

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1361/2011

(22) Anmeldetag: 21.09.2011

(43) Veröffentlicht am: 15.11.2012

(51) Int. Cl. : **D04H 3/05** (2006.01)

**B29B 11/16** (2006.01)

**B29C 70/22** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
FR 1469065 A DE 1629833 B1  
DE 2105955 A1

(73) Patentanmelder:  
KAPSCH-GROUP BETEILIGUNGS GMBH  
1120 WIEN (AT)

(72) Erfinder:  
SEDLACEK NORBERT  
ALTLENGBACH (AT)

(54) **FASERHALBZEUG, FASER-VERBUNDWERKSTOFF UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Faserhalbzeugs (2) für die Einbettung in eine duroplastische Matrix (15), mit den Schritten: Legen einer ersten Lage (5) aus parallelen, matrixfreien Fasern (22) in einer Richtung (8), und Fixieren der ersten Lage (5) durch Auflegen von mit zumindest einer Komponente der duroplastischen Matrix (15) benetzten Fasern (23) in voneinander beabstandeten Bündeln (14) in einer zweiten Lage (13), wobei die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) sowohl in stumpfen als auch in spitzen Winkeln ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zu der genannten Richtung (8) gelegt werden. Die Erfindung betrifft ferner nach solchen Verfahren hergestellte Faserhalbzeuge (2) und Faser-Verbundwerkstoffe (24).

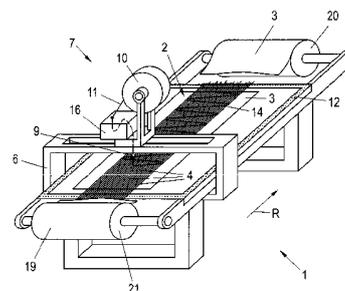


Fig. 1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Faserhalbzeugs (2) für die Einbettung in eine duroplastische Matrix (15), mit den Schritten:

Legen einer ersten Lage (5) aus parallelen, matrixfreien Fasern (22) in einer Richtung (8), und

Fixieren der ersten Lage (5) durch Auflegen von mit zumindest einer Komponente der duroplastischen Matrix (15) benetzten Fasern (23) in voneinander beabstandeten Bündeln (14) in einer zweiten Lage (13),

wobei die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) sowohl in stumpfen als auch in spitzen Winkeln ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zu der genannten Richtung (8) gelegt werden.

Die Erfindung betrifft ferner nach solchen Verfahren hergestellte Faserhalbzeuge (2) und Faser-Verbundwerkstoffe (24).

(Fig. 1)

KAPSCH-Group Beteiligungs GmbH  
A-1120 Wien (AT)

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Faserhalbzeugs für die Einbettung in eine duroplastische Matrix und ein Verfahren zum Herstellen eines Faser-Verbundwerkstoffs daraus. Die Erfindung betrifft ferner nach solchen Verfahren hergestellte Faserhalbzeuge und Faser-Verbundwerkstoffe.

Faser-Verbundwerkstoffe, in welchen Verstärkungsfasern in eine Kunststoff-Matrix eingebettet sind, weisen bei geringem Gewicht hohe Festigkeit auf. Typische Anwendungen liegen unter anderem im Fahrzeug-, Flugzeug- und Bootsbau. So werden bei modernen Segelyachten sowohl Rümpfe als auch Maste, Ruder und sogar Segel aus Faser-Verbundwerkstoffen gefertigt oder damit verstärkt.

Durch gezielte Wahl des eingesetzten Faser- und Matrixmaterials sind die Eigenschaften des Faser-Verbundwerkstoffs wie Steifigkeit, Zugfestigkeit, thermische und chemische Stabilität etc. genau festlegbar. So weisen z.B. Kohlenstoff-Fasern besonders hohe Zugfestigkeit auf und Basaltfasern sind besonders temperaturfest. Eine duroplastische Matrix härtet dauerhaft aus, wogegen eine thermoplastische Matrix bei höheren Temperaturen und eine elastomere Matrix dauerhaft elastisch verformbar ist. Gerade duroplastische Kunststoff-Matrizen wer-

den aufgrund ihrer ausgezeichneten Stabilität gegenüber Temperaturerhöhung, Bestrahlung und chemischer Belastung, beispielsweise durch Meerwasser, für anspruchsvolle Anwendungen im Bootsbau eingesetzt.

Aufgrund ihrer äußerst geringen Durchmesser werden Verstärkungsfasern meist zu Faserbündeln zusammengefasst, welche weiter zu flächenhaften Halbzeugen verarbeitet werden, wie Gelegen, Geweben, Matten oder Vliesen. Für besonders hohe Zugfestigkeit in einer Vorzugsrichtung werden Gelege aus parallelen Faserbündeln verwendet, auch als „unidirektionale Gelege“ bzw. UD-Gelege bekannt. Um ein UD-Gelege in der weiteren Verarbeitung hantieren zu können, ist es erforderlich, die Faserbündel in ihrer Lage zueinander zumindest geringfügig zu fixieren. Dazu sind verschiedene Lösungen bekannt. Eine erste Variante ist eine vollständige Beschichtung des UD-Geleges mit einer thermoplastischen Matrix, welche für die spätere Verarbeitung wiederaufschmelzbar ist. Aufgrund der geringen Festigkeit thermoplastischer Materialien ist diese Lösung für hochfesten Boots- und Flugzeugbau nicht geeignet.

Aus der WO 02/45932, der EP 0 193 478 und der US 5 184 387 ist bekannt, UD-Gelege durch Vernähen, Steppen, Verfilzen oder Vernadeln zu fixieren. Nachteilig an diesen Verfahren ist, dass durch Nadeleinstiche viele der Fasern geschädigt bzw. gebrochen werden, an den Durchstichstellen durch das Gelege Fasern bleibend verdrängt werden und Fäden aus Fremdmaterial in das Gelege eingebracht werden. Aus der DE 10 2008 061 314

ist bekannt, ein UD-Gelege durch Pressen so stark zu verfestigen, dass die parallelen Fasern aneinander haften. Ähnlich dem Verfilzen wird eine solche Fixierung durch Brechen einzelner Fasern erzielt. All dies führt zu einer Schwächung des Geleges und in der Folge zu geringerer Festigkeit bzw. Widerstandsfähigkeit des Faser-Verbundstoffs.

Alternativ können UD-Gelege auch durch Klebemittel, z.B. parallel im Gelege verlegte Klebebänder (EP 1 473 132) oder klebende Gewebe- oder Vliesauflagen (EP 1 927 464, EP 1 705 277, EP 1 473 132, EP 2 058 101, WO 99/21697), fixiert werden. Auch ein Auftropfen bzw. Aufsprühen von Klebstoffteilen ist bekannt (WO 00/48821, US 6 585 842). Die US 2003/0180514 und die US 4 460 633 lehren das Fixieren von Fasern eines unidirektionalen Geleges durch quer aufgelegte, mit thermoplastischem Material beschichtete bzw. getränkte Fäden, welche durch Erhitzen mit dem Gelege verbunden werden. Nachteilig ist an diesen Verfahren, dass der eingebrachte Klebstoff bereits viele Fasern zumindest über Teillängen benetzen muss, um sie zu fixieren, und so deren spätere Einbindung in die Matrix des Faser-Verbundstoffs behindert und dessen Festigkeit herabsetzt. Auch bleiben Klebstoff und gegebenenfalls Bänder und Auflagen als Fremdstoffe im Faser-Verbundwerkstoff erhalten und verschlechtern dessen thermische oder chemische Resistenz. Engmaschige Gewebe- oder Vliesauflagen behindern außerdem eine vollständige Durchdringung des Geleges mit der Matrix des Faser-Verbundwerkstoffs.



Die Erfindung setzt sich zum Ziel, ein Verfahren zum Herstellen eines Faserhalbzeugs hoher Zugfestigkeit zu schaffen, das flexibel handhabbar ist und den Aufbau eines hochfesten duroplastischen Faser-Verbundwerkstoffes ermöglicht.

Dieses Ziel wird gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung mit einem Verfahren der einleitend genannten Art erreicht, das sich auszeichnet durch die Schritte:

Legen einer ersten Lage aus parallelen, matrixfreien Fasern in einer Richtung, und

Fixieren der ersten Lage durch Auflegen von mit zumindest einer Komponente der duroplastischen Matrix benetzten Fasern in voneinander beabstandeten Bündeln in einer zweiten Lage,

wobei die Faserbündel der zweiten Lage sowohl in stumpfen als auch in spitzen Winkeln zu der genannten Richtung gelegt werden.

Bei dem Verfahren der Erfindung werden keinerlei Fremdmaterialien, wie Klebstoffe oder Fäden, in das Faserhalbzeug eingebracht. Auch werden die Fasern nicht durch Pressen oder Nadelstiche gebrochen bzw. geschädigt oder an den Durchstichstellen verdrängt. Beim späteren Verlegen des Faserhalbzeugs kann es aufgrund der Beabstandung der Faserbündel der zweiten Lage voneinander von beiden Seiten problemlos von der Matrix durchdrungen werden. Da die Faserbündel der zweiten Lage in stumpfen und spitzen Winkeln gelegt sind, verwölbt oder verwirft sich das Faserhalbzeug auch nicht bei schrägen oder diagonalen Zugbelastungen, wie sie beim Verlegen häufig auftreten.

ten, bleibt aber ausgezeichnet flexibel. Das verwölbungsfeste Faserhalbzeug der Erfindung ist damit sicherer und besser zu hantieren als herkömmliche UD-Gelege und führt gleichzeitig zu einem duroplastischen Faser-Verbundwerkstoff erhöhter Festigkeit.

Bevorzugt werden die Faserbündel der zweiten Lage aus zumindest einem fortlaufenden Strang von Endlosfasern gelegt. So sind sie vor und während des Auflegens einfach handhabbar und können vorab als gesamter Strang in einem oder während des Verlegens kontinuierlich mit duroplastischer Matrix benetzt werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Faserbündel der zweiten Lage in in der genannten Richtung gesehen aufeinanderfolgenden Bereichen abwechselnd stumpfe und spitze Winkel zu der genannten Richtung einnehmen. Dies gibt dem Faserhalbzeug entlang seiner Legerichtung gleichmäßige Eigenschaften in Bezug auf Flexibilität, Festigkeit und Zugbelastbarkeit. Die aufeinanderfolgend abwechselnde Orientierung der Faserbündel ermöglicht auch ein späteres Ablängen des Faserhalbzeugs an beliebigen Stellen unter Beibehaltung der Fixierungswirkung der zweiten Lage für die erste Lage.

Eine solche Aufeinanderfolge wird gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung dadurch erreicht, dass die Faserbündel der zweiten Lage in Zickzack- oder Wellenform gelegt werden. So kann die zweite Lage rasch aufgelegt werden, beson-



ders wenn deren Faserbündel voneinander weit beabstandet sein sollen.

Einige Faserbündel der zweiten Lage können auch einander kreuzend gelegt werden, wodurch zusätzliche Festigkeit erzielt wird.

Um die Festigkeit des Faser-Verbundwerkstoffs gegenüber Querkraften erhöhen zu können und dabei seine Flexibilität beizubehalten, ist es günstig, wenn in der zweiten Lage neben benetzten auch matrixfreie Faserbündel aufgelegt werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn beim Auflegen der zweiten Lage Faserbündel in einem ersten Arbeitsgang im genannten stumpfen Winkel und in einem zweiten Arbeitsgang im genannten spitzen Winkel aufgelegt werden. So sind die Faserbündel der zweiten Lage rasch verlegbar.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Faserbündel der zweiten Lage die erste Lage seitlich überragend aufgelegt. So bleiben spitze und stumpfe Winkel auch beim Auflegen eines fortlaufenden Strangs aus Endlosfasern als zweite Lage bis zu den seitlichen Rändern der ersten Lage annähernd unverändert und das Fixieren der ersten Lage ist auch ohne übermäßige Präzision beim Verlegen der zweiten Lage sichergestellt, was das Verfahren beschleunigt.

Es ist dabei besonders günstig, wenn jene Abschnitte der Faserbündel der zweiten Lage anschließend abgetrennt werden, welche die erste Lage seitlich überragen. Schlaufen am Rand

des Faserhalbzeugs, welche beim Häntieren störend wirken können, werden damit vermieden und dessen Breite fixiert.

Optional kann das Verfahren um den zusätzlichen Schritt des Auflegens zumindest einer weiteren ersten und/oder weiteren zweiten Lage auf die genannte zweite Lage ergänzt werden. Das Verfahren ist somit skalierbar und das hergestellte Faserhalbzeug kann in seiner Festigkeit an die Bedürfnisse der späteren Anwendung angepasst werden. Eine weitere erste Lage kann dabei gegenüber der ersten Lage einen beliebigen Winkel einnehmen; bevorzugt wird sie jedoch etwa parallel zur ersten Lage gelegt.

Das Verfahren der Erfindung ist von seiner Auslegung unabhängig von den verwendeten Fasern. So können Naturfasern wie Holz-, Flachs-, Hanf- oder Sisalfasern, organische Fasern wie Aramid-, Kohlenstoff-, Polyester-, Polyethylen- oder Nylonfasern, oder anorganische Fasern wie Keramik-, Glas-, Bor- oder Kieselsäurefasern eingesetzt werden. Besonders bevorzugt ist jedoch, wenn als Fasern der ersten Lage Basaltfasern verwendet werden. Basaltfasern sind besonders temperaturstabil und chemisch resistent; sie sind dazu kostengünstig und kaum hydrophil; durch ihre Säureresistenz und geringe Vibrationsneigung eignen sie sich besonders für den Einsatz im Bootsbau.

Besonders günstig ist es, wenn für die erste und die zweite Lage Bündel von Fasern aus gleichem Material verwendet werden. Die Verwendung gleichen Materials vereinheitlicht das Faserhalbzeug und seine Widerstandsfähigkeit. Auch Produktions-

planung und Lagerhaltung werden vereinfacht, insbesondere wenn die Faserbündel der ersten und der zweiten Lage jeweils über die gleiche Anzahl von Fasern verfügen und so von derselben Rolle gelegt werden können.

Auch die Auswahl des Matrixmaterials ist nicht auf einzelne Duroplaste begrenzt. Es kommen alle Ein-, Zwei- und Mehrkomponenten-Duroplaste in Frage, u.a. Aminoplaste, Phenoplaste, vernetzte Polyacrylate, Polyurethane, Vinylesterharz oder Polyesterharz. Besonders bevorzugt wird als duroplastische Matrix Epoxidharz verwendet. Es ist besonders fest und chemisch beständig; auch kann seine Aushärtungszeit durch Verwendung geeigneter Härterkomponenten in weiten Bereichen vordefiniert und gegebenenfalls durch Temperaturerhöhung beschleunigt werden. Epoxidharze können, ebenso wie Acrylate und Polyurethane, auch aus Biopolymeren auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden; sie sind nachhaltig.

Bevorzugt werden die Fasern der ersten Lage auf eine erste Folie gelegt. Dies vereinfacht die Handhabung des Faserhalbzeugs während des Herstellens und schützt Werkzeuge und Maschinen vor Verunreinigung. Optional kann die zweite - bzw. die oberste der weiteren Lagen, sofern vorhanden - mit einer zweiten Folie abgedeckt werden, wodurch ein zusätzlicher Schutz des Halbzeugs und der Umgebung, insbesondere bei nicht vollständig ausgehärteter Matrix, erreicht werden kann.

Günstig ist es, wenn das Faserhalbzeug unter Mitrollen zumindest einer der genannten Folien aufgerollt wird. So können



Halbzeuge größerer Länge einfach gelagert und manipuliert werden. Die Gefahr des Verhakens oder Anhaftens des Faserhalbzeugs wird durch die Folie reduziert.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn alle Lagen zusätzlich miteinander verpresst werden. Dies begünstigt die Gleichmäßigkeit der Dicke des Faserhalbzeugs und der Verteilung der Fasern darin.

Vorzugsweise wird das Verfahren ergänzt durch den weiteren Schritt des zumindest teilweisen Aushärtens der duroplastischen Matrix. So wird die Wirkung der Fixierung der ersten Lage durch die zweite Lage erhöht und die Gefahr des Anhaftens des Faserhalbzeugs während des weiteren Hantierens bzw. Verarbeitens reduziert.

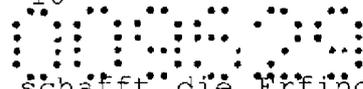
In einem zweiten Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Faser-Verbundwerkstoffs, umfassend:

ein Verfahren der geschilderten Art zur Herstellung eines Faserhalbzeugs,

das Einbetten des Faserhalbzeugs in die genannte duroplastische Matrix, und

das Aushärten der duroplastischen Matrix.

Der Faser-Verbundwerkstoff der Erfindung ist frei von jeglichem Fremdmaterial und damit verbundenen Schwächungen und Störungen, sowohl in Bezug auf seine Festigkeitseigenschaften als auch thermische und chemische Resistenz.



In einem dritten Aspekt schafft die Erfindung ein Faserhalbzeug für die Einbettung in eine duroplastische Matrix, das sich auszeichnet durch

eine erste Lage aus parallelen, matrixfrei in einer Richtung gelegten Fasern, und

eine auf der ersten Lage aufliegende, diese fixierende zweite Lage von mit zumindest einer Komponente der duroplastischen Matrix behafteten Fasern in voneinander beabstandeten Bündeln,

wobei die Faserbündel der zweiten Lage sowohl stumpfe als auch spitze Winkel zu der genannten Richtung aufweisen.

In einem vierten Aspekt schafft die Erfindung einen Faser-Verbundwerkstoff, in dem das genannte Faserhalbzeug in die duroplastische Matrix eingebettet ist.

Bezüglich weiterer Merkmale, Ausführungsformen und Vorteile des Faserhalbzeugs und des Faser-Verbundwerkstoffs der Erfindung wird auf die vorangegangenen Ausführungen zu den erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den beige-schlossenen Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 einen Verlegetisch für die Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Perspektivansicht von oben;

Fig. 2 eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Faserhalbzeugs in einer schematischen Draufsicht;

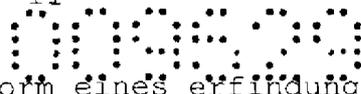


Fig. 3 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Faser-Verbundwerkstoffs in einem schematischen Querschnitt;

Fig. 4 eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Faserhalbzeugs im gepressten Zustand in einem schematischen Querschnitt;

Fig. 5 eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Faserhalbzeugs in einem schematischen Querschnitt;

Fig. 6 eine Anlage zum Herstellen eines Faserhalbzeugs gemäß der Erfindung in einem Endlosverfahren in einer schematischen Perspektivansicht von oben; und

die Fig. 7 und 8 weitere Ausführungsformen des Faserhalbzeugs der Erfindung jeweils in einer schematischen Draufsicht.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 3 wird auf einem Verlegetisch 1 ein Faserhalbzeug 2 hergestellt. In einem ersten Schritt werden auf eine erste Folie 3 zueinander parallele Faserbündel 4 in einer Richtung R, d.h. unidirektional („UD“), als eine erste Lage 5 (Fig. 3) gelegt. Die Faserbündel 4 sind noch mit keinerlei Komponenten der späteren Kunststoffmatrix, in die das Faserhalbzeug 2 eingebettet wird, versehen, d.h. sie sind „matrixfrei“.

Zum Verlegen der Faserbündel 4 verfährt ein Schlitten 6 in der Richtung R über dem Verlegetisch 1. Auf dem Schlitten 6 ist ein Verlegekopf 7 quer zur Richtung R beweglich gelagert. Eine Verlegespitze 9 am Verlegekopf 7 zieht die Faserbündel 4 von einer Vorratsrolle 10 als fortlaufender Strang 11 ab und legt sie auf dem Verlegetisch 1 bzw. der Folie 3 ab. Jedes Fa-



serbündel 4 wird dabei einzeln an seinen Enden an einem Klebeband 12 fixiert, welches um den Verlegetisch 1 verläuft. Anstelle eines Klebebandes 12 könnten auch Klemmleisten am Verlegetisch 1 vorgesehen werden. Statt durch den Verlegekopf 7 können die Faserbündel 4 der ersten Lage 5 auch per Hand aufgelegt werden.

Nach dem Legen der ersten Lage 5 wird diese durch Auflegen einer zweiten Lage 13 von „matrixbehafteten“ Faserbündeln 14 fixiert. Dazu werden die Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 zunächst mit zumindest einer Komponente jener duroplastischen Matrix 15 benetzt, in welche das Faserhalbzeug 2 eingebettet werden soll und welche weiter unten noch näher erörtert wird. Das Benetzen der Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 kann per Hand oder in einer Benetzungseinrichtung 16 des Verlegekopfes 7 erfolgen. Die Benetzungseinrichtung 16 kann z.B. als Tauchbad aufgebaut sein oder die Faserbündel 14 mit Matrix 15 besprühen oder bestreichen. Die Benetzungseinrichtung 16 kann entfallen, wenn die Faserbündel 14 auf der Vorratsrolle 10 bereits benetzt vorliegen.

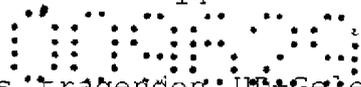
Über die Verlegespitze 9 werden die matrixbenetzten bzw. -behafteten Faserbündel 14 als Strang 11 auf der ersten Lage 5 abgelegt. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, sind die Faserbündel 14 durch das wellenförmige Ablegen in Richtung R gesehen jeweils voneinander beabstandet und verlaufen jeweils abwechselnd in einem stumpfen Winkel  $\alpha$  und einem spitzen Winkel  $\beta$  zur Richtung R, d.h. sie nehmen in in der Richtung R aufeinanderfol-

genden Bereichen A, B, C, D usw. jeweils abwechselnd stumpfe und spitze Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  zur Richtung R ein. Weitere Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 können in weiteren Arbeitsgängen vom Verlegekopf 7 oder von weiteren (nicht dargestellten) Verlegeköpfen aufgelegt werden, wie später noch ausführlicher erläutert.

Der Strang 11 von Faserbündeln 14 überragt in der Ausführungsform von Fig. 2 nach dem Auflegen die erste Lage 5 seitlich in Abschnitten 18. Durch anschließendes Abtrennen der Abschnitte 18 entsteht ein Faserhalbzeug 2 gleichbleibender Breite. Alternativ kann ein solches Faserhalbzeug 2 auch durch Auflegen bereits vorabgelängter matrixbehafteter Faserbündel 14 hergestellt werden. Das Faserhalbzeug 2 kann anschließend mit einer zweiten Folie 19 für Transport und Lagerung abgedeckt werden. Folienrollen 20 und 21 am Verlegetisch 1 dienen der Entnahme der ersten und der zweiten Folie 3, 19.

Wie aus Fig. 3 ersichtlich, sind die Faserbündel 4, 14 der Lagen 5, 13 jeweils aus einer Vielzahl dünner Fasern 22, 23 aufgebaut. Die Fasern 22 der ersten Lage 5 könnten grundsätzlich auch einzeln gelegt bzw. ausgebreitet werden; bevorzugt werden sie jedoch wie die Fasern 23 der zweiten Lage 13 als Faserbündel verarbeitet. Die Faserbündel 4, 14 sind bevorzugt unverdrillt oder nur gering verdrillt (sog. „Rovings“).

Bevorzugt haben die Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 eine wesentlich geringere Anzahl von Fasern 22 als die Faserbündel 4 der ersten Lage 5, wie in Fig. 3 angedeutet, weil sie



nur der Fixierung des tragenden UD-Geleges der ersten Lage 5 dienen. Alternativ könnten die Faserbündel 4, 14 beider Lagen 5, 13 auch über die gleiche Anzahl an Fasern 22, 23 verfügen, so dass sie z.B. auch demselben Strang 11 der Vorratsrolle 10 entnommen werden könnten.

Die Fasern 22, 23 sind bevorzugt Basaltfasern. Alternativ können auch Naturfasern wie Holz-, Flachs-, Hanf- oder Sisalfasern, organische Fasern wie Aramid-, Kohlenstoff-, Polyester-, Polyethylen- oder Nylonfasern, oder anorganische Fasern wie Keramik-, Glas-, Bor- oder Kieselsäurefasern eingesetzt werden, wobei die Fasern 22 der ersten Lage 5 und die Fasern 23 der zweiten Lage 13 auch aus voneinander verschiedenen Materialien sein können.

Fig. 3 zeigt den Aufbau eines Faser-Verbundwerkstoffes 24 auf Grundlage des Faserhalbzeugs 2. Dazu wird das Faserhalbzeug 2 vollständig in jene duroplastische Matrix 15 eingebettet, mit der - oder mit zumindest einer deren Komponenten, im Falle einer Mehrkomponenten-Matrix - die zweite Lage 13 benetzt worden ist. Im Faser-Verbundwerkstoff 24 umgibt und durchdringt die Matrix 15 nun alle Lagen 5, 13 des Faserhalbzeugs 2. Die ursprünglich der Fixierung der ersten Lage 5 dienende Benetzung der zweiten Lage 13 mit Matrix 15 geht nun in der gesamten Matrix 15 des Faser-Verbundwerkstoffes 24 ununterscheidbar bzw. materialgleich auf.

Die duroplastische Matrix 15 ist bevorzugt ein selbsthärtendes Epoxidharz. Es können jedoch auch andere duroplastische



Materialien als Matrix 15 dienen, wie Aminoplaste, Phenoplaste, vernetzte Polyacrylate, Polyurethane, Vinylesterharze oder Polyesterharze.

Das Aushärten der Matrix 15 im Faser-Verbundwerkstoff 24 kann auf jede in der Technik bekannte Art und Weise erfolgen, beispielsweise durch bloßen Zeitablauf oder optional eingeleitet bzw. beschleunigt durch Bestrahlen z.B. mit UV-Licht oder Elektronenstrahlen, durch Erwärmen oder - wenn es sich um eine Zwei- oder Mehrkomponenten-Matrix handelt - durch Aufbringen einer Härterkomponente. Jener Teil der Matrix 15, mit welchem die Faserbündel 14 beim Aufbringen der zweiten Lage 13 benetzt wurden, kann schon bei der Fertigstellung des Faserhalbzeugs 2 auf die genannten Arten ganz oder teilweise ausgehärtet worden sein; in letzterem Falle erfolgt seine vollständige Aushärtung dann nach dem Einbetten des Faserhalbzeugs 2 in die Matrix 15 gemeinsam mit dem Aushärten des gesamten Faser-Verbundwerkstoffes 24.

Fig. 4 zeigt das optionale Verpressen der Faserbündel 4, 14 der ersten und der zweiten Lage 5, 13, gegebenenfalls auch gemeinsam mit der ersten und der zweiten Folie 3, 19. Die Fasern 22, 23 der beiden Lagen 5, 13 liegen dann gleichmäßiger und dichter als im Faserhalbzeug 2 der Fig. 1 bis 3, sind aber nicht gebrochen oder beschädigt wie bei herkömmlichen Verfahren.

Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Faserhalbzeugs 2, das über der zweiten Lage 13 weitere erste und zweite



Lagen 5', 13', 5", 13" usw. in beliebiger Anzahl und bevorzugt einander abwechselnd aufweist. Die Faserbündel der verschiedenen Lagen 5, 5', 5", 13, 13', 13" können auch aus verschiedenen Materialien bestehen. Das Faserhalbzeug 2 von Fig. 5 kann auch wie in Fig. 3 unverpresst sein.

Fig. 6 zeigt eine zu Fig. 1 alternative Art der Herstellung des Faserhalbzeugs 2 nach einem Endlos-Verfahren in einer Anlage 25. Von einer Rolle 26 wird eine Vielzahl paralleler Faserbündel 4 gleichzeitig abgerollt und bildet so wieder die erste Lage 5. Anstelle der Rolle 26 könnten die Faserbündel 4 z.B. auch einer Vielzahl einzelner Vorratsrollen - ähnlich der Vorratsrolle 10 von Fig. 1 - gleichzeitig entnommen und beispielsweise von kammförmigen Führungen oder Führungsrollen zur ersten Lage 5 aufgefächert werden.

In Richtung R in die Anlage 25 eingezogen wird die erste Lage 5 zunächst mit der ersten Folie 3 von der Folienrolle 20 unterlegt. Der Verlegekopf 7 legt mit seiner Verlegespitze 9 anschließend die Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 auf die erste Lage 5 auf. Die Faserbündel 14 werden vor dem Auflegen in der Benetzungseinrichtung 16 mit Matrix 15 oder einer Komponente derselben benetzt.

Der Verlegekopf 7 ist zumindest quer zur Richtung R verfahrbar und legt so die Faserbündel 14 in Wellenform auf die vorbeiziehende erste Lage 5. Um ein teilweises oder vollständiges Aushärten der matrixbehafteten Faserbündel 14 einzuleiten oder zu beschleunigen, ist eine erste Prozesseinrichtung



27 nachgeschaltet, welche die Faserbündel 14 erwärmt, bestrahlt oder Härterkomponenten aufträgt. Die Faserbündel 4, 14 der ersten und der zweiten Lage 5, 13 werden anschließend mittels zweier Pressrollen 28 verpresst, wobei in diesem Schritt gleichzeitig die zweite Folie 19 auf die zweite Lage 13 aufgebracht werden kann. Noch einmal wird das Aushärten der Matrix 15 durch eine zweite Prozesseinrichtung 29 unterstützt. Das fertige Faserhalbzeug 2 wird anschließend mitsamt der ersten und der zweiten Folie 3, 19 auf eine Rolle 30 aufgewickelt. Es versteht sich, dass die Anlage 25 in Fig. 6 stark schematisiert dargestellt ist; sie kann über komplexere Ab- und Aufrollmechanismen und weitere Zwischenrollen für die Faserbündel 4, 14 verfügen, ebenso über weitere Verlegeköpfe 7 und Einrichtungen zum Abtrennen seitlicher Abschnitte 18 am Faserhalbzeug 2.

Die Fig. 7 und 8 zeigen weitere mögliche Ausführungsformen des Faserhalbzeugs 2. Gemäß Fig. 7a können die Faserbündel 4 der ersten Lage 5 voneinander beabstandet gelegt werden, auch mit variierenden gegenseitigen Parallelabständen. In Fig. 7a sind ferner zwei Stränge 11 von matrixbenetzten Faserbündeln 14 als zweite Lage 13 in Wellenform gelegt, wobei die Stränge 11 einander in Kreuzungspunkten 31 kreuzen und mit Überlappungen 32 überlappen können. Die Kreuzungspunkte 31 bewirken eine zusätzliche Verstärkung des Faserhalbzeugs 2. Die Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 gehen dabei nicht über die Breite der ersten Lage 5 hinaus. Eine solche zweite Lage 13 kann wie oben



beschrieben von einem Verlegekopf 7 in mehreren Arbeitsgängen oder von mehreren Verlegeköpfen 7 gleichzeitig hergestellt werden.

Fig. 7b zeigt ein Faserhalbzeug 2 mit zwei wellenförmigen Strängen 11 von Faserbündeln 14 der zweiten Lage 13, welche weder Überlappungen 32 aufweisen noch die erste Lage 5 seitlich überragen, sich jedoch an Berührungspunkten 31' berühren.

Die zweite Lage 13 von Fig. 7c ist aus einzeln abgelängten Faserbündeln 14 gelegt, welche in Zick-Zack-Form aufgelegt werden und einander in Kreuzungspunkten 31 kreuzen. Einige dieser Faserbündel 14 sind dabei doppelt aufgelegt, was das Faserhalbzeug 2 zusätzlich verstärkt. Die stumpfen und spitzen Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  können auch variieren und z.B. auch zueinander nicht-komplementär sein. Die Ausführungsform von Fig. 7c kann auch durch Abtrennen der Abschnitte 18 fortlaufender Stränge 11 von Faserbündeln 14 hergestellt werden.

Fig. 7d zeigt zwei in Wellenform aufgelegte Stränge 11 von Faserbündeln 14, welche gegeneinander in Richtung R versetzt sind. Die Kreuzungspunkte 31 der beiden Stränge 11 können dabei auch auf den seitlich vorragenden Abschnitten 18 zu liegen kommen; nach Abtrennen der Abschnitte 18 entsteht ein Faserhalbzeug 2 ohne Kreuzungspunkte 31, jedoch mit etwa doppelt so vielen Faserbündeln 14 wie das Faserhalbzeug 2 von Fig. 2.

Fig. 7e zeigt ein Faserhalbzeug 2 mit einem schlingenförmig aufgelegten Strang 11 von Faserbündeln 14. Wieder bilden die Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 abwechselnd überwiegend



stumpfe und spitze Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  zur UD-Richtung R, wenn auch entlang eines Faserbündels 14 gesehen variierend. Ganz ähnlich dazu zeigt Fig. 7f einen schlingenförmig gelegten Strang 11 aus Faserbündel 14 mit Kreuzungspunkten 31 und Überlappungen 32.

Bei dem Faserhalbzeug 2 von Fig. 8a ist ein Strang 11 von Faserbündeln 14 schleifenförmig auf die UD-Lage 5 gelegt. Auch diese Ausführungsform des Faserhalbzeugs 2 weist in aufeinanderfolgenden Bereichen abwechselnd überwiegend stumpfe und spitze Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  zur Richtung R auf, wenn auch entlang eines Faserbündels 14 gesehen stark variierend.

Wesentlich mehr Kreuzungspunkte 31 zeigen in Fig. 8b die im Strang 11 doppelschleifenförmig verlegten Faserbündel 14. Werden in einer solchen Anordnung mehrere Stränge 11 in aufeinander folgenden Arbeitsgängen gelegt und die seitlich überragenden Abschnitte 18 abgetrennt, so ergibt sich z.B. eine Ausführungsform wie in Fig. 8c. Diese kann auch aus einzeln abgelängten Faserbündeln 14 oder mehrfachen Strängen 11 gemäß Fig. 7a oder 7d hergestellt werden.

Die Faserbündel 14 der zweiten Lage 13 können jeweils auch in einem ersten Arbeitsgang - gleichsam als eine erste Schicht der Lage 13 - in stumpfen Winkeln  $\alpha$  und in einem zweiten Arbeitsgang - gleichsam als eine zweite Schicht der Lage 13 - in spitzen Winkeln  $\beta$  zur Richtung R gelegt werden.

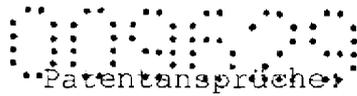
Fig. 8d zeigt abgelängte Faserbündel 14 in Zick-Zack-Form mit Kreuzungspunkten 31 und Überlappungen 32. Wie in Fig. 8e



gezeigt, können abgelängte Faserbündel 14 auch ähnlich wie in Fig. 8c, jedoch ohne Kreuzungspunkte 31 gelegt werden.

Die zweite Lage 13 von Fig. 8f verfügt neben matrixbenetzten Faserbündeln 14 auch über matrixfreie Faserbündel 33, welche parallel zu den matrixbenetzten Faserbündeln 14 verlegt sind. Matrixfreie Faserbündel 33 können auch in allen anderen Ausführungsvarianten Bestandteil der zweiten Lage 13 sein.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst alle Varianten, Kombinationen und Modifikationen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen.



1. Verfahren zum Herstellen eines Faserhalbzeugs für die Einbettung in eine duroplastische Matrix, umfassend die Schritte

Legen einer ersten Lage (5) aus parallelen, matrixfreien Fasern (22) in einer Richtung (R), und

Fixieren der ersten Lage (5) durch Auflegen von mit zumindest einer Komponente der duroplastischen Matrix (15) benetzten Fasern (23) in voneinander beabstandeten Bündeln (14) in einer zweiten Lage (13),

wobei die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) sowohl in stumpfen als auch in spitzen Winkeln ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zu der genannten Richtung (R) gelegt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) aus zumindest einem fortlaufenden Strang (11) von Endlosfasern (23) gelegt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) in in der genannten Richtung (8) gesehen aufeinanderfolgenden Bereichen (A-D) abwechselnd stumpfe und spitze Winkel ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zu der genannten Richtung (8) einnehmen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) in Zickzack- oder Wellenform gelegt werden.



5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass einige Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) einander kreuzend gelegt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass in der zweiten Lage (13) neben benetzten auch matrixfreie Faserbündel (33) aufgelegt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass beim Auflegen der zweiten Lage (13) Faserbündel (14) in einem ersten Arbeitsgang im genannten stumpfen Winkel ( $\alpha$ ) und in einem zweiten Arbeitsgang im genannten spitzen Winkel ( $\beta$ ) aufgelegt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) die erste Lage (5) seitlich überragend aufgelegt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die die erste Lage (5) seitlich überragenden Abschnitte (18) der Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) abgetrennt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch den zusätzlichen Schritt des Auflegens zumindest einer weiteren ersten und/oder weiteren zweiten Lage (5', 5'', 13', 13''), auf die genannte zweite Lage (13).

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass als Fasern (22) der ersten Lage (5) Basaltfasern verwendet werden.



12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass für die erste und die zweite Lage (5, 13) Bündel (4, 14) von Fasern (22, 23) aus gleichem Material verwendet werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass als duroplastische Matrix (15) Epoxidharz verwendet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern (22) der ersten Lage (5) auf eine erste Folie (3) gelegt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite bzw. die oberste der weiteren Lagen (13, 5', 13', 5", 13"), sofern vorhanden, mit einer zweiten Folie (19) abgedeckt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Faserhalbzeug (2) unter Mitrollen zumindest einer der genannten Folien (3, 19) aufgerollt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass alle Lagen (5, 13, 5', 13', 5", 13") miteinander verpresst werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt des zumindest teilweisen Aushärtens der duroplastischen Matrix (15).

19. Verfahren zum Herstellen eines Faser-Verbundwerkstoffs, umfassend ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 und die weiteren Schritte des



Einbettens des Faserhalbzeugs (2) in die genannte duroplastische Matrix (15), und

Aushärtens der duroplastischen Matrix (15).

20. Faserhalbzeug für die Einbettung in eine duroplastische Matrix, gekennzeichnet durch

eine erste Lage (5) aus parallelen, matrixfrei in einer Richtung (R) gelegten Fasern (22), und

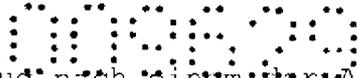
eine auf der ersten Lage (5) aufliegende, diese fixierende zweite Lage (13) von mit zumindest einer Komponente der duroplastischen Matrix (15) behafteten Fasern (23) in voneinander beabstandeten Bündeln (14),

wobei die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) sowohl stumpfe als auch spitze Winkel ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zu der genannten Richtung (R) aufweisen.

21. Faserhalbzeug nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (3) aus zumindest einem fortlaufenden Strang (11) von Endlosfasern (23) gebildet sind.

22. Faserhalbzeug nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) in in der genannten Richtung (R) gesehen aufeinanderfolgenden Bereichen (A-D) abwechselnd stumpfe und spitze Winkel ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zu der genannten Richtung (R) aufweisen.

23. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) in Zickzack- oder Wellenform angeordnet sind.



24. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass einige Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) einander kreuzen.

25. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Lage (13) neben matrix-behafteten auch matrixfreie Faserbündel (33) aufweist.

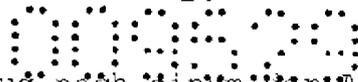
26. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Lage (13) aus zwei Schichten von Faserbündeln (14) aufgebaut ist, in deren einer die Faserbündel (14) im genannten stumpfen Winkel ( $\alpha$ ) und in deren anderer die Faserbündel (14) im genannten spitzen Winkel ( $\beta$ ) liegen.

27. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserbündel (14) der zweiten Lage (13) die erste Lage (5) seitlich überragen.

28. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine weitere erste und/oder weitere zweite Lage (5', 5'', 13', 13'') auf der genannten zweiten Lage (13) aufliegt.

29. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern (22) der ersten Lage (5) Basaltfasern sind.

30. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Lage (5, 13) mit Bündeln (4, 14) von Fasern (22, 23) aus gleichem Material gefertigt sind.



31. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die duroplastische Matrix (15) Epoxidharz ist.

32. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass es auf zumindest einer seiner Oberflächen mit einer Folie (3, 19) versehen ist.

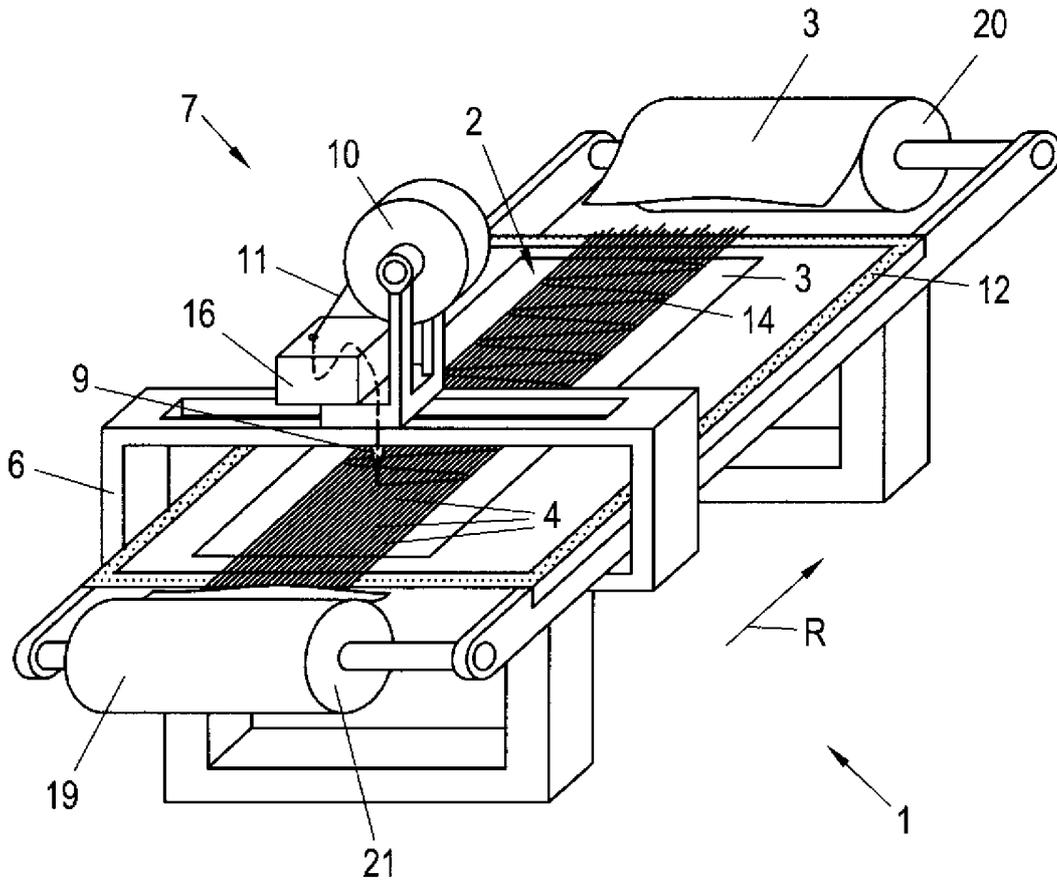
33. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass alle Lagen (5, 5', 5'', 13, 13', 13'') miteinander verpresst sind.

34. Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die duroplastische Matrix (15) zumindest teilweise ausgehärtet ist.

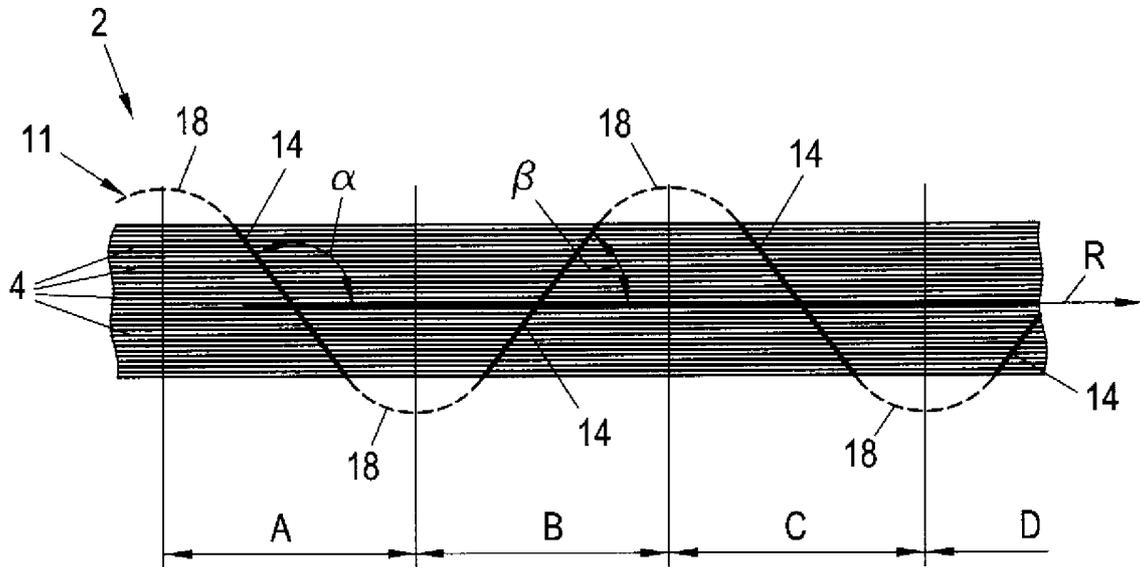
35. Faser-Verbundwerkstoff, gekennzeichnet durch ein Faserhalbzeug nach einem der Ansprüche 20 bis 34, das in die genannte duroplastische Matrix (15) eingebettet ist.

009529

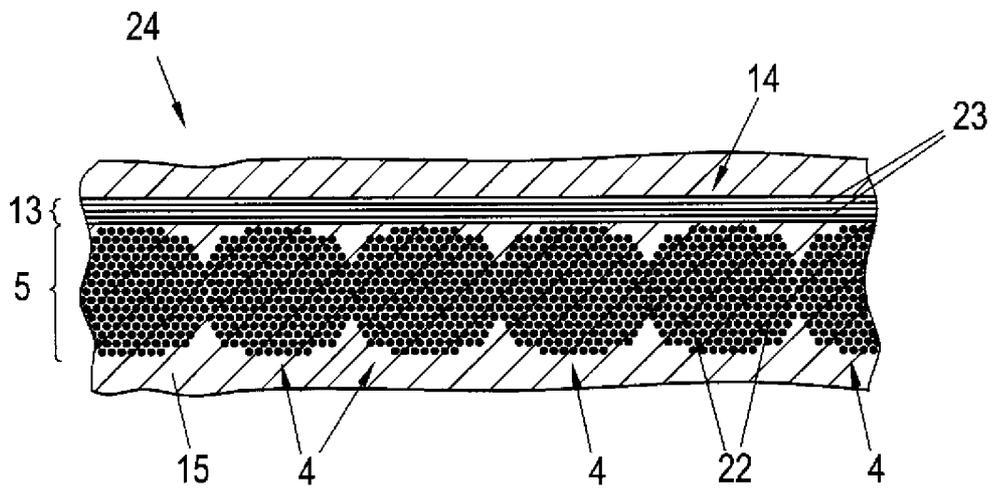
1/6



*Fig. 1*



*Fig. 2*



*Fig. 3*

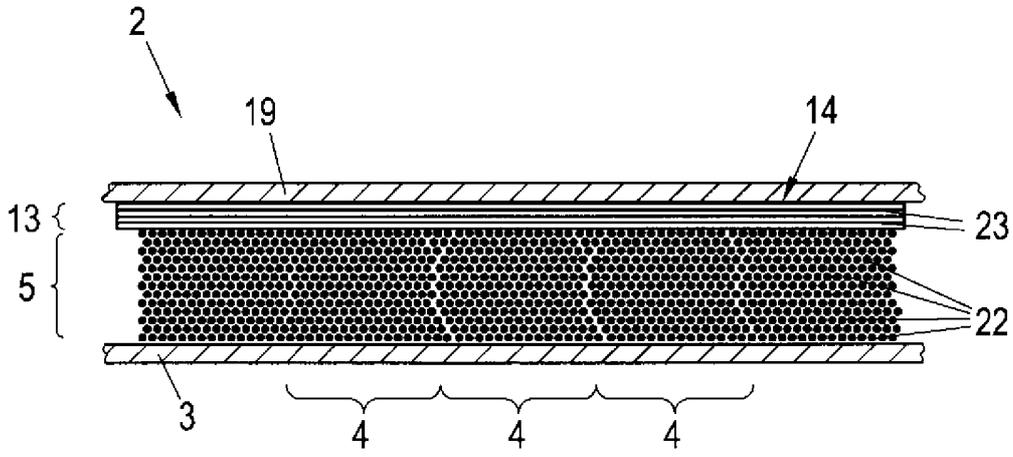


Fig. 4

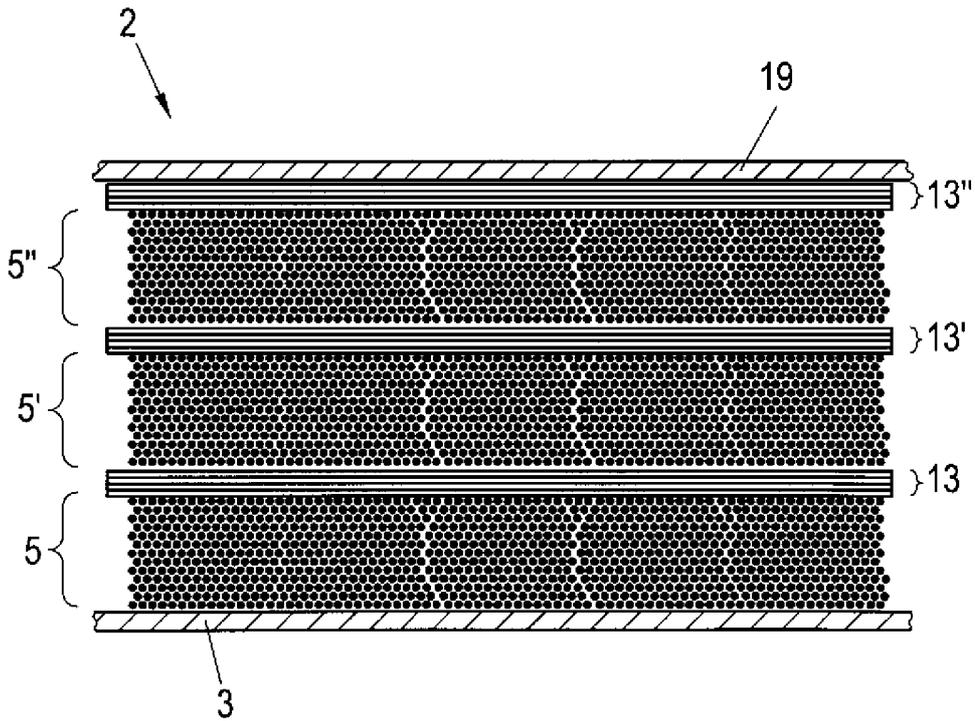


Fig. 5

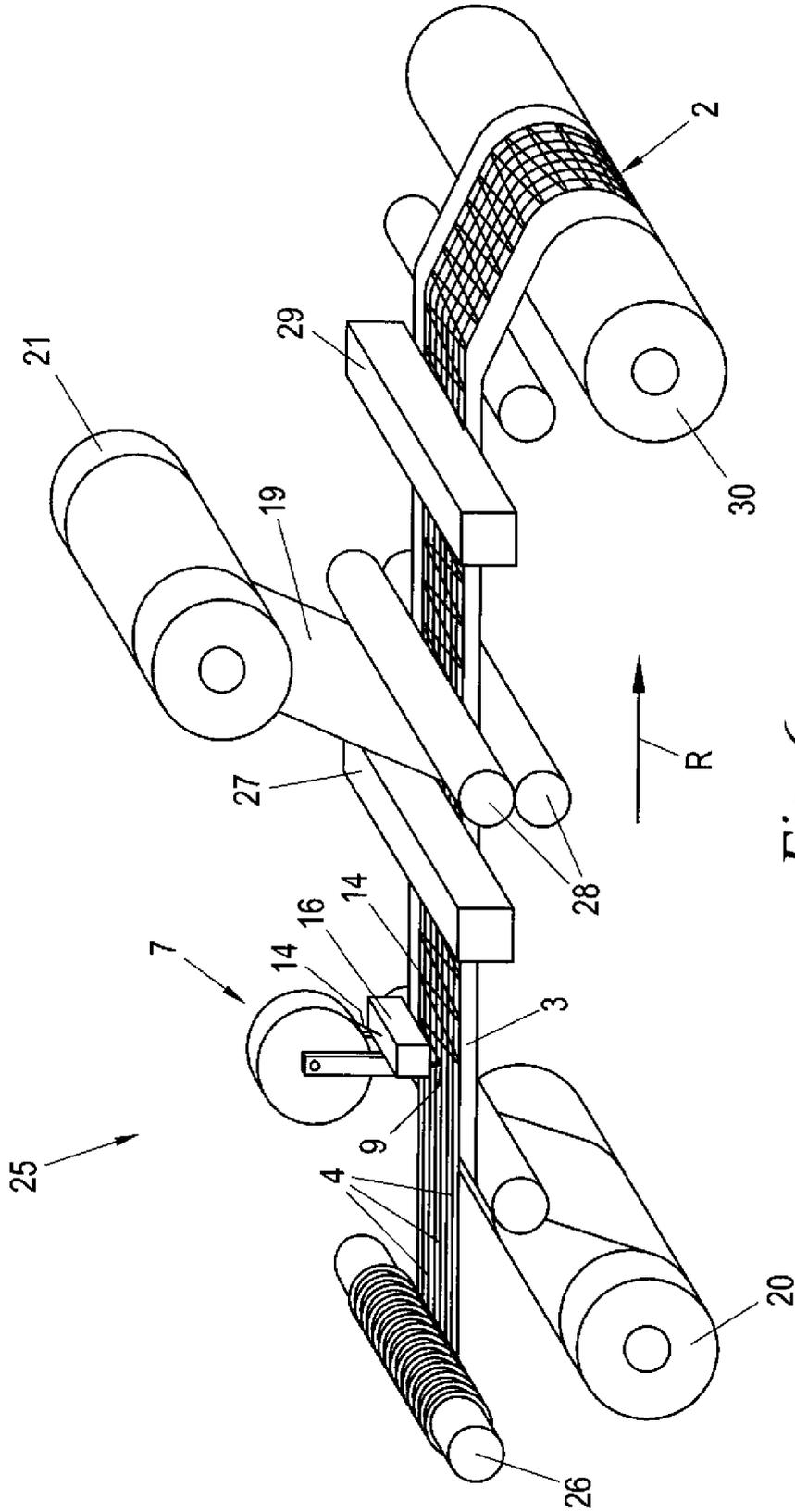


Fig. 6

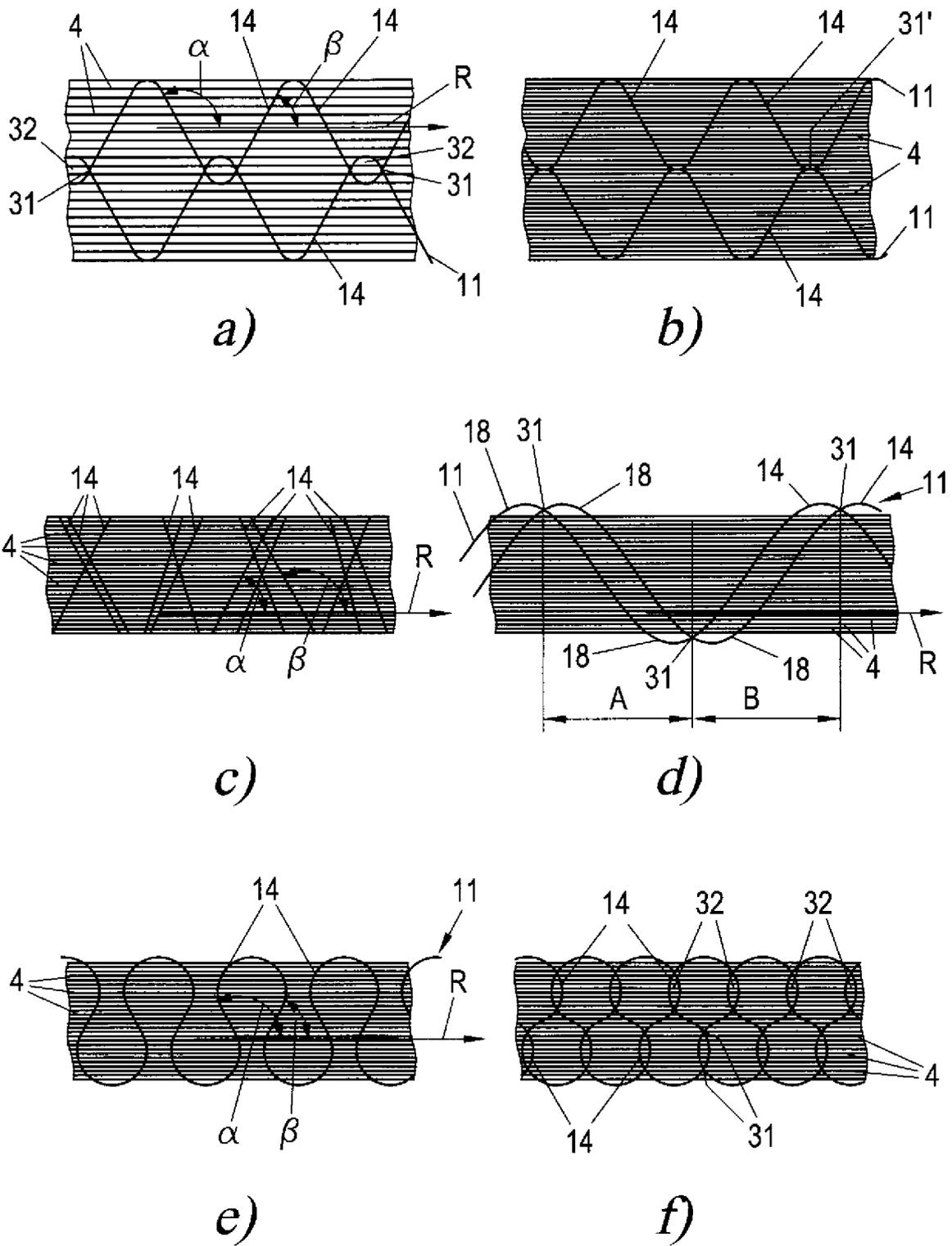


Fig. 7

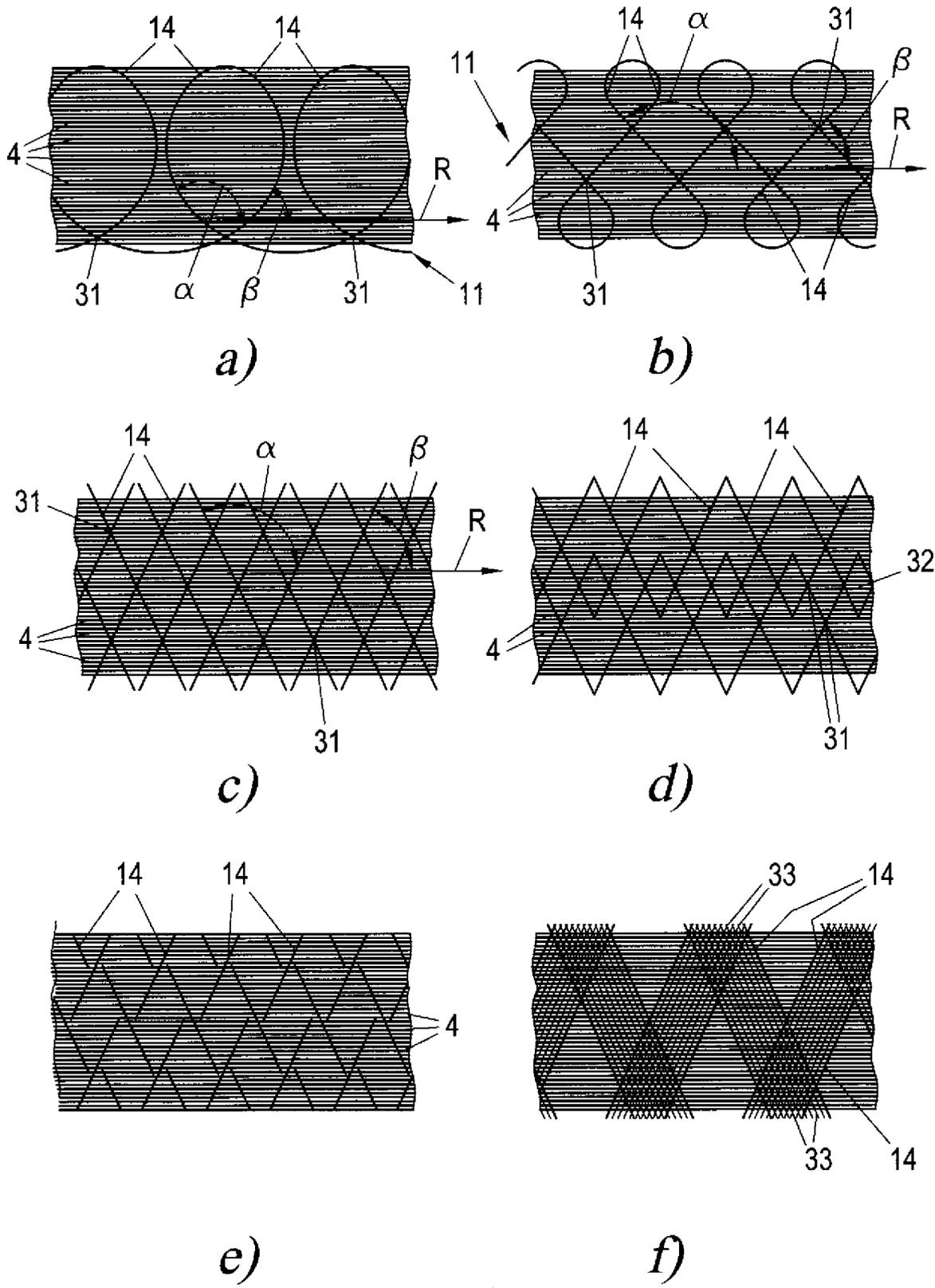


Fig. 8