverfahren wird zwischen dem Einfach- (SD-Verfahren) und dem Doppeldiaphragma-Verfahren (DD-Verfahren) mit einem Diaphragma bzw. zwei Diaphragmen unterschieden. Als Diaphragma wird jeweils eine flexible Membran (nicht dargestellt), beispielsweise eine Tygavac® LRB100- oder Mosites-Membran bezeichnet, die einen durch Vakuum evakuierten Raum von der Atmosphäre trennt. Beim SD-Verfahren wird zunächst der Umformkern 40 auf einem Vakuumtisch platziert. Anschließend wird das Laminat 2 auf der Werkzeugform 20 in der gewünschten Lage positioniert, fixiert und mittels einer Heizvorrichtung 18 aufgewärmt (siehe Figur 5). Zum Erwärmen des Laminats 2 wird dieses weiterhin von oben konvektiv mit Wärme bestrahlt. Sowohl beim SD- als auch beim DD-Verfahren wird dabei die Wärme zunächst mittels Wärmestrahlung auf das obere Diaphragma und von dort per Wärmeleitung durch die Membran in das Gelege übertragen. Als Wärmequelle werden vorzugsweise Keramikstrahler, Glühlampen oder IR-Strahler verwendet.

Zusätzlich kann der Umformtisch von unten, d.h. von der Werkzeugform 20 her, z.B. über Wärmestrahler, beispielsweise IR-Strahler erhitzt werden. Danach wird das Diaphragma auf dem gesamten Aufbau abgelegt und mit dem Vakuumtisch luftdicht verbunden. Anschließend wird durch eine Vakuumleitung zwischen dem Diaphragma und dem Vakuumtisch ein Unterdruck erzeugt, so dass der Umgebungsdruck das Laminat 2 an die Werkzeugform 20 drückt und auf diese Weise umformt.

Das Doppeldiaphragma-Verfahren unterscheidet sich von dem Einfachdiaphragma-Verfahren im Wesentlichen dadurch, dass das Laminat 2 zwischen zwei Membranen positioniert und vakuum-evakuiert wird. Auf diese Weise werden die einzelnen Lagen des Laminats 2 bereits zueinander fixiert. Das gesamte Paket aus den zwei Diaphragmen und dem Gelege wird anschließend, wie bereits anhand des SD-Verfahrens erläutert, erwärmt und umgeformt.

Das optional vorgesehene Warm-Umformen des Vorformlings 4 kann gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung mittels einem Press- oder Biegeumformverfahren vorgenommen werden (nicht dargestellt). Bei einem Pressumformverfahren zur Umformung des Vorformlings 4 wird das Laminat 2 zwischen einem negativ und einem positiv Werkzeug durch Pressen unter Temperatureinwirkung umgeformt. Zur Herstellung des Vorformlings 4 mit einem Biegeumformverfahren wird ein Laminat 2 auf einem Tisch liegend um einen Kante umgekantet. Hierzu werden Platten verwendet, die das Laminat auf der Ober- und Unterseite

ohne starke Pressung umfassen. Anschließend wird ein Endabschnitt des Laminats 2 mittels einer Schwenkbewegung der Platten um die Kante gebogen.

Erfindungsgemäß wird der vorkrümmte oder nicht vorgekrümmte Vorformling mittels der Bewegung einer Klemmvorrichtung 16, 17, in der zumindest ein Endabschnitt 46 bzw. 47 eingespannt ist, insbesondere ein in Längsrichtung gesehen innen oder vor der Klemmvorrichtung, d.h. in Richtung zu dem mittleren Bereich gelegener Bereich 46 bzw. 47 durch Anlage an einen gerundeten Oberflächenbereich 58 bzw. 59 eines Formstücks 50 angewinkelt, wobei mittels der Klemmvorrichtung quer zur Drehachse oder Bewegungsbahn der Klemmvorrichtung eine Zugkraft auf das Laminat ausgeübt wird (Figuren 3 sowie 7 und 8).

Die zumindest eine Klemmvorrichtung 16, 17 ist vorzugsweise in einer Aufnahmevorrichtung 14 bzw. 17 integriert, in die der jeweilige Endabschnitt des Laminats aufgenommen werden kann. Die Klemmvorrichtung 16, 17 weist vorzugsweise Laminatklemmen mit zwei Klemmwangen 25a, 25b auf, die auf das Laminat oder den Laminat-Vorformling 40 eine Kraft F in Laminat-Längsrichtung ausüben können. Die Klemmvorrichtung 16, 17 kann die Endabschnitte 24, 25 des Laminats 40 gegebenenfalls mittels Klemmen derart halten, dass sich die Lagen 2a, 2b, 2c im Bereich der Endabschnitte 24, 25 insbesondere in Längsrichtung LR nicht relativ zueinander bewegen können.

In dem vor der Klemmvorrichtung gelegenen Bereich 46 bzw. 47 bildet sich also in der Nähe des jeweiligen eingespannten Endabschnitts ein zweiter Krümmungsbereich 68 bzw. 69 aus (Figur 8), der vom jeweiligen eingespannten Endabschnitt 44 bzw. 45 aus gesehen, weiter innen, d.h. in Richtung zum gerundeten Oberflächenbereich 58, 59 hin liegt (sofern eine Vorverformung stattfindet). Während der Verformung des Laminats (Figuren 5 und 6) durch die Bewegung und Ausübung einer Zugkraft durch die Klemmvorrichtung werden die Endabschnitte 22 des Vorformlings 4 mittels jeweils einer der Umformeinrichtungen 14, 16 derart fixiert, dass die Laminatschichten 2a, 2b, 2c am Laminatrand des Vorformlings zumindest nicht in Zugrichtung aufeinander abgleiten können.

Da bei diesem Vorverformungsverfahren in einer Bearbeitungsrichtung gesehen die Breite B des Umformkerns 40 größer ist als die in dieser Richtung wirksame Breite b des Formstücks 50 (Figur 7), ist die unter der Zugkraft entstehende Schenkellänge L zwischen dem jeweiligen Rand 42, 43 und dem entstehenden Krümmungsbereich 68, 69 des Laminats 40 größer als die Schenkellänge l des Vorformling-Laminats zwischen den Rändern 42, 43 und der an der Werkzeugform 20 ausgebildeten Krümmungsbereich 48, 49 (siehe Figuren 6 und 8). Die Biegeradien R des Umformkerns 40 können insbesondere derart ausgebildet, dass diese den Biegeradien r der Werkzeugform 20 entsprechen.

An der Aufnahmevorrichtung 14, 15 kann an der dem Formstück 50 zugewandten Seite eine Anlagefläche 14a bzw. 15a vorgesehen sind, die insbesondere an der dem Laminat zugewandten Seite gerundet ausgebildet sein kann, deren Krümmungsachse quer zur Zugrichtung verläuft. Diese Anlagefläche kann mit einer entsprechenden Gestaltung insbesondere vorgesehen sein, um bei Ausübung einer Zugkraft F diese auf den Vorformling 42 zu übertragen, ohne diesen zu beeinträchtigen. Eine entsprechend gerundete Anlagefläche 14a, 15a kann auch dazu vorgesehen sein, bei der Bildung des Ausgangs-Vorformlings 2 diesem eine Krümmung 48, 49 zu verleihen, was alternativ oder zusätzlich zum Verfahren gemäß Figuren 5, 6 mit dem Verformungskern oder der Werkzeugform 20 erfolgen kann.

Das Anwinkeln des Endabschnitts gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich zur Bildung eines Ausgangs-Vorformlings kann auch durch Drehung der ersten Klemmvorrichtung um eine Achse erfolgen, bei der sich der von der ersten Klemmvorrichtung aufgenommene Abschnitt des Laminats in seiner Längsrichtung gegenüber dem Bereich gewinkelt wird, der außerhalb der ersten Klemmvorrichtung und vor dieser gelegen ist.

Bei der Bildung des Ausgangs-Vorformlings muss die Krümmungsachse nicht geradlinig sein, da es sich auch um ein in der Längsrichtung gekrümmtes Bauteil handeln kann. Der Verlauf der Krümmungsachse bei der Bildung eines Ausgangs-Vorformlings muss auch nicht parallel zu der Krümmungsachse des Laminats verlaufen, die bei der

Verformung mit der Klemmvorrichtung unter Ausübung der Zugkraft vorgesehen ist.

Weiterhin muss der Winkel, in den bei dem Beispiel der Figuren 5 und 6 bei der Bildung des Ausgangs-Vorformlings der Endabschnitt und der innen liegende Bereich 46 bzw. 47 zueinander gebracht werden, in Längsrichtung L gesehen nicht gleich dem Winkel sein, in dem nach weiterer Umformung des Laminats mittels der Klemmvorrichtungen und dem Formstück 50 ein von dem jeweils ersten Krümmungsbereich 48 bzw. 49 aus gesehen weiter innen liegenden Krümmungsbereich (in der Figur 8 der mittlere Bereich) und den jeweils eingespannten Endabschnitten zueinander verlaufen. In dem in den Figuren 6 und 8 dargestellten Beispiel ist dies jedoch der Fall, da in dem vorbereitenden Schritt wie in dem mit den Klemmvorrichtungen ausgeführten Verfahrensschritt ein rechter Winkel in Längsrichtung des Laminats gesehen ausgebildet wird. In diesem Beispiel kann insbesondere der Winkel, um den der in der ersten Klemmvorrichtung gelegene Randabschnitt gegenüber dem vor der ersten Klemmvorrichtung gelegene Bereich des Laminats gedreht ist, im Bereich ± 10 Grad gleich dem Winkel sein, in dem die zweite Seitenfläche gegenüber der Auflagefläche verläuft.

Die Längsrichtung RL ist generell auch die Richtung, in der die Klemmvorrichtungen Zugkräfte ausüben, wobei sich die Längsrichtung insbesondere aus der Verbindungslinie der Mitten der eingespannten Endabschnitte ergeben kann.

Bei dem Verfahren kann der Endabschnitt gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich mittels eines Formkerns angewinkelt werden.

Generell kann vorgesehen sein, dass insbesondere während der Verformung des Laminats durch die Klemmvorrichtung unter Ausübung einer Zugkraft eine weitere Verformung des Laminats durchgeführt wird. Z.B. kann vorgesehen sein, dass die Auflagefläche 33 des Formkerns dreidimensional verformt ist und z.B. Erhöhungen, Riffelungen, Durchsetzungen, Rampen o.ä. aufweist. Derartige Konturflächen können auch an einer oder beiden Seitenflächen 34, 35 vorgesehen sein. Bei Ausübung der Zugkraft auf das Laminat wird der Abschnitt desselben, der entlang einer derartigen Auflagefläche bzw. einer oder beiden derartigen Seitenflächen verläuft, durch Andrücken an diese dreidimensional verformt. Bei entsprechender Formgebung der Auflagefläche bzw. einer oder beiden Seitenflächen kann dabei auch eine zumindest bereichsweise Verschiebung von Lagen des Laminats zueinander erreicht werden. Auf diese Weise können etwa Ausformungen wie z.B. Hinterschneidungen oder auch Verzerrungen des Laminats erreicht werden.

Vorzugsweise verläuft die Richtung der Zugkraft F , quer zur Zugkraft gesehen, möglichst genau in der Längsrichtung des Laminats 40 zwischen dem nächst der jeweiligen Klemmvorrichtung, die die Zugkraft F ausübt, oder einer Anlagefläche 12, 13 und einem gerundeten Oberflächenbereich 58, 59.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann bei der Bewegung der zumindest einen Klemmvorrichtung 16, 17 oder Aufnahmevorrichtung 14, 15 unter Ausübung einer Zugkraft die Bewegungsbahn 62, 63 derart eingestellt sein, dass das Laminat bzw. der von der Klemmvorrichtung 16, 17 aufgenommene Endabschnitt 44, 45 als Ganzes in der Klemmvorrichtung verrutscht und/oder dass Lagen innerhalb des Endabschnitts 44, 45 zueinander verrutschen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Verlauf der Auflagefläche 12, 13 und/oder des gerundeten Abschnitts 58, 59 sowie die Lage und Bewegung der jeweiligen Klemmvorrichtung 16, 17 relativ dazu eine quer zur Zugkraft gerichtete Verschiebungskraft des Laminats gegenüber der Klemmvorrichtung bewirkt.

Die Bewegung der Klemmvorrichtungen bzw. der Aufnahmevorrichtungen erfolgt relativ zu dem gerundeten Abschnitt 58, 59, der dem Laminatbereich vor der jeweiligen Klemmvorrichtung eine Krümmung bildet. Dabei können auch mehrere gerundete Oberflächenbereiche am Formstück vorgesehen sein, um mehrere Krümmungen am Laminat zu bilden.

Die Bewegungssteuerung der Aufnahmevorrichtungen 14, 15 entlang der jeweiligen Bewegungsbahn 61 bzw. 62 kann manuell oder automatisch, z.B. mittels einer nicht dargestellten CNC-Steuerung einer Betätigungsvorrichtung erfolgen. Während dieser Bewegung gleiten die Schichten 2a, 2b, 2c zwischen der jeweiligen Klemmvorrichtung 14, 16 und dem zumindest einen gerundeten Oberflächenbereich 58, 59

aufeinander ab. Dabei wird die Bewegungsbahn 61, 62 und die Richtung und Größe der Zugkraft F derart gewählt, dass die Lagen 2a, 2b, 2c insbesondere während der Bewegung der zumindest einen Klemmvorrichtung unter einer Zugspannung stehen, so dass ein Ausbeulen oder Aufwerfen von Lagen oder des Laminates nicht auftritt.

Die Herstellungsvorrichtung weist hierzu eine Bewegungsmechanik (nicht dargestellt) auf, die mittels der Betätigungsvorrichtung (nicht dargestellt) ansteuerbar und an der eine oder mehrere Aufnahmevorrichtungen 14, 15 oder Klemmvorrichtungen 16, 17 nach der Erfindung gekoppelt ist. Die Bewegungsmechanik ist derart gestaltet, dass die jeweilige Aufnahmevorrichtung 14, 15 oder Klemmvorrichtung 16, 17 eine vorbestimmte Zugkraft gegen die Richtung, die zur zweiten Aufnahmevorrichtung weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass mit der Bewegungsmechanik eine Antriebsvorrichtung gekoppelt ist, die mittels der Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an der die Klemmvorrichtung oder die Aufnahmevorrichtung gekoppelt ist, wobei die Bewegungsmechanik und die Antriebsvorrichtung derart gestaltet sind, dass die jeweilige Aufnahmevorrichtung eine vorbestimmte Zugkraft gegen die Richtung, die zur zweiten Aufnahmevorrichtung weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann. Für jede Aufnahmevorrichtung kann eine eigene Bewegungsmechanik

vorgesehen sein oder es kann für mehrere Aufnahmeverrichtungen oder Klemmverrichtungen eine Bewegungsmechanik vorgesehen sein. Ebenso kann die Antriebsvorrichtung oder die Betätigungsverrichtung jeweils mit mehreren Aufnahmeverrichtungen oder Klemmverrichtungen gekoppelt sein. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Betätigungsverrichtung auch die Klemmvorrichtung betätigt.

Die von der Bewegungsmechanik ausgeführte Bewegung kann dabei in einer Ebene gelegen sein. Die Antriebsvorrichtung kann geeignet sein, während der von der Bewegungsmechanik ausgeführten Bewegung auf das Laminat eine Zugkraft mit einem vorbestimmten Betrag auszuüben. Die Zugkraft kann mittels einer insbesondere mit der Antriebsvorrichtung gekoppelte Federeinrichtung aufgebracht werden, mit der eine Mindest-Zugkraft während der Umform-Bewegung erhalten bleibt. Auch kann die Bewegungsmechanik derart gestaltet sein, dass die Bewegungsbahn einstellbar ist. Die Bewegungsbahn kann dabei bogenförmig sein. Weiterhin kann die erste Aufnahmeverrichtung eine Drehvorrichtung aufweisen, mit der die erste Aufnahmeverrichtung um eine Achse, die quer zur Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Aufnahmeverrichtung verläuft, drehbar ist. Bei dem Vorsehen von mehreren Aufnahmeverrichtungen kann vorgesehen sein, dass diesen Drehvorrichtungen zugeordnet sind, deren Drehachsen nicht parallel zueinander verlaufen. Die Drehung der Aufnahmeverrichtung mit einer Drehvorrichtung kann insbesondere bei Ausführung der Bewegungsbahn 62, 63 ausgeführt werden.

Zur Gestaltung der Herstellungsvorrichtung derart, dass die Aufnahmevorrichtung oder die Klemmvorrichtung eine erfindungsgemäße Zugkraft auf das Laminat ausüben, kann mit der Antriebsvorrichtung eine Federeinrichtung gekoppelt sein, mit der die Zugkraft aufgebracht wird, und kann die Bewegungsmechanik die Aufnahmevorrichtung derart verfahren, dass die Feder während der Ausführung der Bewegungsbahn gespannt bleibt, so dass eine Mindest-Zugkraft während Umformen erhalten bleibt.

Die Bewegungsmechanik der jeweiligen Aufnahmevorrichtung kann insbesondere derart gestaltet sein, dass die Bewegungsbahn einstellbar ist. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Herstellungsvorrichtung derart gestaltet ist, dass eine Zugkraft in Richtung des vor der jeweiligen Klemmvorrichtung oder Aufnahmevorrichtung freiliegenden Abschnitts ausgeübt wird und gleichzeitig eine vorgegebene Bewegungsbahn ausgeführt wird. Generell kann die Bewegungsbahn der jeweiligen Aufnahmevorrichtung bogenförmig oder paraboloid verlaufen.

Bei dem Vorsehen von zwei oder mehr als zwei Aufnahmevorrichtungen 14, 15 müssen diese in der Herstellungsvorrichtung nicht gegenüber einander liegend angeordnet sein. Die Herstellungsvorrichtung kann auch eine oder mehrere zusätzliche Klemm- oder Einspannvorrichtungen aufweisen, die nicht zur Ausführung einer Bewegungsbahn 61, 62 vorgesehen sind, d.h. statisch in der Herstellungsvorrichtung angeordnet sind.

In dem Fall, dass eine der Klemmvorrichtungen nicht bewegbar ist oder bei einem Verfahrensschritt nicht bewegt wird, kann diese Klemmvorrichtung auch durch übliche Einspann- oder Spannmittel realisiert sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings aus einem Laminat (40) mit insgesamt zumindest zwei Trockenfasergewebe-Lagen (Li, La), das mit Bindern zusammengehalten wird, und/oder Prepreg-Lagen (Li, La), aufweisend die Schritte:

- Einspannen eines ersten Randabschnitts (44) des Laminats (40) in eine mittels einer Bewegungsmechanik gegenüber einem Formstück (20) bewegbare erste Klemmvorrichtung (16) und eines entgegengesetzt zu dem ersten Randabschnitt gelegenen zweiten Randabschnitts (44) des Laminats (40) in eine weitere Klemmvorrichtung (17), wobei die erste Klemmvorrichtung (16) von der weiteren Klemmvorrichtung (17) aus gesehen jenseits eines gerundeten Oberflächenbereichs (58, 59) des Formstücks (40) gelegen ist,
- Ausüben einer Zugkraft (F) von der ersten Klemmvorrichtung (16) gegenüber der zweiten Klemmvorrichtung über den zwischen den Klemmvorrichtungen gelegenen Bereich des Laminats (40) hinweg, wobei die erste Klemmvorrichtung (16) in eine vorbestimmte Richtung bewegt wird, so dass das Formstück (20) durch seinen gerundeten Oberflächenbereich (58, 59) dem Laminat (40) zwischen der ersten Klemmvorrichtung (16) und der zweiten

Klemmvorrichtung (17), in Längsrichtung des Laminats gesehen, eine Krümmung aufprägt,

- wobei die Klemmkräfte in der ersten und der zweiten Klemmvorrichtung so groß sind, dass kein Gleiten der Laminat-Lagen (Li, La) relativ zueinander erlaubt wird.

2. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach Anspruch 1, wobei die erste Klemmvorrichtung (16) nach unten und in Richtung einer der ersten Klemmvorrichtung (16) zugewandten ersten Seitenfläche (34) des Formstücks (20) bewegt wird, bis das Laminat (40) abschnittsweise an der ersten Seitenfläche (34) anliegt.

3. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

- dass vor dem Einspannen des Endabschnitts des Laminats (40) in die erste Klemmvorrichtung (16) der erste Randabschnitt (44, 45) gegenüber dem neben dem Endabschnitt gelegenen Bereich (46, 47) unter Ausbildung eines zwischen diesen Bereichen gelegenen Krümmungsbereichs angewinkelt ist und dabei die Lagen (Li, La) aufgrund der Krümmung zueinander versetzt sind, und
- dass die Lagen (Li, La) des ersten Endabschnitts in dieser versetzten Auflage in der ersten Klemmvorrichtung (16) zusammen geklemmt werden.

4. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach dem Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Abwinkeln des Randabschnitts (44, 45) gegenüber dem neben dem Randabschnitt (44, 45) gelegenen Bereich durch Drehung der ersten Klemmvorrichtung (16) um eine Achse erfolgt, bei der der von der ersten Klemmvorrichtung (16) aufgenommene Abschnitt des Laminats (40) in seiner Längsrichtung gegenüber dem Bereich gewinkelt wird, der außerhalb der ersten Klemmvorrichtung (16) und vor dieser gelegen ist, wobei eine geringere Klemmkraft eingestellt ist, die aufgrund der Drehung der Lagen eine Versetzung der Lagen zueinander erlaubt.

5. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Bewegen der ersten Klemmvorrichtung (16) mittels einer weiteren Bewegungsmechanik auch die zweite Klemmvorrichtung, die von der ersten Klemmvorrichtung (16) aus gesehen jenseits eines weiteren gerundeten Oberflächenbereichs (58, 59) des Formstücks (40) gelegen ist, in einer Richtung entgegen gesetzt zur Bewegungsrichtung der ersten Klemmvorrichtung (16) bis zu einer Stelle bewegt wird, an der der zweite gerundete Oberflächenbereich (58, 59) des Formstücks (40), der von der ersten Klemmvorrichtung (16) aus gesehen jenseits des ersten Oberflächenbereichs gelegen ist, dem Laminat (40) zwischen dem ersten gerundeten Oberflächenbereich und der zweiten Klemmvorrichtung (17) - in dessen Längsrichtung gesehen - eine Krümmung aufprägt.

6. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach dem Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der zweiten Klemmvorrichtung (17) gleichzeitig zur Bewegung der ersten Klemmvorrichtung (16) erfolgt.

7. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach dem Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Bewegen der weiteren Klemmvorrichtung eine Bewegung der weiteren Klemmvorrichtung (17) in Richtung einer entgegen gesetzt zur ersten Seitenfläche gelegenen und der zweiten Klemmvorrichtung (17) zugewandten zweiten Seitenfläche (35) des Formstücks (40) nach unten umfasst, bis das Laminat (40) abschnittsweise an der zweiten Seitenfläche (35) anliegt.

8. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach einem der voranstehenden Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet,

- dass vor dem Einspannen des zweiten Randabschnitts (44, 45) des Laminats (40) in die zweite Klemmvorrichtung der zweite Randabschnitt (44, 45) gegenüber dem neben dem zweiten Randabschnitt (44, 45) gelegenen Bereich unter Ausbildung eines zwischen diesen Bereichen gelegenen Krümmungsbereichs angewinkelt ist und dabei die Lagen aufgrund der Krümmung zueinander versetzt sind, und
- dass die Lagen des Randabschnitts (44, 45) in dieser versetzten Auflage in der ersten Klemmvorrichtung (16) zusammen geklemmt werden.

9. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach dem Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des zweiten Randabschnitts (44, 45) so gering ist, dass eine Versetzung der Lage des Endbereichs ohne Bildung eines Aufwerfens einer inneren Lage stattfindet.

10. Verfahren zur Herstellung eines FVW-Vorformlings nach einem der voranstehenden Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Abwinkeln des zweiten Randabschnitts (44, 45) gegenüber dem neben dem Randabschnitt (44, 45) gelegenen Bereich durch Drehung der zweiten Klemmvorrichtung (17) um eine Achse erfolgt, bei welcher der von der zweiten Klemmvorrichtung (17) aufgenommene zweite Randabschnitt (44, 45) des Laminats (40) in seiner Längsrichtung gegenüber dem Bereich gewinkelt wird, der außerhalb der zweiten Klemmvorrichtung (17) und vor dieser gelegen ist.

11. Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils, aufweisend:

- ein Formstück mit einer Kontur zur Anlage des Halbzeugs,
- eine erste (14) und eine zweite (15) Aufnahmeverrichtung jeweils zur Aufnahme eines Randabschnitts (44, 45) eines Laminats (40), die jeweils eine Klemmvorrichtung (16, 17) zum Einklemmen des Halbzeugs (40) aufweisen,

- eine Bewegungsmechanik, die mittels einer Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an das Formstück gekoppelt ist und mit der das Formstück mit einer Anlagekontur quer zum zwischen erster und zweiter Aufnahmevorrichtung (14, 15) gelegenen Halbzeug bewegbar ist, um eine vorbestimmte Zugkraft (F) auf das Halbzeug auszuüben, wobei die Anlagekontur eine Krümmung aufweist und das Formstück derart positioniert ist, dass sich bei der Bewegung desselben quer zum Laminatverlauf eine Krümmung im Laminat ausbildet.

12. Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs zur Herstellung eines FVW-Bauteils, aufweisend:

- eine Formstück-Aufnahme zur Aufnahme eines Formstücks für die Umformung des Halbzeugs,
- eine erste (14) und eine zweite (15) Aufnahmevorrichtung jeweils zur Aufnahme eines Randabschnitts (44, 45) eines Laminats (40), welche jeweils eine Klemmvorrichtung (16, 17) zum Einklemmen des Halbzeugs (40) aufweisen,
- eine Bewegungsmechanik, die mittels einer Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an welche die erste Aufnahmevorrichtung gekoppelt ist, wobei die Bewegungsmechanik derart gestaltet ist, dass die erste Aufnahmevorrichtung (14) eine vorbestimmte Zugkraft (F) gegen die Richtung, die zur zweiten Aufnahmevorrichtung (15) weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann.

13. Herstellungsvorrichtung nach dem Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Bewegungsmechanik eine Antriebsvorrichtung gekoppelt ist, die mittels der Betätigungsvorrichtung ansteuerbar und an der die erste Aufnahmevorrichtung (14) gekoppelt ist, wobei die Bewegungsmechanik und die Antriebsvorrichtung derart gestaltet sind, dass die erste Aufnahmevorrichtung (14) eine vorbestimmte Zugkraft (F) gegen die Richtung, die zur zweiten Aufnahmevorrichtung (15) weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann.

14. Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs nach dem Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass an der Antriebsvorrichtung eine Federeinrichtung zur Aufbringung einer Zugkraft (F) gekoppelt ist, mit der eine Mindest-Zugkraft (F) während des Umformens erhalten bleibt.

15. Herstellungsvorrichtung zur Verformung eines Halbzeugs nach einem der voranstehenden Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass an die zweite Aufnahmevorrichtung (15) eine Bewegungsmechanik gekoppelt ist, die mittels einer Betätigungsvorrichtung ansteuerbar ist, wobei die Bewegungsmechanik und die Antriebsvorrichtung derart gestaltet sind, dass die zweite Aufnahmevorrichtung (15) eine vorbestimmte Zugkraft (F) gegen die Richtung, die zur ersten Aufnahmevorrichtung weist, aufbringen kann und gleichzeitig eine Bewegung relativ zur Formstück-Aufnahme ausführen kann.

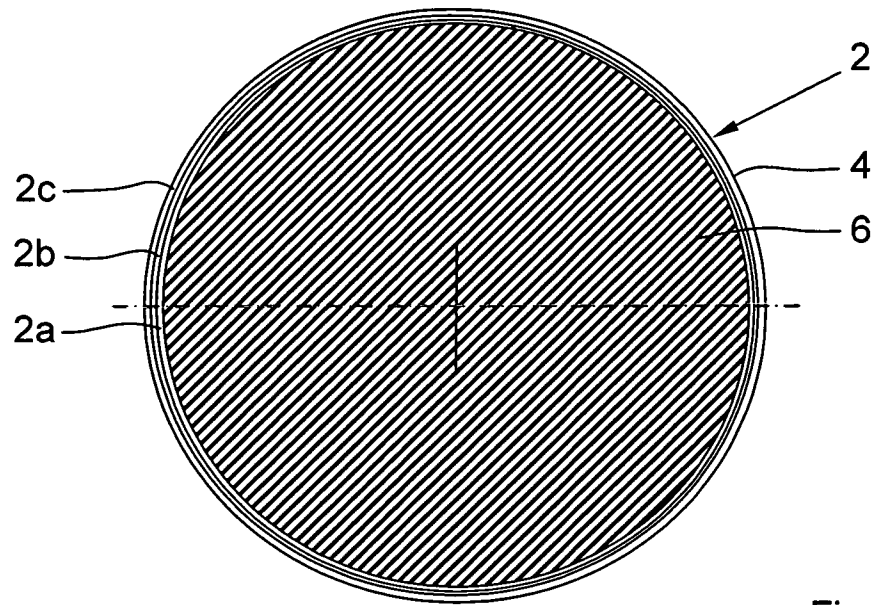


Fig. 1

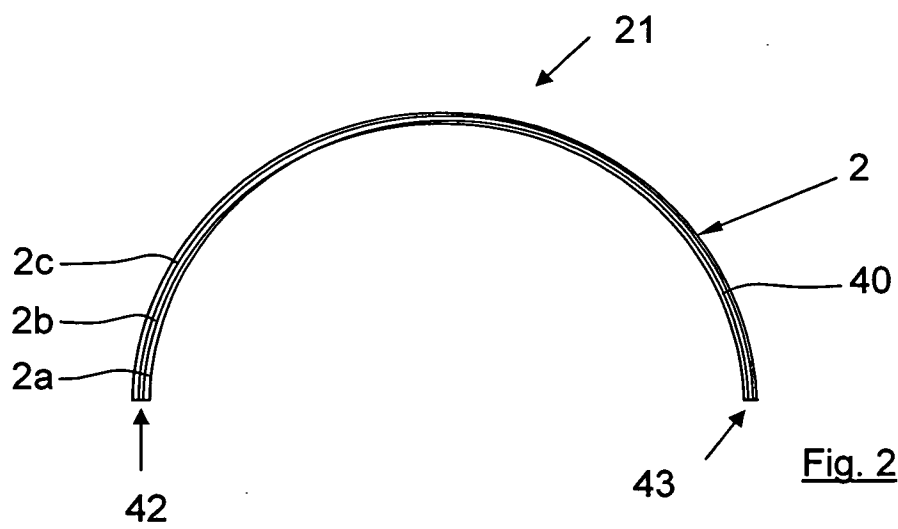


Fig. 2

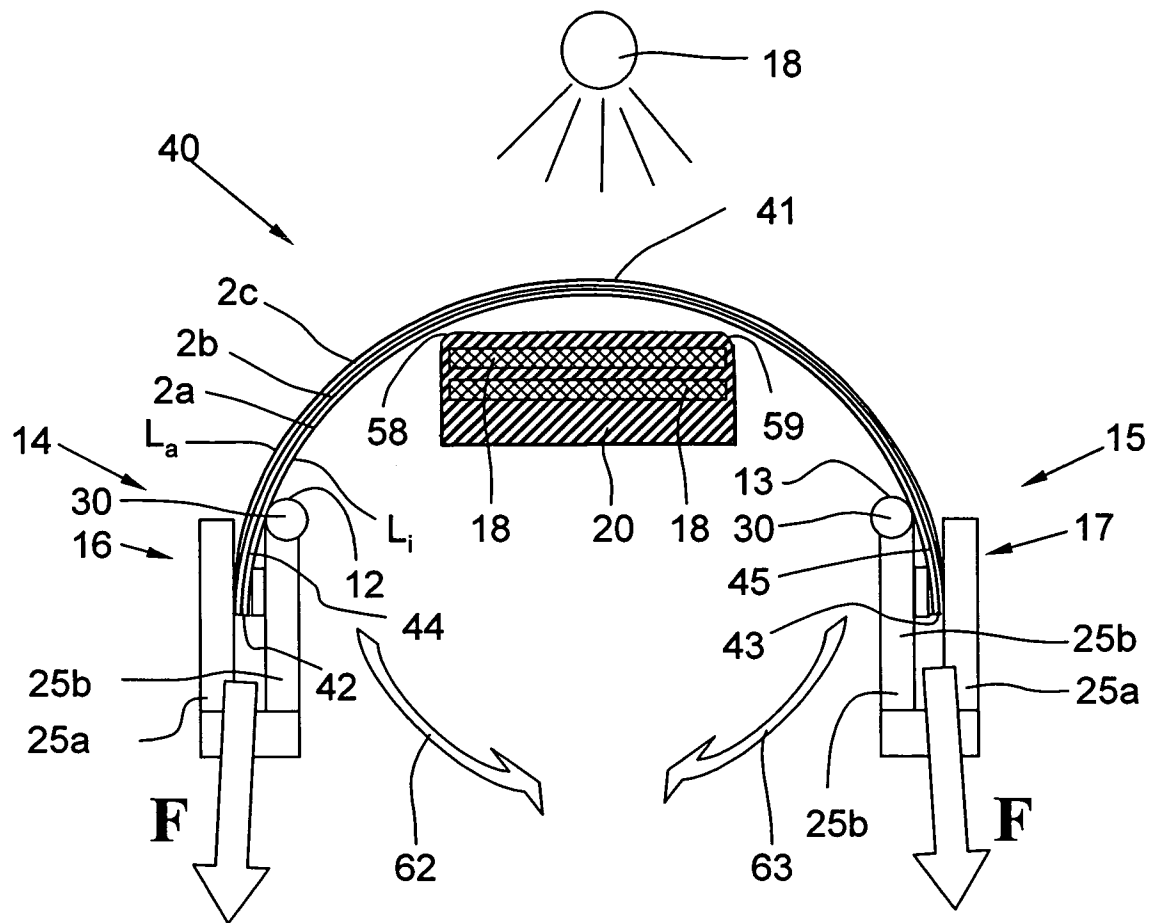


Fig. 3

4/6

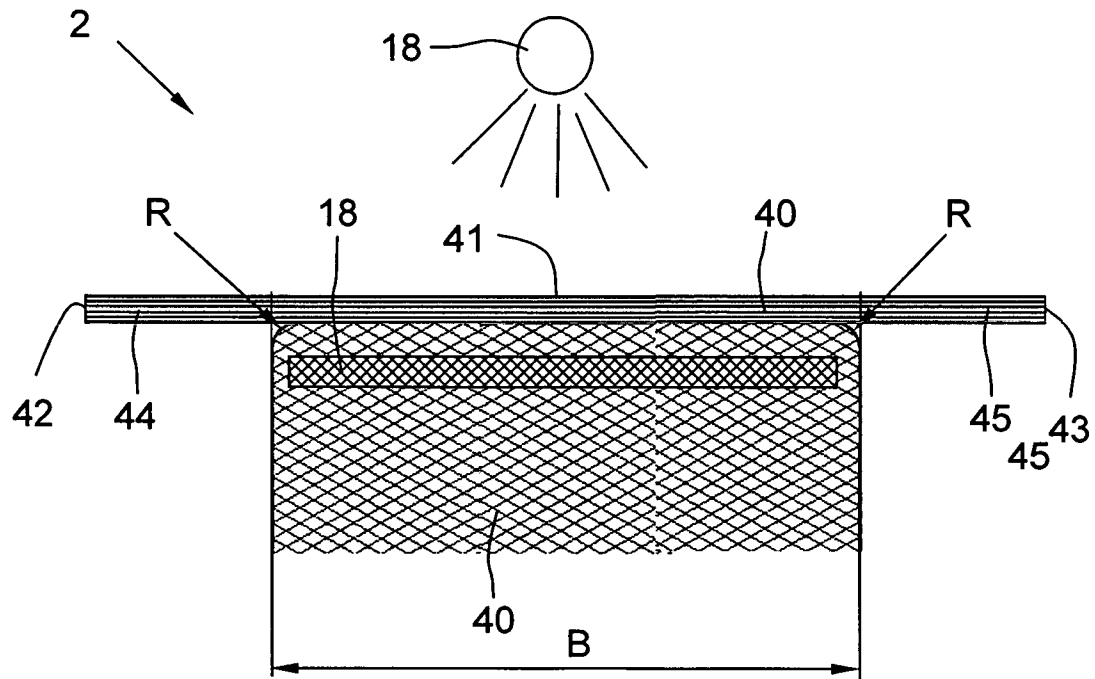


Fig. 5

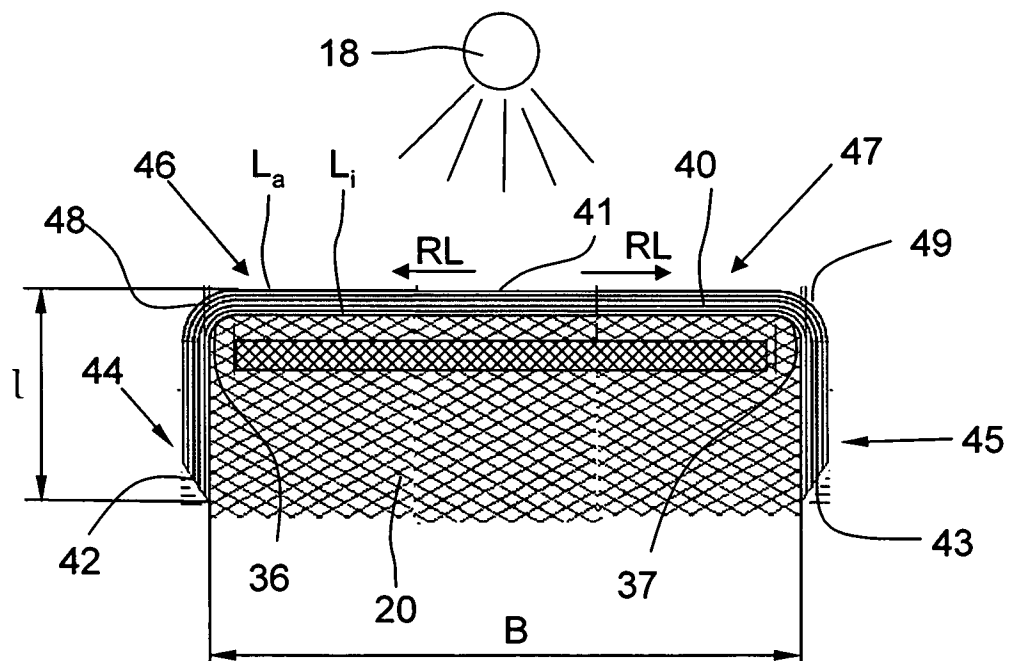


Fig. 6

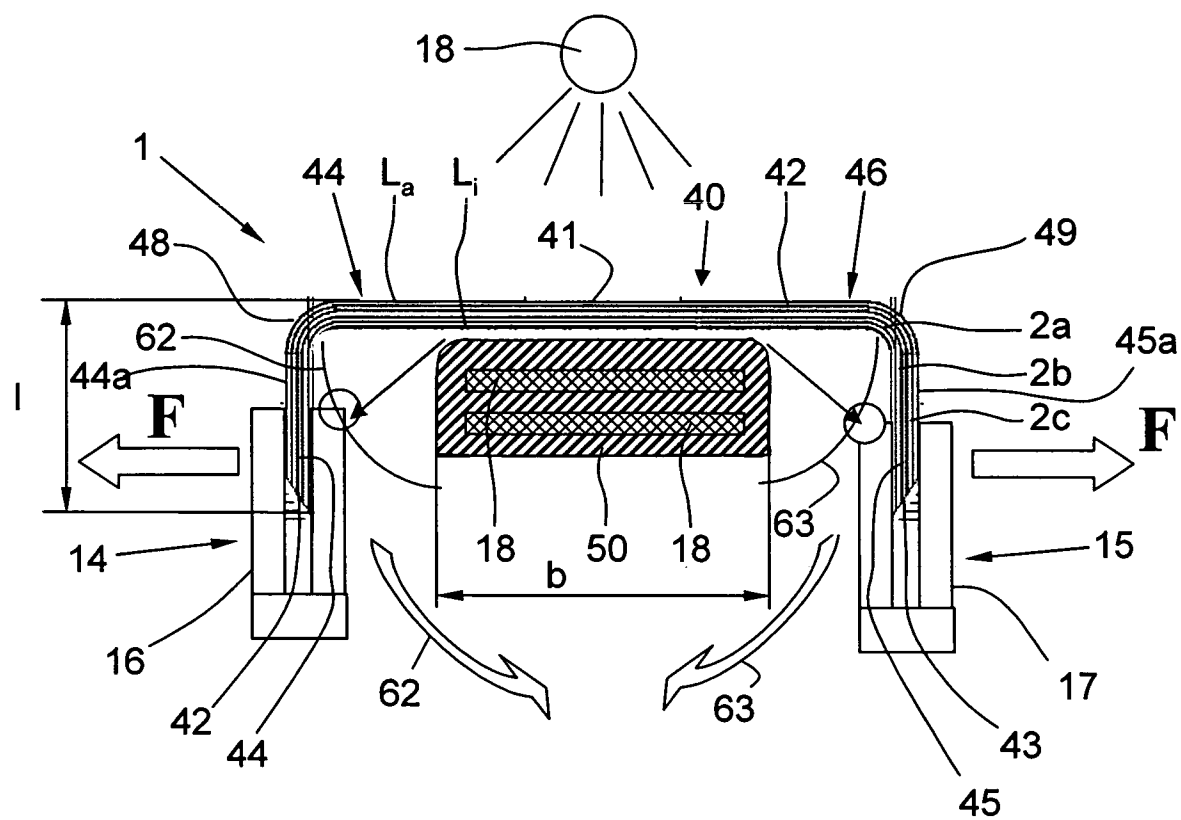


Fig. 7

6/6

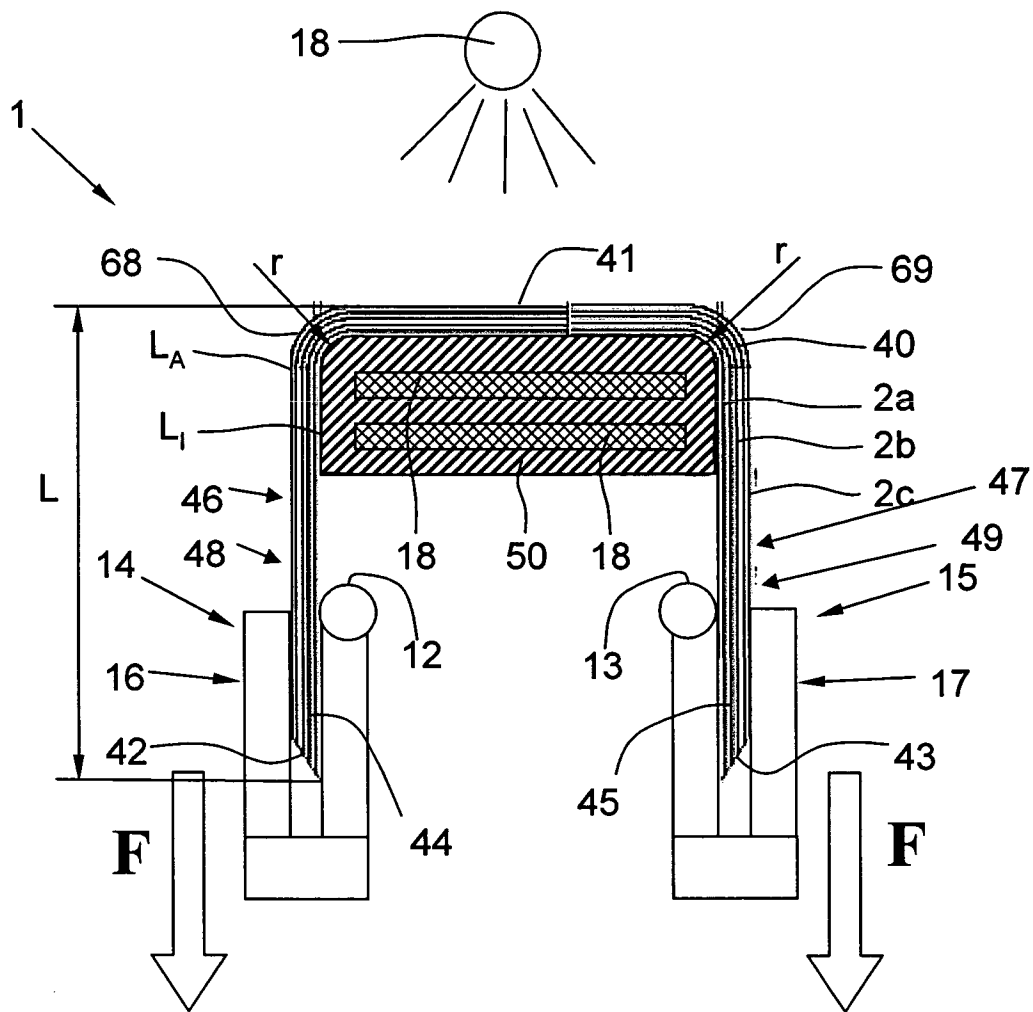


Fig. 8