



(10) **DE 10 2018 006 085 A1** 2020.02.06

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 006 085.4**

(22) Anmeldetag: **02.08.2018**

(43) Offenlegungstag: **06.02.2020**

(51) Int Cl.: **F03D 1/06 (2006.01)**

**B29C 70/52 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Senvion GmbH, 22297 Hamburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Eyb, Enno, 24116 Kiel, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

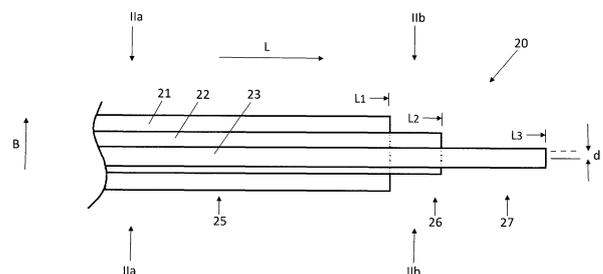
DE	10 2008 007 304	A1
DE	10 2012 104 238	A1
DE	10 2016 009 640	A1
EP	2 497 945	B1
EP	3 069 017	B1
EP	2 778 393	A2

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verjüngter Pultrudatgurt und ein Verfahren zu seiner Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Rotorblatt mit einem Gurt (20) mit einer Mehrzahl an Pultrudatlagen (21, 21a, 22, 23) mit jeweils einer Länge (L) und einer Breite (B), einem Tip (30) und einer Rotorblattwurzel (31), wobei schmalere Pultrudatlagen (22, 23 in einer Längsrichtung (L) dichter an den Tip (30) heranreichen als breitere Pultrudatlagen (21, 21a).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt mit einem Gurt mit einer Mehrzahl an Pultrudatlagen mit jeweils einer Länge und Breite, einem Tip und einer Rotorblattwurzel. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines Rotorblattes mit einem Gurt.

**[0002]** Rotorblätter sind insbesondere als Bauteile von Windkraftanlagen im Stand der Technik natürlich hinlänglich bekannt.

**[0003]** Rotorblätter bestehen gemäß der EP 2 778 393 A2 üblicherweise aus zwei Halbschalen, die an ihren Rändern miteinander verklebt werden. Im Inneren des Rotorblattes sind sich gegenüberliegend zwei Gurte angeordnet, die mit einem Hauptsteg verbunden sind. Es ist auch denkbar, dass neben dem Gurt nasenseitig und rotorblatt hinterkantenseitig weitere Gurte mit zugehörigen Stegen angeordnet sind. Üblicherweise bestehen die Gurte, insbesondere die Gurte aus mehreren Pultrudatlagen, die auf die Innenseite der Rotorblattschale auflaminiert werden. Die Pultrudatlagen sind aus Kostengründen im Wesentlichen baugleich. Da sich das Rotorblatt zum Tip hin verjüngt, werden die Pultrudate sich in Längsrichtung verjüngend abgesägt. Die auf diese Weise hergestellten Gurte sind relativ materialaufwendig und statisch nicht optimal hergestellt, da sie in ihrem Tipbereich zu materialhaltig sind.

**[0004]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein eingangs genanntes Rotorblatt zur Verfügung zu stellen, das einen Gurt aufweist, der die oben genannten Nachteile vermindert.

**[0005]** Es ist auch Aufgabe der Erfindung, ein eingangs genanntes Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem das Rotorblatt mit einem Gurt herstellbar ist und dass die oben genannten Nachteile vermindert.

**[0006]** Die Aufgabe kann überraschenderweise durch ein eingangs genanntes Rotorblatt mit einem Tip und einer Rotorblattwurzel gelöst werden, bei dem ein Gurt aus mehreren Pultrudatlagen aufgebaut ist und schmalere Pultrudatlagen in einer Längsrichtung dichter an den Tip heranreichen als breitere Pultrudatlagen.

**[0007]** Dabei bezeichnet die schmalere Pultrudatlage eine Breite der Pultrudatlage, die schmäler ist als die Breite der breiteren Pultrudatlage. „Breiter“ und „schmäler“ beziehen sich auf die Breiten der Pultrudatlagen in ihrem relativen Verhältnis.

**[0008]** Es hat sich gezeigt, dass es für die Gurte eines Rotorblattes vorteilhaft ist, wenn ein Verhältnis von Breite zu Dicke des Gurtes sich über die gesamte Längsausdehnung des Gurtes innerhalb vorgegebener Grenzwerte bewegt, möglichst sogar gleich

bleibt. Die Längsrichtung entspricht der Längsrichtung des Rotorblattes und die Längsausdehnung verläuft entlang der Längsrichtung. Die Breite verläuft senkrecht zur Längsrichtung.

**[0009]** Der Gurt ist an der Rotorblattwurzel besonders breit und dünn in einem aerodynamischen mittleren Abschnitt ist der Gurt sowohl breit als auch dick und er verjüngt sich zum Tip hin und sollte auch gleichzeitig dünner werden.

**[0010]** Das erfindungsgemäße Rotorblatt löst dieses Problem einfach, indem ein Gurt mit einer Mehrzahl an Pultrudatlagen zur Verfügung gestellt wird und in Richtung des Tips des Rotorblattes, also im Tipbereich des Rotorblattes, breitere Pultrudatlagen in einer Längsrichtung kürzer als schmalere Pultrudatlagen ausgebildet sind. Die Erfindung macht von der Idee Gebrauch, Pultrudatlagen unterschiedlicher Breite und Länge übereinander anzuordnen und so in Richtung des Tips eine Verjüngung und Verdünnung auszuformen.

**[0011]** Grundsätzlich eignen sich Pultrudate, weil sie nur wenig biegsam sind, zur Ausbildung von Gurten.

**[0012]** Vorzugsweise reichen entgegen der Längsrichtung zur Rotorblattwurzel hin breitere Pultrudatlagen dichter an die Rotorblattwurzel heran als schmalere Pultrudatlagen.

**[0013]** Grundsätzlich ist die Biegesteifigkeit, die durch die Gurte erhöht wird, an der Rotorblattwurzel ohnehin hoch, so dass im Bereich der Rotorblattwurzel nur dünne Gurte erforderlich sind, während in Richtung des Tips die Verjüngung geometrisch erzwungen wird.

**[0014]** Günstigerweise weist jede Pultrudatlage über ihre gesamte Ausdehnung eine konstante Länge und eine konstante Breite auf. Eine Pultrudatlage, die breiter als eine andere Pultrudatlage ausgebildet ist, ist vorzugsweise auch kürzer als die andere Pultrudatlage ausgebildet.

**[0015]** Dabei wird vorzugsweise zur Ausbildung eines Gurtes zunächst eine maximale Anzahl an Pultrudatlagen übereinandergestapelt, während vorzugsweise die breiteren Pultrudatlagen rotorblattaußenseitig angeordnet sind und sukzessive schmalere oder höchstens gleichbreite Pultrudatlagen rotorblattinnenseitig auf der rotorblattaußenseitigen Pultrudatlage aufgelegt werden. Es entsteht in vorzugsweise jedem Querschnitt eine stufenpyramidenförmige Form. In Längsrichtung zum Tip sind die Pultrudatlagen unterschiedlich lang. Erfindungsgemäß sind die breiteren Pultrudatlagen kürzer als die schmalere Pultrudatlagen. Dadurch verlaufen die schmalere Pultrudatlagen dichter in Längsrichtung an den Tip heran. Somit ist es möglich, einen Gurt zur Ver-

fügung zu stellen, der in Richtung des Tips schmaler und dünner wird.

**[0016]** Im Bereich der Rotorblattwurzel sind die inneren und schmalen Pultrudatlagen kürzer als die äußeren und breiteren Pultrudatlagen.

**[0017]** Günstigerweise sind in jedem Querschnitt des Rotorblattes die rotorblattaußenseitigen Pultrudatlagen des Gurtes breiter als die rotorblattinnenseitigen Pultrudatlagen des Gurtes. Die Aussagen zur Breite beziehen sich immer auf einen Querschnitt senkrecht zur Längsrichtung des Gurtes bzw. des Rotorblattes.

**[0018]** Günstigerweise ist die Anordnung der Pultrudatlagen so aufgebaut, dass die Pultrudatlagen in einem Querschnitt, vorzugsweise jedem Querschnitt desto schmaler werden oder höchstens die gleiche Breite aufweisen, je rotorblattinnenseitiger sie angeordnet sind, d. h. innen sind die schmalen, außen die breiteren Pultrudatlagen angeordnet, so dass ein Gurt entsteht, der in einem Querschnitt eine im Wesentlichen treppenpyramidenförmige Form aufweist. Diese Form trägt insbesondere der Belastung des Gurtes Rechnung, da die maximalen Lasten des Gurtes rotorblattaußenseitig auftreten, wo der Gurt auch am breitesten ausgebildet ist, und je weiter man zur Mittelsehne des Rotorblattes gelangt, desto geringer sind die Lasten, die auf den Gurt wirken. Dort wird der Gurt auch schmaler.

**[0019]** Vorzugsweise sind Querkanten der Pultrudatlagen entlang ihrer Dicke angeschrägt. Die Länge ändert sich dann entlang der Dicke des Pultrudates. Unter Querkante wird hier die senkrecht oder unter einem Winkel zur Längsrichtung verlaufende Kante der Pultrudatlage verstanden, die die Pultrudatlage zum Tip oder zur Rotorblattwurzel hin abschließt.

**[0020]** Dadurch können die inneren und längeren Pultrudatlagen stufenlos über die Querkante verlegt werden. Die inneren Pultrudatlagen sind weich und mit geringer Krümmung über die angeschrägte Querkante geführt.

**[0021]** Vorzugsweise sind tipseitige Querkanten der Pultrudate senkrecht zur Längsrichtung angeordnet. Sie können auch entlang der Länge abgeschrägt sein. Die Länge ändert sich dann entlang der Breite des Pultrudates. Die Entfernung zum Tip bestimmt sich dann durch einen für alle Kanten gleich bestimmten dichtesten oder weitesten Punkt oder einen Durchschnittswert der Kante.

**[0022]** Pultrudate derselben Pultrudatlage können unterschiedlich dicht an den Tip heranreichen. Abstände vom Tip bis zum Ende des Pultrudates sind dann verschieden. Die Pultrudate können einen Längsversatz ausbilden. Vorzugsweise sind entlang

der Breite der Pultrudatlage außenseitige Pultrudate kürzer als zentral angeordnete Pultrudate der Pultrudatlage. Die Pultrudate einer Pultrudatlage sind besonders bevorzugt unterschiedlich lang ausgebildet.

**[0023]** Bei dieser Ausführungsform fluchten rotorblattinnenseitige Pultrudatbahnen mit rotorblattaußenseitigen Pultrudatbahnen entlang ihrer quer zur Längsrichtung außenseitigen Längskanten zumindest im Abschnitt des Längsversatzes. Die innenseitigen Pultrudatbahnen sollten also nicht seitlich über die außenseitigen Pultrudatbahn überhängen. Die rotorblattinnenseitige Pultrudatbahn kann auch schmaler sein als die durch den Längsversatz bereits verschmälerte, außenseitige Pultrudatbahn.

**[0024]** Vorzugsweise nimmt die Anzahl der Pultrudatlagen in einem Querschnitt zum tipseitigen Ende hin ab. Dadurch, dass die Pultrudatlagen abnehmen, wird der Gurt dünner in den Tipbereich hinein. Dieses Dünnerwerden ist kombiniert mit einem Schmälerwerden der dazugehörenden Pultrudatlagen.

**[0025]** Üblicherweise werden Pultrudate als im Querschnitt rechteckförmiges Halbzeug hergestellt, das als Rollenware zur Verfügung gestellt wird. Sie weisen eine im Prinzip endlos lange Länge auf. Sie haben eine deutlich größere Breite als eine Dicke, so dass sie einen Bahncharakter haben. Die Pultrudate sind auf die erforderliche Länge geschnitten. Der Schnitt erfolgt vorzugsweise senkrecht zur Längsrichtung. Er kann aber auch unter einem Winkel, also schräg zur Längsrichtung erfolgen.

**[0026]** Durch nachträgliches Überlaminieren der Pultrudatlagen und Herstellung der Gurte entstehen innerhalb der Gurte auf diese Weise keine oder nur kleine Hohlräume oder Luft einschlüsse. Die Pultrudate werden dazu günstigerweise in einem Vakuuminfusionsverfahren miteinander zusammenlaminiert. Durch den im Vakuuminfusionsverfahren entstehenden Unterdruck wird die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage auf die rotorblattaußenseitige, abgeschrägte Pultrudatlage gesogen, so dass sie über die gesamte Abschrägung Kontakt mit der rotorblattaußenseitigen Pultrudatbahn aufnimmt und ohne Luft einschlüsse zu einem Gurt laminiert werden kann.

**[0027]** Die Pultrudate werden in dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung nicht nur übereinandergestapelt, sondern auch nebeneinander angeordnet. So ist jede der Pultrudatlagen durch vorzugsweise wenigstens zwei, drei oder jede höhere Anzahl an nebeneinander angeordneten Pultrudaten ausgebildet. Diese Ausführungsform des Gurtes hat den Vorteil, dass Pultrudate gleicher Breite verwendet werden können, die durch Nebeneinanderlegen eine Pultrudatlage größerer Breite ausbilden, und durch das Nebeneinanderlegen einer unterschiedlichen Anzahl

an Pultrudaten können Pultrudatlagen unterschiedlicher Breite ausgebildet werden. Die Pultrudatlagen können dadurch kostengünstig hergestellt werden, da immer nur ein bestimmter Pultrudattyp mit vorgegebener Breite und Dicke verwendet wird. Es brauchen keine unterschiedlichen Pultrudate unterschiedlicher Breite hergestellt und für den Gurt verwendet zu werden.

**[0028]** Besonders bevorzugt weist eine rotorblattaußenseitige Pultrudatlage eine erste Anzahl an nebeneinander angeordneten Pultrudaten auf und eine mittlere Pultrudatlage eine zweite Anzahl an nebeneinander angeordneten Pultrudaten, und eine rotorblattinnenseitige Pultrudatlage weist eine dritte Anzahl an nebeneinander angeordneten Pultrudaten in einem Querschnitt als entlang der Breite der Pultrudatlage auf, wobei die erste Anzahl größer als die zweite Anzahl und die zweite Anzahl größer als die dritte Anzahl ist. Es sind natürlich auch zwei oder vier und mehr Pultrudatlagen denkbar, auf die sich die Anzahl der Pultrudate dann entsprechend bezieht.

**[0029]** Es ist auch denkbar, dass entlang der Längsrichtung der Pultrudatlagen Kerne von Sandwichbauteilen, beispielsweise Balsa oder Schaum, angeordnet werden können, die dann mit den Pultrudatlagen überlaminiert werden.

**[0030]** Die Kerne können innen auf außenseitige Pultrudatlagen aufgebracht sein, um mit inneren Puktrudatlagen zu fluchten und einen rechteckigen Gurtquerschnitt auszubilden. Der rechteckige Gurtquerschnitt erhöht nach dem Laminieren die Beulsteifigkeit des Rotorblattes.

**[0031]** Die Kerne können auch neben den Pultrudatlagen angeordnet sein und dicker sein als der Gurt, vorzugsweise sind die Kerne so dick wie der Kern der in Sandwichbauweise hergestellten Rotorblattschale. Dadurch wird ein stetiger Übergang von Gurt zur ihn umgebenden Rotorblattschale geschaffen.

**[0032]** Die Aufgabe wird in ihrem zweiten Aspekt durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst.

**[0033]** Das Verfahren eignet sich zur Herstellung eines der oben genannten Rotorblätter. Umgekehrt kann jedes der oben genannten Rotorblätter durch eines der nachfolgenden Verfahren hergestellt werden.

**[0034]** Erfindungsgemäß wird eine schmalere rotorblattinnenseitige Pultrudatlage auf eine breitere rotorblattaußenseitige Pultrudatlage gelegt und die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage in einer Längsrichtung über die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage hinaus zum Tip erstreckt.

**[0035]** Eine rotorblattinnenseitige Pultrudatlage wird günstigerweise in Richtung der Rotorblattwurzel auf die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage aufgelegt, die sich entgegen der Längsrichtung über die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage hinaus zur Rotorblattwurzel erstreckt. Die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage ist daher im Tipbereich länger als die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage und vorzugsweise schmaler und im rotorblattwurzelseitigen Bereich kürzer und schmaler als die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage.

**[0036]** Abschließend werden die Pultrudatlagen rotorblattinnenseitig von einem Gelege, einem Gewebe, einem Vlies oder einer Kombination der genannten Materialien überlegt und dann mit einem Harz infiltriert und zu einem festen Laminat geformt.

**[0037]** Die Pultrudatlagen werden vorzugsweise durch eine Mehrzahl nebeneinander angeordneter jeweils in Längsrichtung verlaufender Pultrudate ausgebildet.

**[0038]** Vorzugsweise wird eine erste Anzahl an gleichbreiten Pultrudaten nebeneinander zur Ausbildung der rotorblattaußenseitigen Pultrudatlage in dem rotorblattwurzelseitigen Abschnitt angeordnet. Die erste Anzahl von gleichbreiten Pultrudaten ist auch vorzugsweise gleichlang und eine dritte Anzahl an gleichbreiten Pultrudaten ist über die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage gelegt und wird über den rotorblattwurzelseitigen Abschnitt hinaus in einen tipseitigen Abschnitt hinein verlegt. Vorzugsweise läuft die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage nicht über den rotorblattwurzelseitigen Abschnitt hinaus, sondern endet im rotorblattwurzelseitigen Abschnitt, während die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage weiter in Längsrichtung bis in den tipseitigen Abschnitt hinein verlegt wird. Günstigerweise ist also die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage breiter, aber kürzer als die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage, die schmaler, aber länger ausgebildet ist.

**[0039]** Vorzugsweise werden nicht nur zwei, sondern drei, vier oder eine höhere Anzahl an Pultrudatlagen aufeinandergelegt, die sukzessive nacheinander zum Tip auslaufen. Dadurch entsteht ein stetiger werdendes Verjüngungsverhalten des Gurtes.

**[0040]** Die Pultrudatlagen selbst können aus jeweils einem Pultrudat oder günstigerweise aus einer unterschiedlichen Anzahl an vorzugsweise gleichbreiten Pultrudaten gebildet werden. Das ist besonders kostengünstig.

**[0041]** Die Längsseiten der Pultrudatlagen können von Kernen von Sandwichbauteilen abgeschlossen werden. dadurch werden die Gurte zum einen auf eine rechteckige Querschnittform gebracht zum ande-

ren an die Dicke der Rotorblattschal im Sandwichbereich angepasst.

**[0042]** Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen in zehn Figuren beschrieben. Dabei zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Ansicht einer Strangziehmaschine zur Herstellung von Pultrudaten,

**Fig. 2** eine schematische Draufsicht auf einen Gurt in einer ersten Ausführungsform,

**Fig. 2a** eine Schnittansicht entlang der Linie **2a** in **Fig. 1**,

**Fig. 2b** eine Schnittansicht entlang der Linie **2b** in **Fig. 2**,

**Fig. 3** eine Draufsicht auf einen Gurt in einer zweiten Ausführungsform,

**Fig. 3a** eine Schnittansicht entlang der Linie **IIIa-IIIa** in **Fig. 3**,

**Fig. 3b** eine Schnittansicht entlang der Linie **IIIb-IIIb** in **Fig. 3**,

**Fig. 3c** eine Schnittansicht entlang der Linie **IIIc-IIIc** in **Fig. 3**,

**Fig. 3d** eine Schnittansicht entlang der Linie **IIId-IIId** in **Fig. 3**,

**Fig. 4** eine Schnittansicht entlang der Linie **IIIb-IIIb** in einer zweiten Ausführungsform mit Sandwichkernen.

**[0043]** Eine in **Fig. 1** dargestellte Strangziehmaschine dient zum Strangziehen eines faserverstärkten Kunststoffprofils, wobei der Kunststoff in Form eines Harzes um Fasern und oder Matten angelagert wird. Derartige Kunststoffprofile werden auch Pultrudate **1** genannt. Die einzelnen Fasern **2** werden als Glasfasern, Kohlefasern von vorzugsweise vertikal gelagerten Faserspindeln **3** abgewickelt. Die Fasern **2** können zusammen mit Verstärkungsmaterialien sowie Matten **4** oder Vliesen, die auf entsprechenden, vorzugsweise horizontal gelagerten Rollen **6** angeordnet sind, gemeinsam als Bündel einer Harzwanne und Vorformstation **7** zugeführt werden. Es ist vorzugsweise vorgesehen, dass die Fasern **2** nur unidirektional angeordnet sind. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass nur die Fasern **2** oder nur die Matten **4** oder Vliese als Verstärkungsmaterial des Pultrudates **1** verwendet werden.

**[0044]** In der in **Fig. 1** dargestellten Strangzugmaschine zur Herstellung der Pultrudate **1** werden sowohl die Fasern **2** als auch die Matten **4** zur Verstärkung der Pultrudate **1** verwendet. Die Matten **4** und Fasern **2** werden zunächst durch die Harzwanne und Vorformstation **7** gezogen. Dabei lagert sich flüssiges Harz um die Fasern **2** herum an. Das um die Fasern **2** herum angelagerte Harz wird zusammen mit

den Fasern **2** und den Matten **4** in ein Härtungswerkzeug **8** hinein gezogen. In dem Härtungswerkzeug **8** ist eine Formmatrize vorgesehen, die dem Pultrudat **1** vorzugsweise die gewünschte Querschnittsform hinsichtlich Breite und Dicke gibt. Der Querschnitt des Pultrudates **1** ist über die gesamte Längsausdehnung, die der Ziehrichtung entspricht, gleichbleibend. Der Querschnitt des Pultrudates **1** ist rechteckförmig. Dabei kann das Pultrudat **1** aber auch eine platten- oder streifenartige Gestalt annehmen.

**[0045]** In dem Härtungswerkzeug **8** wird das Harzmaterial gehärtet, indem dem Harz, das ein Zweikomponentensystem sein kann, Wärme zugeführt wird. Die Ziehgeschwindigkeit und die Wärme sind so aufeinander abgestimmt, dass das Pultrudat nach dem Verlassen des Härtungswerkzeuges **8** seine endgültige Festigkeit erreicht hat und ausgehärtet ist und auch durch nachträgliches Erwärmen keine weitere Vernetzung des Harzes stattfindet.

**[0046]** Das Pultrudat ist im Prinzip ein endloses Strangziehteil das mittels eines Ziehwerkzeuges **11** kontinuierlich aus dem Härtungswerkzeug **8** herausgezogen wird und anschließend in einer Sägemaschine **12** auf eine gewünschte Länge geschnitten werden kann. Es ist aber auch denkbar, dass das Pultrudat **1** in einem Stück auf eine Rolle aufgewickelt wird und der weiteren Verwendung zugeführt wird. Die Pultrudate **1** weisen, insbesondere wenn sie als Rollenware zur Verfügung gestellt werden, üblicherweise Breiten bis zu einem Meter auf und Dicken von einem Millimeter bis fünf Millimeter auf. Die Pultrudate **1** werden zur Ausbildung erfindungsgemäßer Gurte in Rotorblättern verwendet. Natürlich sind auch andere Verwendungen von Pultrudaten **1** möglich.

**[0047]** Das Rotorblatt verfügt beispielsweise über zwei Gurte **20**, die sich in einem Inneren des Rotorblattes gegenüberliegen und die auf Innenseiten sich gegenüberliegender Rotorblatthalbschalen auf laminiert sind. Zwischen den beiden Gurten **20** verläuft ein Hauptsteg. Der weitere Aufbau des Rotorblattes soll hier nicht näher beschrieben werden, da sich die Erfindung hinsichtlich des Aufbaus des Rotorblattes auf herkömmliche Rotorblätter bezieht. Die Gurte **20** erstrecken sich von einer Rotorblattwurzel **31** bis in einen Tipbereich des Rotorblattes.

**[0048]** Zweckmäßigerweise ist das Verhältnis von Dicke zu Breite des Gurtes **20** entlang einer Längsrichtung **L** des Rotorblattes, die der Längsrichtung **L** des Gurtes entspricht, in etwa gleichbleibend. Es bewegt sich vorteilhafterweise zumindest innerhalb vorgegebener Schranken.

**[0049]** Im Tipbereich wird das Rotorblatt jedoch zunehmend schmaler, so dass herkömmlicherweise die breiten Pultrudatstreifen in den Tipbereich hinein abgescrägt werden, und zwar derart, dass die Breite

der Pultrudate in den Tipbereich hinein zunehmend geringer wird. Dazu werden Pultrudate herkömmlicherweise schräg abgesägt.

**[0050]** Erfindungsgemäß wird der sich in den Tipbereich hinein in der Breite verjüngende Gurt **20** zur Verfügung gestellt, indem die Pultrudate **1** entweder in verschiedener Breite **B** und Länge **L** übereinander oder die Pultrudate **1** gleicher Breite **B** oder verschiedener Breite **B** und verschiedener Länge **L** nebeneinander und übereinander angeordnet werden, so dass sich der aus ihnen gebildete Gurt **20** in den Tipbereich hinein verjüngt.

**[0051]** Die **Fig. 2**, **Fig. 2a** und **Fig. 2b** zeigen eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Gurtes **20**. Der Gurt **20** umfasst drei Pultrudatlagen **21**, **22**, **23**.

**[0052]** Der in **Fig. 2** in einer Draufsicht dargestellte Gurt **20** weist einen rotorblattwurzelseitigen Abschnitt **25**, einen mittleren Abschnitt **26** und einen tipseitigen Abschnitt **27** auf. Der Gurt **20** wird von einer Rotorblattwurzel zu einem Tip hin stufenweise zunehmend schmaler. Die Breite **B** der Gurte **20** verringert sich hier in zwei Stufen. Bei anderen Ausführungsformen sind natürlich auch höhere Stufenanzahlen möglich.

**[0053]** **Fig. 2a** zeigt einen Querschnitt des Gurtes **20** im rotorblattwurzelseitigen Abschnitt **25**. Der Gurt **20** weist in dem Querschnitt eine rotorblattaußenseitige breite Pultrudatlage **21** auf, die aus vier einzelnen Pultrudaten **211**, **212**, **213**, **214** besteht, wie sie jeweils beispielhaft in einer Strangziehmaschine gemäß **Fig. 1** hergestellt werden können. Eine schmalere, mittlere Pultrudatlage **22**, die aus drei einzelnen Pultrudaten **221**, **222**, **223** besteht, sowie eine noch schmalere rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23**, die aus zwei Pultrudaten **231**, **232** besteht, bilden zusammen mit der rotorblattaußenseitigen Pultrudatlage **21** den Gurt **20** aus. Die Pultrudate **211**, **212**, **213**, **214**, **221**, **222**, **223**, **231**, **232** der Pultrudatlagen **21**, **22**, **23** sind innerhalb der Pultrudatlagen **21**, **22**, **23**, aber auch zwischen den Pultrudatlagen **21**, **22**, **23** mit einer identischen Breite **B** ausgebildet.

**[0054]** Die Pultrudate **211**, **212**, **213**, **214**, **221**, **222**, **223**, **231**, **232** können daher günstigerweise mit einer einzigen Strangziehmaschine gemäß **Fig. 1** hergestellt werden und müssen nur in ihrer Länge **L** gemäß **Fig. 2** zugeschnitten werden, um den Gurt **20** auszubilden.

**[0055]** Ein Rückblick auf **Fig. 2** zeigt, dass die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage **21** eine erste Breite **B<sub>1</sub>** aufweist und eine erste Länge **L<sub>1</sub>**. Die mittlere Pultrudatlage **22** weist eine zweite Breite **B<sub>2</sub>** und eine zweite Länge **L<sub>2</sub>** auf, während die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23** eine dritte Breite **B<sub>3</sub>** und eine dritte Länge **L<sub>3</sub>** aufweist. Dabei ist die erste Breite **B<sub>1</sub>** grö-

ßer als die zweite Breite **B<sub>2</sub>** und diese größer als die dritte Breite **B<sub>3</sub>**, während die dritte Länge **L<sub>3</sub>** größer als die zweite Länge **L<sub>2</sub>** und diese größer als die erste Länge **L<sub>1</sub>** ist. Die breiten Pultrudatlagen sind kürzer als die schmalen Pultrudatlagen.

**[0056]** **Fig. 2b** zeigt einen Schnitt in dem mittleren Abschnitt **26** des Gurtes **20**. Die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage **21** ist im mittleren Abschnitt **26** bereits ausgelaufen, also nicht mehr vorhanden. Im mittleren Abschnitt **26** sind nur noch die mittlere Pultrudatlage **22** sowie die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23** mit drei Pultrudaten **221**, **222**, **223** beziehungsweise zwei einzelnen Pultrudaten **231**, **232** vorhanden. Im mittleren Abschnitt **26** ist die mittlere Pultrudatlage **22** jedoch rotorblattaußenseitig direkt an der Rotorblattschale angeordnet.

**[0057]** Ein Schnitt im tipseitigen Abschnitt, der nicht dargestellt ist, würde lediglich noch aus der rotorblattinnenseitigen Pultrudatlage **23** mit den zwei Pultrudaten **231**, **232** bestehen.

**[0058]** Durch die Anordnung von gleichbreiten Pultrudaten **211**, **212**, **213**, **214**, **221**, **222**, **223**, **231**, **232** nebeneinander und Anordnung von Pultrudaten **211**, **212**, **213**, **214**, **221**, **222**, **223**, **231**, **232** unterschiedlicher Länge **L** übereinander ist es möglich, einen Gurt **20** herzustellen, der eine sich zu einem Tip **30** hin verjüngende Breite **B** aufweist und gleichzeitig eine sich zum Tip **30** hin verkleinernde Dicke **D** aufweist, so dass das eingangs genannte Verhältnis von Breite **B** zu Dicke **D** zwar nicht gleichbleibt, aber sich doch innerhalb vorgegebener Grenzwerte bewegt.

**[0059]** Es ist in der Ausführungsform gemäß **Fig. 2** vorgesehen, dass die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23** nicht entlang der Breite **B** mittig über der rotorblattaußenseitigen Pultrudatlage **23** und der mittleren Pultrudatlage **22** liegt, sondern dass sie zu einer Längsseite hin versetzt ist. Die Verschiebung **d** zwischen den Mittellinien der rotorblattaußenseitigen Pultrudatlage **21** und der mittleren Pultrudatlage **22** zur rotorblattinnenseitigen Pultrudatlage **23** hin ist durch die Abweichung der gestrichelten zur durchgezogenen Mittellinie dargestellt.

**[0060]** Es ist auch denkbar, dass die mittlere Pultrudatlage **22** versetzt zur und auf der rotorblattaußenseitigen Pultrudatlage **21** angeordnet ist, um den Gurt **20** in Tiefenrichtung zu krümmen.

**[0061]** Zur Herstellung des Gurtes **20** gemäß **Fig. 2** bedarf es lediglich eines Pultrudattyps.

**[0062]** In **Fig. 3** ist eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Gurtes **20** dargestellt, der ebenfalls eine zum tipseitigen Ende hin abnehmende Breite **B** und auch eine zum tipseitigen Ende hin abnehmende Dicke **D** aufweist. Unter der Dicke **D** ist hierbei

im Querschnitt eine maximale Dicke des Gurtes **20** entlang einer Mittellinie in der Längsrichtung zu verstehen.

**[0063]** Der Gurt **20** umfasst wie in der ersten Ausführungsform den rotorblattwurzelseitigen Abschnitt **25**, den mittleren Abschnitt **26** sowie den tipseitigen Abschnitt **27**. In dem rotorblattwurzelseitigen Abschnitt **26** sind nunmehr vier Pultrudatlagen **21**, **21a**, **22**, **23** übereinandergeschichtet, wie der Querschnitt entlang der Linie **IIIa-IIIa** in **Fig. 3** zeigt.

**[0064]** Zwei rotorblattaußenseitige Pultrudatlagen **21**, **21a** umfassen jeweils ein einziges Pultrudat **211**, **211a** der ersten Breite **B<sub>1</sub>**, sowie ein einziges rotorblattinnenseitig auf den beiden rotorblattaußenseitigen Pultrudatlagen **21**, **21a** angeordnetes mittleres Pultrudat **221** der zweiten Breite **B<sub>2</sub>** und die rotorblattinnenseitig auf der mittleren Pultrudatlage **23** angeordnete rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23** aus ebenfalls einem einzigen Pultrudat **231** mit der dritten Breite **B<sub>3</sub>**. Dabei ist die erste Breite **B<sub>1</sub>** größer als die zweite Breite **B<sub>2</sub>** und die zweite Breite **B<sub>2</sub>** größer als die dritte Breite **B<sub>3</sub>**.

**[0065]** **Fig. 3** zeigt, dass jede der vier Pultrudatlagen **21**, **21a**, **22**, **23** jeweils durch ein einzelnes zusammenhängendes Pultrudat **211**, **211a**, **221**, **231** ausgebildet wird. Die beiden rotorblattaußenseitigen Pultrudate **211**, **211a** weisen die gleiche erste Breite **B<sub>1</sub>** auf und das rotorblattaußenseitige Pultrudat **211** eine Länge **L'<sub>1</sub>** und das rotorblattaußenseitige Pultrudat **211a** die erste Länge **L<sub>1</sub>**. Das mittlere Pultrudat **221** weist die zweite Breite **B<sub>2</sub>** auf und die zweite Länge **L<sub>2</sub>**, und das rotorblattinnenseitige Pultrudat **231** weist die dritte Breite **B<sub>3</sub>** auf und die dritte Länge **L<sub>3</sub>**. Die erste Breite **B<sub>1</sub>** ist größer als die zweite Breite **B<sub>2</sub>**. Die zweite Breite **B<sub>2</sub>** ist größer als die dritte Breite **B<sub>3</sub>**. Für die Längen gilt Entsprechendes, wobei die Länge **L'<sub>1</sub>** kürzer ist als die erste Länge **L<sub>1</sub>**.

**[0066]** In einem tipseitigen Abschnitt **25a** des rotorblattwurzelseitigen Abschnitts **25** weist der Gurt **20** immer noch die erste Breite **B<sub>1</sub>** auf, jedoch ist die Dicke **D** des Gurtes **20** dadurch verringert, dass der Gurt **20** dort nur noch drei der Pultrudatlagen **21a**, **22**, **23** aufweist, wobei die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage **21a** die erste Breite **B<sub>1</sub>**, die mittlere Pultrudatlage **22** die zweite Breite **B<sub>2</sub>** und die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23** die dritte Breite **B<sub>3</sub>** aufweist. In einem Schnitt entlang der Linie **IIIc-IIIc** ist die Breite des Gurtes **20** dadurch auf die zweite Breite **B<sub>2</sub>** verringert, dass die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage **21a** ausgelaufen ist, und die Dicke **D** ist verringert, weil der Gurt **20** dort nur noch aus zwei Pultrudatlagen **22**, **23**, nämlich dem mittleren Pultrudat **221** und dem rotorblattinnenseitigen Pultrudat **231** besteht. Zum Tip **30** hin läuft auch die mittlere Pultrudatlage **22** am Ende des mittleren Abschnitts **26** aus, und der tipseitige Abschnitt **27** des Gurtes

**20** wird nur noch durch die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage **23** ausgebildet. Die vier Pultrudatlagen **21**, **21a**, **22**, **23** werden durch drei unterschiedlich breite Pultrudate **211**, **211a**, **221**, **231** gebildet, es sind daher drei unterschiedliche Strangziehverfahren erforderlich, um den Gurt **20** gemäß der zweiten Ausführungsform herzustellen.

**[0067]** **Fig. 3d** zeigt einen Querschnitt entlang der Linie **IIId-IIId** in Längsrichtung **L** des Gurtes **20**. Dabei wird insbesondere erkennbar, dass sich die tipseitigen Enden der beiden rotorblattaußenseitigen Pultrudate **211**, **211a** sehr flach abschrägen. Dabei entspricht die Schrägung einem Verhältnis von 100:1, d.h. dass eine Höhe von einem Millimeter über 100 mm abgeschrägt wird. Dadurch ist es möglich, dass das auf dem rotorblattaußenseitigen Pultrudat **211** entlang einer Abschrägung **32** verlaufende andere rotorblattaußenseitige Pultrudat **211a** der Abschrägung **32** folgt. Pultrudate **1** sind zwar ausgehärtete Bauteile, jedoch sind sie durchaus biegsam und können daher insbesondere der flachen Abschrägung **32** sowie einer weiteren flachen Abschrägung **33** nachfolgen.

**[0068]** In der **Fig. 4** ist gezeigt, dass der erfindungsgemäße Gurt **20** im Querschnitt die Form einer Stufenpyramide aufweist. Seitlich an Längsseiten der Pultrudate **211a**, **221**, **231** können über ihre gesamte Längsausdehnung Kerne **36** von Sandwichbauteilen in Form von Balsaholz oder Schaum angeordnet werden. Die Breite der Kerne **26** entspricht dem Überstand des rotorblattaußenseitigen Pultrudates **211a** oder des mittleren Pultrudates **221** gegenüber dem auf ihm liegenden mittleren Pultrudat **221** beziehungsweise rotorblattinnenseitigen Pultrudat **231**. Eine Dicke **D** der Kerne **26** kann so bemessen sein, dass sie nicht über die Dicke **D** des Gurtes **20** hinausgeht wie rechts in der **Fig. 4** dargestellt.

**[0069]** Es sind jedoch auch andere Dicken **D** der Kerne **26** denkbar, die in der **Fig. 4** auf der linken Seite dargestellt werden. Dort ist die Dicke des Kernes **36** so gewählt, dass er die Dicke des Gurtes stetig auf eine Dicke des den Gurt umgebenden Sandwichkerns der Rotorblattschale bringt. Der linke Kern **36** hat eine Höhe, die der Höhe des Sandwichkerns der Rotorblattschale entspricht und der angeschrägte Kern **36** überführt eine Dicke des Gurtes stetig auf die Dicke der Rotorblattschale.

**[0070]** Konstruktionen von Pultrudatlagen in der ersten und zweiten Ausführungsform ist gemeinsam, dass die Pultrudate **211**, **211a**, **212**, **213**, **214**, **221**, **222**, **223**, **231**, **232** der Gurte **20** mit einer Faser-, Gewebe- und/oder Gelelage überlegt werden, nachdem sie auf der Rotorblattschale aufgebracht wurden. Sie werden dazu vorzugsweise auf eine Faser-, Gewebe- und/oder Gelelage, die auf der Rotorblattinnenschale liegt, aufgelegt. Der Gurt **20** ist damit gleichsam zwischen zwei Gewebelagen ange-

ordnet. Diese können in einem Vakuuminfusionsverfahren mit einem Harzsystem infundiert werden, so dass die Pultrudate **211**, **211a**, **212**, **213**, **214**, **221**, **222**, **223**, **231**, **232** zum einen miteinander verklebt und zum anderen insbesondere auf der Innenseite der Rotorblatthalbschale aufklebt werden. Es handelt sich um herkömmliche Infusionsverfahren, die hier nicht weiter beschrieben werden sollen.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Pultrudat
<b>2</b>	Fasern
<b>3</b>	Faserspindeln
<b>4</b>	Matten
<b>6</b>	Rollen
<b>7</b>	Vorformstation
<b>8</b>	Härtungswerkzeug
<b>11</b>	Ziehwerkzeug
<b>12</b>	Sägemaschine
<b>20</b>	Gurt
<b>21</b>	Pultrudatlage
<b>21a</b>	Pultrudatlage
<b>22</b>	Pultrudatlage
<b>23</b>	Pultrudatlage
<b>25</b>	rotorblattwurzelseitiger Abschnitt
<b>25a</b>	tipseitiger Abschnitt des rotorblattwurzelseitigen Abschnitts
<b>26</b>	mittlerer Abschnitt
<b>27</b>	tipseitiger Abschnitt
<b>30</b>	Tip
<b>31</b>	Rotorblattwurzel
<b>32</b>	Abschrägung
<b>33</b>	Abschrägung
<b>36</b>	Kerne
<b>211</b>	Pultrudat
<b>211a</b>	Pultrudat
<b>212</b>	Pultrudat
<b>213</b>	Pultrudat
<b>214</b>	Pultrudat
<b>221</b>	Pultrudat
<b>222</b>	Pultrudat
<b>223</b>	Pultrudat
<b>231</b>	Pultrudat

<b>232</b>	Pultrudat
<b>d</b>	Verschiebung
<b>B</b>	Breite
<b>B<sub>1</sub></b>	erste Breite
<b>B<sub>2</sub></b>	zweite Breite
<b>B<sub>3</sub></b>	dritte Breite
<b>D</b>	Dicke
<b>L</b>	Länge/Längsrichtung
<b>L<sub>1</sub></b>	erste Länge
<b>L'<sub>1</sub></b>	Länge
<b>L<sub>2</sub></b>	zweite Länge
<b>L<sub>3</sub></b>	dritte Länge

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 2778393 A2 [0003]

### Patentansprüche

1. Rotorblatt mit einem Gurt (20) mit einer Mehrzahl an Pultrudatlagen (21, 21a, 22, 23) mit jeweils einer Länge (L) und einer Breite (B), einem Tip (30) und einer Rotorblattwurzel (31), **dadurch gekennzeichnet**, dass schmalere Pultrudatlagen (22, 23 in einer Längsrichtung (L) dichter an den Tip (30) heranreichen als breitere Pultrudatlagen (21, 21a).

2. Rotorblatt nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass breitere Pultrudatlagen (21, 21,a) dichter an die Rotorblattwurzel (31) heranreichen als schmalere Pultrudatlagen (22, 23).

3. Rotorblatt nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass rotorblattaußenseitige Pultrudatlagen (21, 21a) breiter als rotorblattinnenseitige Pultrudatlagen (23) ausgebildet sind.

4. Rotorblatt nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in jedem Querschnitt in Längsrichtung L des Rotorblattes rotorblattaußenseitigen Pultrudatlagen (21, 21a) des Gurtes (20) breiter als die rotorblattinnenseitigen Pultrudatlagen (23) ausgebildet sind.

5. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pultrudatlagen (21a, 21, 22 23) in einem Querschnitt desto schmaler werden oder höchstens die gleiche Breite (B) aufweisen, je rotorblattinnenseitiger sie angeordnet sind.

6. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pultrudatlagen (21, 22, 23) entlang eines Querschnitts aus wenigstens zwei nebeneinanderliegenden Pultrudaten (211, 212, 213, 214, 221, 222, 223, 231, 232) ausgebildet sind.

7. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Anzahl an Pultrudatlagen (21, 21a, 22, 23) in einem Querschnitt in Längsrichtung (L) zum tipseitigen Ende und /oder zum rotorblattwurzelseitigen Ende hin abnimmt.

8. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Querkanten der Pultrudatlagen (21, 21a, 22, 23) an einem tipseitigen und/oder wurzelseitigen Ende zur Rotorblattaußenseite hin abgeschragt ausgeformt sind.

9. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass verschiedene Pultrudate (211, 212, 213, 214, 221, 222, 223, 231, 232) derselben Pultrudatlage (21, 22, 23) unterschiedlich dicht an den Tip (30) heranreichen.

10. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine rotorblattaußenseitige Pultrudatlage (21) eine erste Anzahl an nebeneinander angeordneten Pultrudaten (211, 212, 213, 214) aufweist und eine mittlere Pultrudatlage (22) eine zweite Anzahl an Pultrudaten (221, 222, 223) aufweist und eine rotorblattinnenseitige Pultrudatlage (23) eine dritte Anzahl an Pultrudaten (231, 232) in einem Querschnitt aufweist und die erste Anzahl größer als die zweite Anzahl und die zweite Anzahl größer als die dritte Anzahl ist.

11. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf rotorblattinnenseitige Innenflächen von Pultrudaten (211a, 221) Kerne (36) von Sandwichbauteilen aufgebracht sind.

12. Verfahren zur Herstellung eines Rotorblattes mit einem Gurt, indem, eine schmalere rotorblattinnenseitige Pultrudatlage (23) auf eine breitere rotorblattaußenseitige Pultrudatlage (21) aufgelegt wird und die schmalere rotorblattinnenseitige Pultrudatlage (23) in einer Längsrichtung (L) über die rotorblattaußenseitige Pultrudatlage (21) hinaus zum Tip (30) erstreckt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass Querkanten von Pultrudatlagen am tipseitigen Ende und/oder am rotorwurzelseitigen Ende angeschragt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die schmalere rotorblattinnenseitige Pultrudatlage (23) auf die breitere rotorblattaußenseitige Pultrudatlage (21) aufgelegt wird und die breitere rotorblattaußenseitige Pultrudatlage (21) entgegen der Längsrichtung (L) über die rotorblattinnenseitige Pultrudatlage (23) hinaus zur Rotorblattwurzel (31) erstreckt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 12, 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass an Längskanten von Pultrudatlagen (21, 21a, 22, 23) Kerne (36) von Sandwichbauteilen angeordnet werden.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

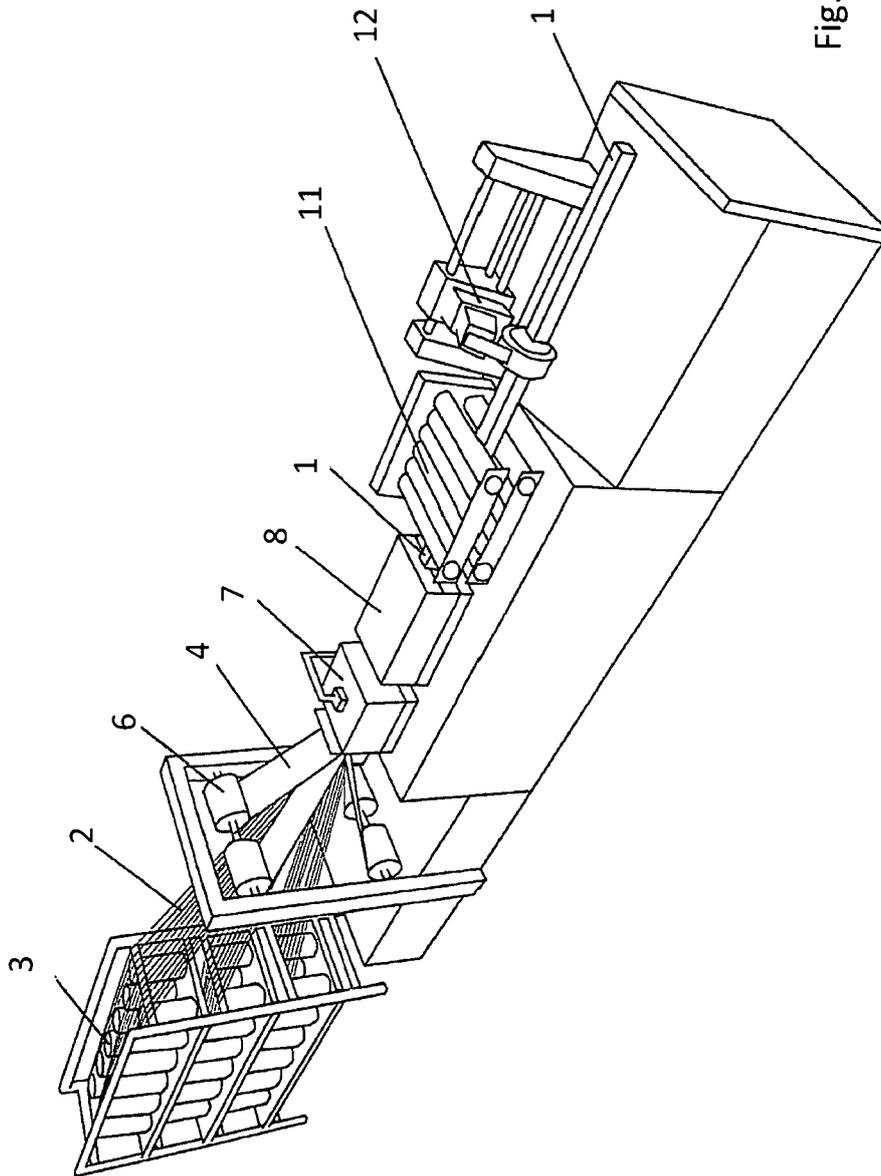


Fig.1

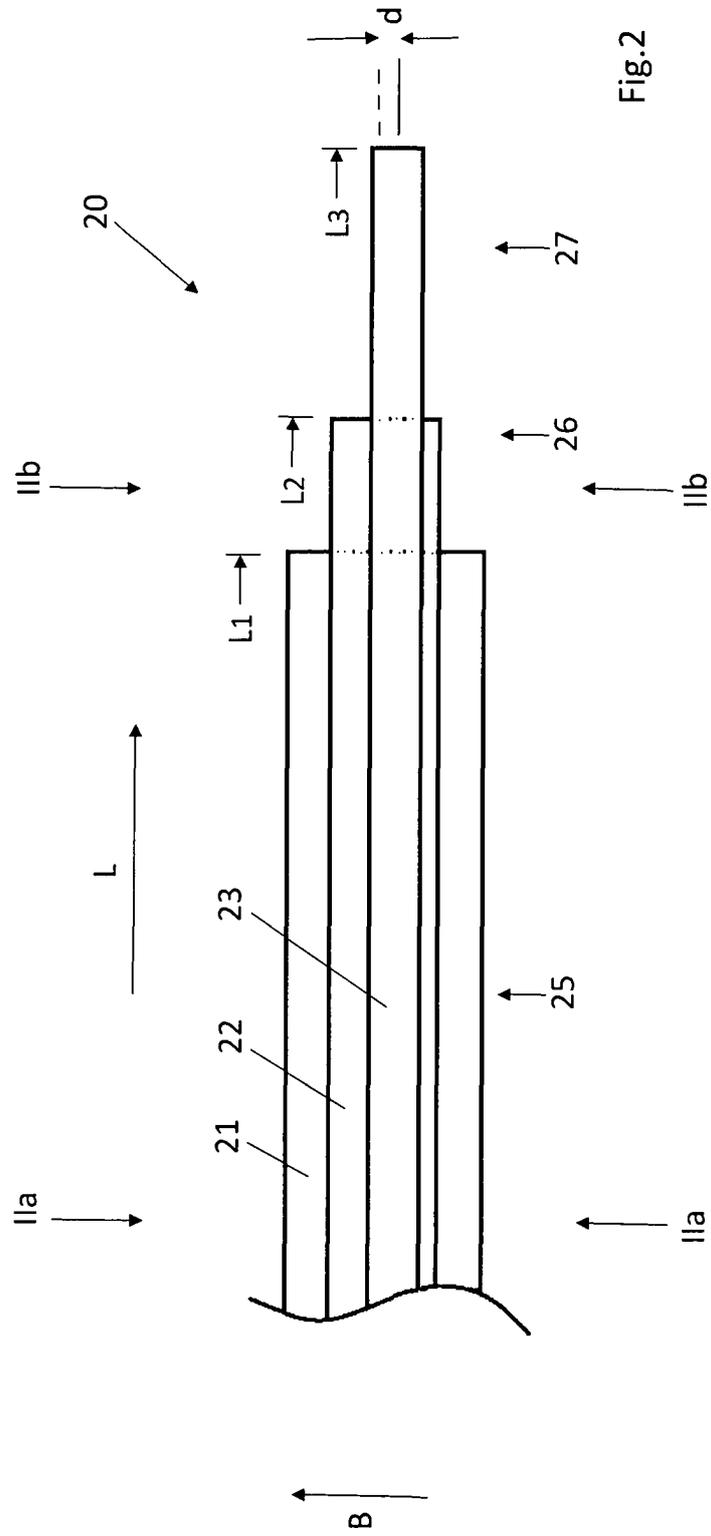
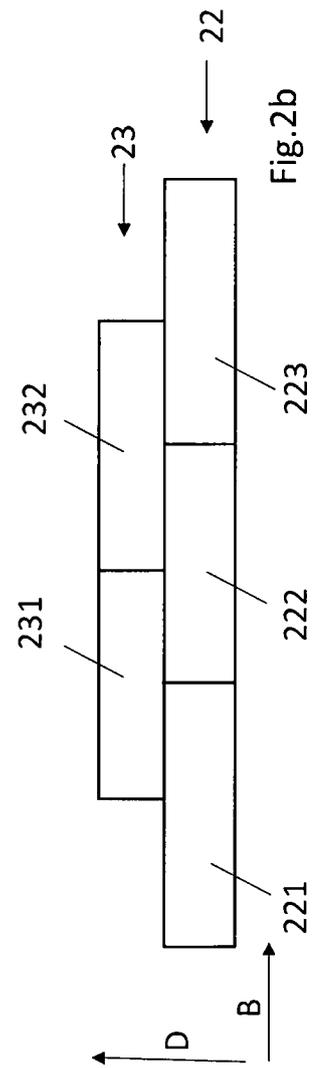
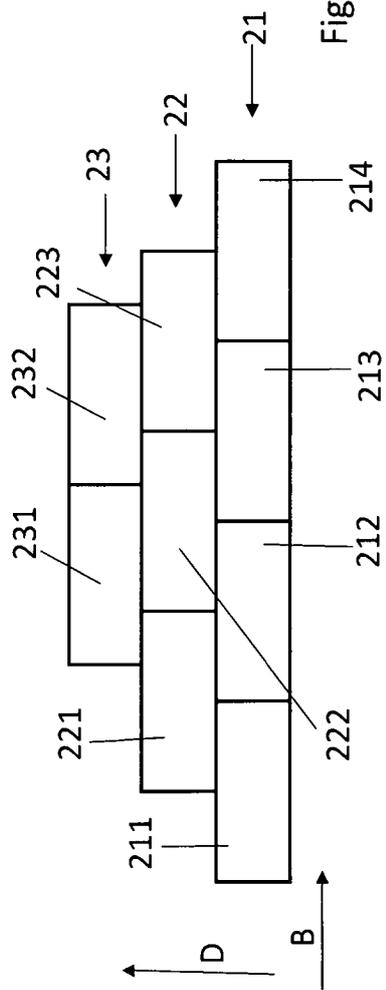


Fig.2



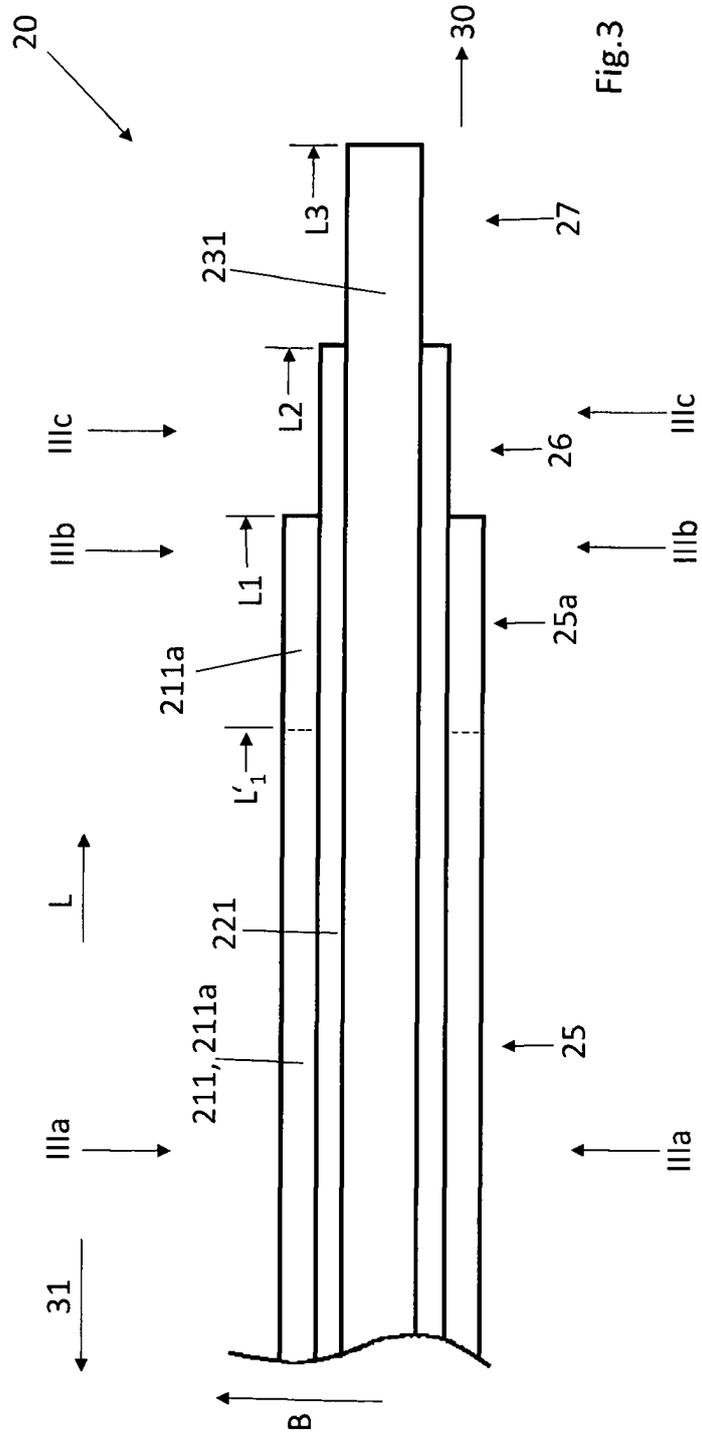


Fig.3

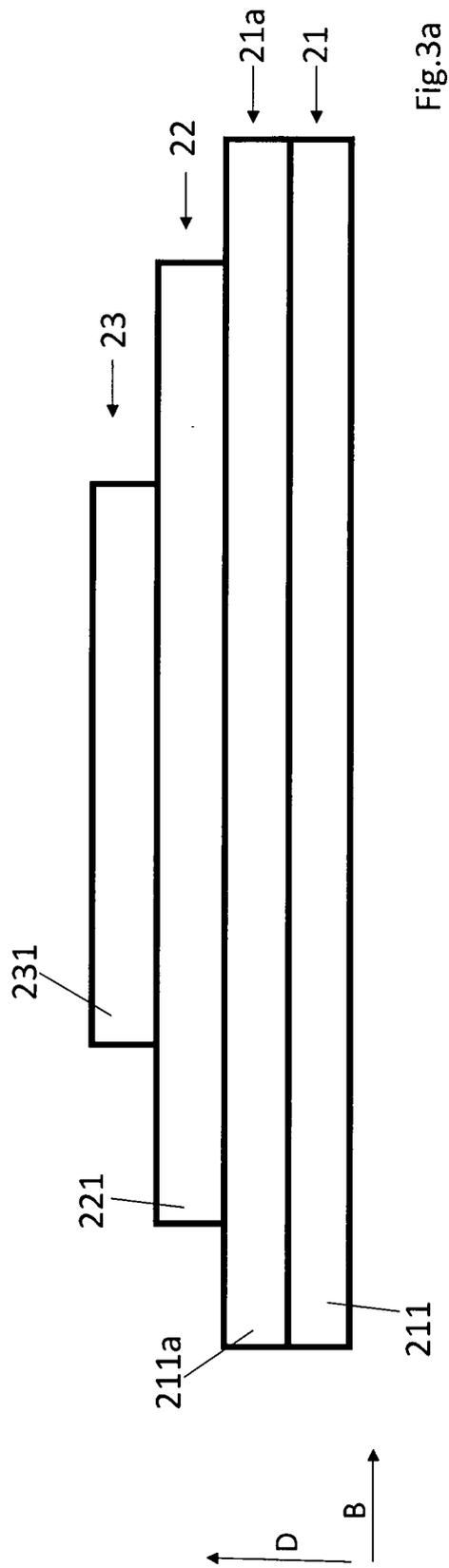


Fig.3a

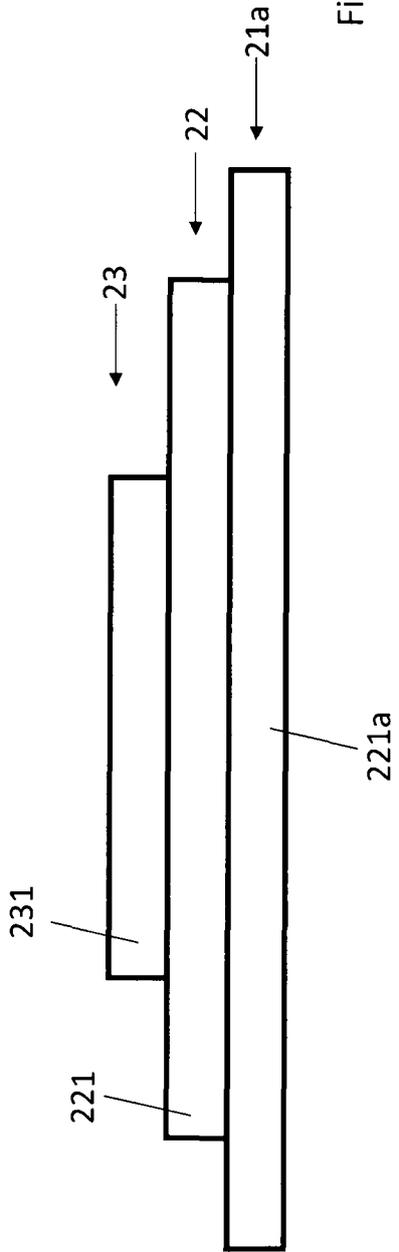


Fig.3b

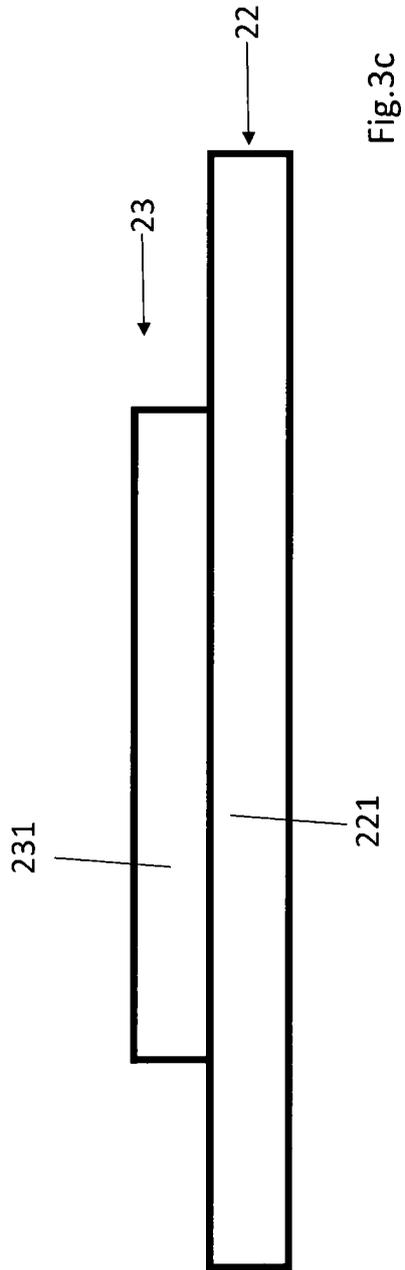
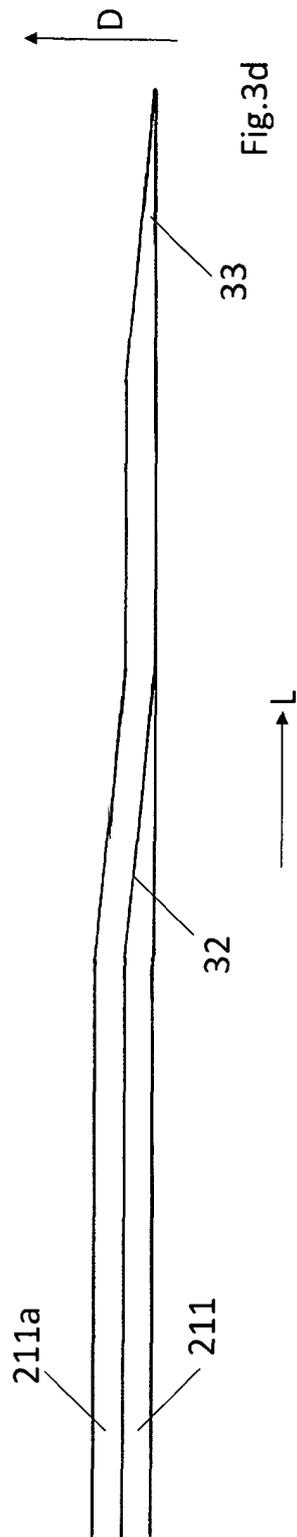


Fig.3c



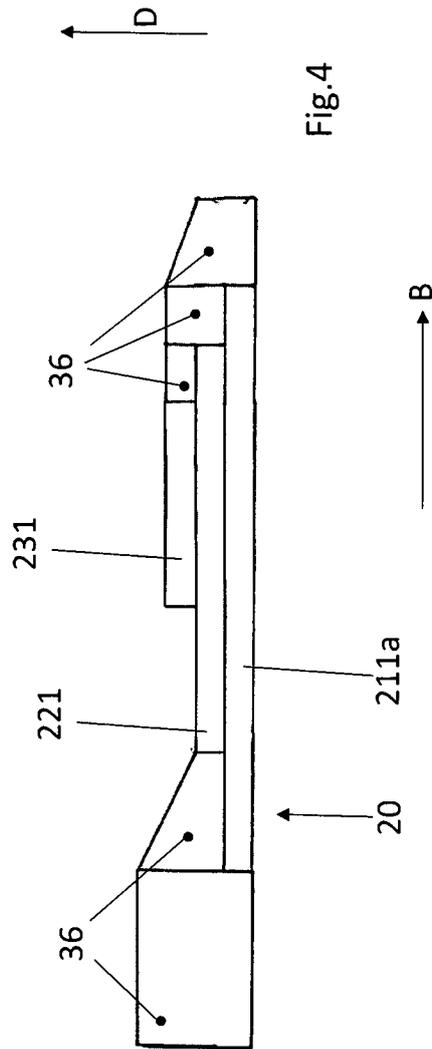


Fig.4