

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50852/2017
(22) Anmeldetag: 05.10.2017
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2020

(51) Int. Cl.: **E04H 12/04** (2006.01)
F03D 13/20 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 3056636 A1
WO 2006079134 A1
DE 665210 C
DE 102013002549 A1

(73) Patentinhaber:
Schmidt Michael
8862 Stadl-Predlitz (AT)

(54) **Turm für eine Windenergieanlage**

(57) Die Erfindung betrifft einen Turm (2) für eine Windenergieanlage (1), wobei zumindest eine Wand des Turmes (2) zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten gebildet ist. Um einen Turm mit erhöhten Tragfähigkeitseigenschaften zu erreichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass zwischen Furnierschichten, mindestens eine Verstärkungsschicht eingefügt ist, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält.

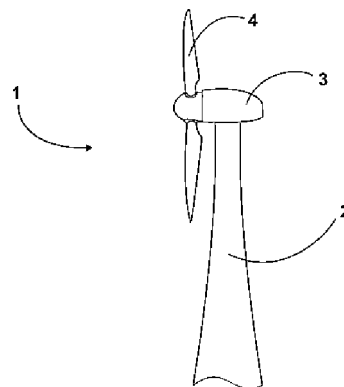


Fig. 1

Beschreibung

TURM FÜR EINE WINDENERGIEANLAGE

[0001] Die Erfindung betrifft einen Turm für eine Windenergieanlage, wobei zumindest eine Wand des Turmes zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten gebildet ist.

[0002] Eine Windenergieanlage umfasst üblicherweise einen an einem oberen Ende eines Turmes angeordneten Rotor mit Rotorblättern, um einer Windströmung mechanische Energie zu entnehmen, sowie einen Generator zur Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie. Der Rotor und eine Maschinengondel, welche den Generator enthält, sind dabei häufig am oberen Ende des Turmes drehbar gelagert, um die Rotorblätter entsprechend einer vorliegenden Windrichtung auszurichten. Nachdem, insbesondere an Land, eine Geschwindigkeit der Windströmung mit einer Höhe zunimmt, besteht eine Funktion des Turmes darin, eine Beabstandung zwischen den Rotorblättern und einem Boden herzustellen, um die Rotorblätter einer Windströmung mit höherer Geschwindigkeit auszusetzen. Der Turm ist dabei in der Regel durch ein Fundament standsicher im Boden verankert. Übliche Turmhöhen reichen dabei von wenigen Metern bis zu mehreren hundert Metern, je nach örtlichen Bedingungen und zu erreichenden elektrischen Leistungen.

[0003] Der Turm muss dabei im Betrieb einerseits ein Gewicht von Rotor und Maschinengondel tragen und andererseits einer üblicherweise als horizontale Kraft wirkenden Windlast widerstehen, welche hohe Biegemomente, insbesondere an einem unteren Ende des Turmes, bewirkt. Zur Erfüllung dieser Anforderungen werden in der Regel Stahlschalentürme eingesetzt, welche aus Stahlringsegmenten bestehen, die vertikal übereinandergesetzt und mit Flanschverbindungen verbunden werden. Bei hohen Türmen werden des Weiteren sogenannte Hybridtürme eingesetzt, deren unterer Teil aus Beton gebildet ist und anschließend in einen Stahlschalenturm übergeht.

[0004] Als vorteilhafte Alternative hat sich zudem die Verwendung von Holz als Konstruktionsmaterial zum Bau von Windenergietürmen herausgestellt, da dieses einen Transport und einen Zusammenbau von Konstruktionsteilen erleichtert, eine große Ermüdungsfestigkeit aufweist und darüber hinaus vollständig recyclebar ist. Auch eine mit dem Einsatz von Holz verbundene niedrige CO₂-Bilanz wird zunehmend zu einem relevanten Kriterium, welches beim Bau von Türmen für Windenergieanlage berücksichtigt wird. Eine Tragfähigkeit von Holzturmkonstruktionen ist häufig dadurch limitiert, dass an lokalen Inhomogenitäten im Holzmaterial Spannungsüberhöhungen auftreten. Dadurch bilden diese Inhomogenitäten, wie beispielsweise Holzfehler, Ausgangspunkte für Rissbildungen, die sich im anhaltenden Belastungsfall weiter in der Materialstruktur ausbreiten und damit eine Festigkeit, insbesondere eine Biegefestigkeit, und Steifigkeit des Holzturmes herabsetzen. Ein inhomogenes Quell- und Schwindverhalten von Holz, vor allem bei feuchtigkeitswechselnder Umgebung, verstärkt eine Rissausbreitung zusätzlich.

[0005] Mit Holz gefertigte Türme für Windenergieanlagen sind beispielsweise in den Dokumenten WO 2006/079134 A1, DE 665210 C oder DE 10 2013 002 549 A1 gezeigt. Das Dokument EP 3 056 636 A1 offenbart einen Turm für eine Windkraftanlage, welcher mit ringförmigen Segmenten, gebildet mit Anordnungen von Furnierlagen und Holzplatten, ausgeführt ist.

[0006] Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, einen Turm der eingangs genannten Art anzugeben, bei welchem die Tragfähigkeitseigenschaften, insbesondere Festigkeit und/oder Steifigkeit, erhöht sind.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass bei einem Turm der eingangs genannten Art zwischen Furnierschichten mindestens eine Verstärkungsschicht eingefügt ist, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält.

[0008] Durch zumindest teilweise Bildung einer Wand des Turmes mit mehreren Furnierschichten ist eine Homogenisierung eines Wandmaterials erreicht. Dadurch ist im Belastungsfall ei-

nerseits eine Rissbildung reduziert, da größere Inhomogenitäten in einer Materialstruktur innerhalb einer Furnierschichtabfolge unterbunden sind und andererseits eine Rissausbreitung gehemmt, da eine Abfolge von mehreren Furnierschichten ein Hindernis für einen bereits entstandenen Riss darstellt. Indem Bereiche einer Wand des Turmes, insbesondere Bereiche in denen im Belastungsfall Kraftspitzen auftreten können, mit Furnierschichten gebildet sind, wird die Tragfähigkeit und im Besonderen die Festigkeit und/oder Steifigkeit des Turmes erhöht. Die Wand des Turmes kann dabei großteils oder vollständig aus Furnierschichten gebildet sein, die Furnierschichten können aber auch je nach Anforderung nur gezielt an bestimmten, insbesondere belasteten, Stellen der Wand angeordnet sein. Weiter können dabei mehrere nicht direkt aneinandergrenzende Abfolgen von Furnierschichten in der Wand auch nicht parallel zueinander ausgerichtet sein. Dies ermöglicht eine Beeinflussung der Steifigkeit, insbesondere der Biegesteifigkeit der Wand bzw. eines Bereiches der Wand und damit eine weitere Abstimmung der Wand auf den Belastungsfall. Die zumindest teilweise Bildung einer Wand des Turmes durch mehrere verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten ermöglicht es, mit einer Zunahme der Höhe des Turmes entstehenden Anforderungen an Statik und Materialbelastbarkeit bei gleichzeitig reduziertem Materialaufwand gerecht zu werden.

[0009] Um die oben genannten Vorteile zu erreichen, ist eine einzelne Furnierschicht vorzugsweise mit einer Dicke von weniger als 8 mm ausgebildet, bevorzugt mit einer Dicke zwischen 0,2 mm und 6 mm, besonders bevorzugt mit einer Dicke zwischen 0,5 mm und 3 mm, insbesondere ca. 1 mm. Eine robuste Verbindung der Furnierschichten miteinander erfolgt üblicherweise mittels Klebstoff bzw. einer Klebstoffschicht. Zweckmäßig wird hierzu Leim, vorzugsweise Kunstharzleim oder Polyurethanleim, welcher auch als PU-Leim bezeichnet wird, verwendet. Abhängig vom späteren Anwendungszweck können aber auch Gips oder Zement als Material für eine Verbindungsschicht zwischen Furnierschichten geeignet sein. Die Furnierschichten können dabei je nach gewünschten Materialeigenschaften, insbesondere einer zu erreichenden Steifigkeit, bezüglich deren Holzfaserrichtungen parallel zueinander oder unter einem Winkel zueinander verbunden sein. Besonders bevorzugt ist dabei eine abwechselnd kreuzweise Ausrichtung der Holzfaserverläufe der Furnierschichten, bei welcher der Holzfaserverlauf einer Furnierschicht zur nächstfolgenden einen Winkel von etwa 90° einschließt und sich dieses Anordnungssystem entlang der nächstfolgenden Furnierschichten analog fortsetzt. Dies ermöglicht einerseits das Quell- und Schwindverhalten des Holzes einzuschränken, und andererseits eine richtungsabhängige Bruchfestigkeit zu beeinflussen. Dabei ist es zweckmäßig, wenn die beiden äußeren Furnierschichten einer Abfolge von miteinander verbundenen Furnierschichten parallel zueinander ausgerichtete Holzfaserverläufe aufweisen, um ein Verziehen zu vermeiden. Die Furnierschichten können aus unterschiedlichen Holzarten, beispielsweise Buche, Birke, Fichte oder Lärche, bestehen und damit die verschiedenen dem Fachmann bekannten Eigenschaften von verschiedenen Holzarten miteinander kombinieren. Voneinander durch Massiv Elemente bzw. Massivmaterial getrennte Furnierschichten können dabei auch nicht parallel zueinander ausgerichtet sein, d. h. unterschiedliche Winkel zwischen Furnierschichtflächen und Lagenaußenfläche aufweisen, um eine Bruchfestigkeit gezielt einzustellen. Besonders bevorzugt für eine effiziente Kraftableitung ist dabei eine Ausrichtung der Furnierschichtflächen parallel oder senkrecht zur Wandaußenfläche.

[0010] Es hat sich bewährt die Wand des Turmes derart auszubilden, dass diese zumindest teilweise aus zumindest einem mehrlagigen Holzverbundelement gebildet ist, wobei zumindest eine Lage des Holzverbundelementes zumindest teilweise durch mehrere, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten gebildet ist. Holzverbundelemente bestehen üblicherweise aus mehreren Lagen, welche darauf ausgerichtet sind, verschiedene funktionelle Zielsetzungen und/oder Materialeigenschaften zu kombinieren. Hierzu können beispielsweise bestimmte Bereiche des Holzverbundelementes ausgebildet sein, um Druckkräfte aufzunehmen und andere Bereiche des Holzverbundelementes, um Zugkräften entgegenzuwirken. Insbesondere durch die Kombination von unterschiedlichen Materialien, mit entsprechend unterschiedlichen Eigenschaften, kann das Holzverbundelement gezielt auf den späteren Einsatzzweck abgestimmt werden. Indem die Wand des Turmes zumindest teilweise aus mehrlagigen Holzverbundelementen gebildet ist, können damit unterschiedliche Materialeigenschaften gezielt kombiniert

werden und eine Wand modulartig mit auf den Einsatzzweck abgestimmten Einzelementen aufgebaut werden. Die zumindest teilweise Ausbildung einer Lage der Holzverbundelemente durch mehrere, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten kombiniert zudem die oben genannten Vorteile von Furnierschichtabfolgen mit den Materialeigenschaften der weiteren Lagen der Holzverbundelemente, wodurch auf konstruktiv einfache Weise eine auf den jeweiligen Belastungsfall abgestimmte Wand errichtet werden kann.

[0011] Einzelne Elemente des Turmes bzw. der Wand des Turmes werden bevorzugt miteinander verklebt, um diese beständig zu verbinden. Zweckmäßig wird hierzu Leim, vorzugsweise Kunstharzleim oder Polyurethanleim, auch bezeichnet als PU-Leim, verwendet. Abhängig vom späteren Anwendungszweck können aber auch Gips oder Zement als Material für ein robustes Verbinden von Wandelementen zweckmäßig sein. Alternativ oder zusätzlich kann es günstig sein, ein kraft- bzw. formschlüssiges Verbinden von Wandelementen mit üblichen, dem Fachmann bekannten Verbindungsmittel vorzusehen, um die Wandelemente nachhaltig zu verbinden. Dies kann etwa mit Dübel, Bolzen und/oder Nut-Feder-Verbindungen erfolgen.

[0012] Eine Lage des Holzverbundelementes kann dabei großteils oder vollständig aus Furnierschichten gebildet sein; die Furnierschichten können aber auch je nach Anforderung nur gezielt an bestimmten, insbesondere belasteten Stellen einer Lage eingebracht sein. Weiter können dabei mehrere nicht direkt aneinandergrenzende Abfolgen von Furnierschichten innerhalb einer Lage auch nicht parallel zueinander angeordnet sein. Dies ermöglicht eine Beeinflussung der Steifigkeit, insbesondere der Biegesteifigkeit, der Lage und damit eine weitere Abstimmung des Holzverbundelementes auf den Belastungsfall.

[0013] In einer besonders bevorzugten Variante sind eine oder mehrere Lagen des Holzverbundelementes vollständig mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten Furnierschichten gebildet. Wenn eine Lage vollständig aus Furnierschichten gebildet ist, sind die Materialeigenschaften innerhalb der gesamten Lage homogenisiert und größere Holzfehler im Material vermieden. Außerdem sind die Auswirkungen von verbleibenden Inhomogenitäten nur gehemmt wirksam. Abhängig vom Winkel, welchen die Furnierschichtflächen mit einer Lagenaußenfläche bilden, können die Materialeigenschaften der Lage, etwa Festigkeit, insbesondere Bruchfestigkeit und Steifigkeit festgelegt werden und damit auf ein gesamtes Tragfähigkeitsverhalten des Holzverbundelementes gezielt Einfluss genommen werden.

[0014] Ein weiterer Vorteil einer zumindest teilweise mit mehreren Furnierschichten gebildeten Lage liegt darin, die im Fall der Belastung auf die Außenfläche der Lage wirkenden Kräfte gezielt innerhalb der Lage ableiten zu können. Hierzu können die einzelnen Furnierschichten auch mit unterschiedlichen Dicken ausgebildet sein bzw. die Furnierschichtdicken innerhalb und/oder zwischen den Lagen variieren. Die Furnierschichten können, je nach Anforderung und voraussichtlicher späterer Belastung, unter verschiedenen Winkeln zu einer Lagenaußenfläche angeordnet sein. Besonders bevorzugt für eine effiziente Kraftableitung ist eine Furnierschichtflächenausrichtung parallel oder vertikal zur Lagenaußenfläche.

[0015] Durch zumindest teilweise Bildung einer Lage mit Furnierschichten wird zudem die Formgestaltung einer Lage vereinfacht, da mittels Furnierschichtungen einfach Krümmungen, insbesondere solche mit kleinem Krümmungsradius, gebildet werden können. Damit ist es möglich, die Form des Holzverbundelementes schon frühzeitig auf den späteren Verwendungszweck hin abzustimmen.

[0016] Bevorzugt ist es, wenn zumindest eine Lage des Holzverbundelementes zumindest teilweise aus Massivmaterial, insbesondere Vollholz oder Beton, gebildet ist. Dadurch ist eine gegen Druck stabile Lage geschaffen. Die Verwendung von Vollholz bietet zudem die Möglichkeit einer späteren Nachbearbeitung bzw. Aufbereitung der Oberfläche der Lage, wodurch auch ästhetischen Anforderungen Rechnung getragen wird. Massivelemente können dabei je nach Belastungsanforderungen etwa als Vollholz und/oder Beton und/oder Metall ausgebildet sein.

[0017] Ist eine Lage zumindest teilweise aus Beton gebildet, ist ein besonders widerstandsfähiger Druckbereich geschaffen, der bezüglich seiner spezifischen Eigenschaften gezielt einge-

stellt werden kann. Je nach Anforderungen können hierzu die dem Fachmann bekannten Betonsorten und Varianten verwendet werden, etwa Stahlbeton, Faserbeton, Splittbeton usw., und damit auf den Einsatzzweck des Holzverbundelementes abgestimmt werden. Ein besonders stabiler Verbund zwischen mehreren Lagen des Holzverbundelementes ist gegeben, wenn eine Lage mit Beton und Furnierschichten gebildet ist. In einer bevorzugten Variante sind die Furnierschichten einer Lage als Verlängerung von zumindest einer, bevorzugt mehreren, Furnierschichten einer angrenzenden Lage gebildet, wodurch Kräfte lagenübergreifend abgeleitet werden können. Vor allem wenn eine Vielzahl von Furnierschichten einer Lage bis in eine aus Beton gebildeten angrenzenden Lage ragt, bevorzugt nach einem regelmäßigen Ordnungssystem, wird eine Verzahnung zwischen den Lagen geschaffen, welche hohe Stabilität und Kräfteausgleich ermöglicht.

[0018] Vorteilhaft ist es, wenn zumindest eine Lage des Holzverbundelementes mit einer, vorzugsweise miteinander verklebten, Aneinanderreihung von Massivelementen und Furnierschichten gebildet ist. Dies stellt einen Kompromiss zwischen einer Variante, in der eine Lage aus Massivmaterial wie beispielsweise Vollholz besteht, und einer Variante, in der eine Lage vollständig aus Furnierschichten gebildet ist, dar und ermöglicht eine Kombination der Eigenschaften der Massivelemente mit den Vorteilen einer Furnierschichtabfolge. Sowohl die einzelnen Massivelemente als auch das Furnierschichtholz können dabei aus unterschiedlichen Holzarten, beispielsweise Buche, Birke, Fichte oder Lärche, bestehen und damit die verschiedenen dem Fachmann bekannten Eigenschaften der Holzarten miteinander kombinieren. Voneinander durch Massivelemente getrennte Furnierschichten können dabei auch nicht parallel zueinander ausgerichtet sein, d. h. unterschiedliche Winkel zwischen Furnierschichtflächen und Lagenaußenfläche aufweisen, um damit die Festigkeit und/oder Steifigkeit gezielt zu beeinflussen. Vorteilhaft kann es sein, wenn einzelne oder mehrere Massivelemente mit Vollholz und/oder Beton und/oder Metall gebildet sind und damit auf den Einsatzzweck des Holzverbundelementes abgestimmt werden. Zweckmäßig kann es sein, eine der Lagen vollständig aus Massivmaterial gebildet sein, um einen besonders massiven und belastbaren Druckbereich zu schaffen.

[0019] Günstig ist es, wenn zumindest eine Lage des Holzverbundelementes zumindest teilweise aus Brettschichtholz oder Brettsperrholz gebildet ist. Brettschichtholz und/oder Brettsperrholz weisen weit höhere Tragfähigkeitswerte als Vollholz auf, wodurch die Lage mit einer geringeren Dicke ausgebildet werden kann. Je nach Ausrichtung der Holzfaserrichtungen können dabei unterschiedliche Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften festgelegt werden. Insbesondere Brettsperrholz ermöglicht eine Beeinflussung der elastomechanischen Eigenschaften der Lage und damit eine Beeinflussung des Schwingungsverhaltens des Holzverbundelementes. Indem die Holzfaserausrichtung der Brettsperrholzelemente nicht parallel verläuft, wird das Quell- und Schwindverhalten des Holzes eingeschränkt. Weiter können dadurch außerdem die richtungsabhängigen Eigenschaften des Holzes im Vergleich zu einer Bildung der Lage aus Vollholz isotroper gestaltet werden. Besonders bevorzugt ist dabei eine abwechselnd kreuzweise Ausrichtung von Holzfaserverläufen, bei welcher der Faserverlauf eines Brettsperrholzelements zum nächstfolgenden einen Winkel von etwa 90° einschließt und sich dieses Anordnungssystem entlang von nächstfolgenden Brettsperrholzelementen analog fortsetzt. Dabei ist es zweckmäßig wenn die beiden äußeren Brettsperrholzelemente einer Abfolge von miteinander verbundenen Brettsperrholzelementen parallel zueinander ausgerichtete Holzfaserverläufe aufweisen, um ein Verziehen zu vermeiden. Dies ermöglicht einerseits das Quell- und Schwindverhalten des Holzes einzuschränken und andererseits eine richtungsabhängige Bruchfestigkeit zu beeinflussen. Eine isotropere Verteilung der Eigenschaften wird entsprechend dadurch erreicht, dass mehrere aufeinanderfolgende Brettsperrholzelemente eine unregelmäßige Ausrichtung bezüglich ihrer Holzfaserausrichtungen aufweisen.

[0020] Zumindest eine Lage kann zumindest teilweise auch mit Holzspanwerkstoffen und/oder mindestens einer Faserplatte gebildet sein. Diese zeichnen sich durch isotrope Materialeigenschaften aus und entsprechend auch ein richtungsunabhängiges Quell- und Schwindverhalten. Je nach Dichte der verwendeten Holzspanwerkstoffe bzw. Faserplatten ist ein Kompromiss

zwischen Stabilität und Gewicht ermöglicht und kann außerdem auf etwaige Anforderungen bezüglich eines Dämmverhaltens des Holzverbundelements Rücksicht genommen werden.

[0021] Von Vorteil ist es, wenn das Holzverbundelement eine erste Lage als Zugbereich und eine zweite Lage als Druckbereich umfasst, wobei die erste Lage und zweite Lage durch eine dritte Lage voneinander beabstandet sind und die erste Lage und/oder die zweite Lage zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten, Furnierschichten gebildet sind. Eine Beabstandung der ersten Lage von der zweiten Lage durch eine dritte Lage ermöglicht ein differenziertes Abstimmen der jeweiligen Bereiche des Holzverbundelementes auf die im Belastungsfall wirkenden Kräfte. Die dritte Lage ist dabei als Bereich zu verstehen, der sich durch dessen Materialzusammensetzung und/oder Eigenschaften von der ersten Lage und zweiten Lage unterscheidet. Zweckmäßig stellt dabei die dritte Lage bezüglich deren Materialzusammensetzung und/oder Eigenschaften einen Übergangsbereich zwischen jenen der ersten Lage und der zweiten Lage dar, um ein kontinuierliches Ableiten der Kräfte lagenübergreifend zu ermöglichen. Indem die erste Lage und/oder die zweite Lage zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten, Furnierschichten gebildet sind, sind jene Bereiche, in denen im Belastungsfall Kraftspitzen auftreten können, mit Furnierschichten gebildet, wodurch die Tragfähigkeit und im Besonderen die Festigkeit und/oder Steifigkeit der Gesamtstruktur des Holzverbundelementes erhöht ist.

[0022] Günstig ist es hierbei, wenn die dritte Lage aus einem Material besteht, welches sowohl für gemäßigte Druckbelastung als auch für gemäßigte Zugbelastung geeignet ist. Dies ermöglicht ein spezialisiertes Abstimmen der ersten Lage und der zweiten Lage auf die jeweils einwirkenden Kräfte, während die dritte Lage auf die Verteilung der Kräfte im Volumen des Holzverbundelementes Einfluss nimmt. Zusätzlich kann mit der dritten Lage außerdem auf weitere auf den Einsatzzweck abgestimmte Erfordernisse, wie Wärmedämmung, Schallschutz usw., abgestimmt werden. Hierzu kann die dritte Lage mit Vorteil aus Holzfasermaterial oder Holzspanmaterial gebildet sein.

[0023] Die erste und/oder zweite Lage kann dabei entsprechend den verschiedenen in dieser Patentanmeldung dargestellten Möglichkeiten eine Lage auszubilden und mit den entsprechenden Vorteilen aufgebaut sein. Dies gilt analog für die Furnierschichten des Holzverbundelementes, welche gemäß den verschiedenen in dieser Patentanmeldung dargestellten Varianten ausgebildet bzw. ausgerichtet sein können.

[0024] In einer bevorzugten Variante ist die zweite Lage teilweise mit Beton gebildet. Dadurch ist ein besonders widerstandsfähiger Druckbereich geschaffen, der bezüglich seiner spezifischen Eigenschaften gezielt eingestellt werden kann. Ein besonders stabiler Verbund zwischen den Lagen ist gegeben, wenn die dritte Lage mit Beton und Furnierschichten gebildet ist. In einer bevorzugten Variante sind die Furnierschichten der dritten Lage als Verlängerung von zumindest einer, bevorzugt mehreren Furnierschichten der ersten Lage gebildet, wodurch Kräfte lagenübergreifend abgeleitet werden können. Vor allem wenn eine Vielzahl von Furnierschichten der ersten Lage bis in die dritte Lage ragt, bevorzugt nach einem regelmäßigen Ordnungssystem, wird eine Verzahnung zwischen den Lagen geschaffen, welche hohe Stabilität und Kräfteausgleich ermöglicht.

[0025] Günstig ist es, wenn die dritte Lage mit Brettschichtholz oder Brettsperrholz gebildet ist. Bezüglich der Tragfähigkeitseigenschaften kann es zwar ausreichend sein die dritte Lage aus Vollholz zu bilden, Brettschichtholz und/oder Brettsperrholz weisen jedoch weit höhere Tragfähigkeitswerte auf, wodurch die dritte Lage mit geringeren Dicken ausgebildet werden kann.

[0026] Vorteilhaft ist es, wenn zumindest ein Holzverbundelement als Hohlstruktur ausgebildet ist. Dadurch kann auf die einander entgegenstehenden Erfordernisse von einerseits hoher Tragfähigkeit, bei andererseits gleichzeitig geringem Gewicht abgestellt werden. Ein guter Kompromiss zwischen der Tragfähigkeit und dem Gewicht des Holzverbundelementes kann erreicht werden, indem dessen Hohlraumanteil soweit vergrößert wird, dass nur noch ein Stützskelett in Form von Stegen übrig ist, welches zwei Lagen verbindet. Bevorzugt ist das Holzverbundelement hierzu als Profil ausgebildet, umfassend eine erste Lage und eine zweite

Lage, die unter Bildung einer Hohlstruktur durch zumindest einen Steg, bevorzugt durch mehrere Stege, verbunden sind, wobei die erste Lage und/oder die zweite Lage des Profils zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten Furnierschichten gebildet ist. Hierdurch ist ein optimiertes Tragfähigkeits-Gewicht-Verhältnis mit den vorgenannten Vorteilen einer zumindest teilweisen Bildung einer Lage mit Furnierschichten kombiniert.

[0027] Die erste und/oder zweite Lage des Profils können dabei entsprechend den verschiedenen in dieser Patentanmeldung dargestellten Möglichkeiten eine Lage auszubilden und mit den entsprechenden Vorteilen aufgebaut sein. Dies gilt analog für die Furnierschichten bzw. Anordnungen von Furnierschichten des Holzverbundelementes, welche gemäß den verschiedenen in dieser Patentanmeldung dargestellten Varianten ausgebildet bzw. ausgerichtet sein können.

[0028] Zweckmäßig ist es, wenn zumindest ein Steg an zumindest einem Ende in eine Nut oder Falz der ersten Lage oder zweiten Lage des Profils ragt und dort mit der Lage verbunden ist. Durch Verbinden der Lagen des Profils mittels Stegen, indem in die Lagen Nuten oder Falze eingebracht sind, die Stege in diese Nuten oder Falze ragen und dort mit den Lagen verbunden sind, wird ein durchgehendes Bauelement in Form eines Profils geschaffen. Eine derartige Verbindung ist sowohl nur bei einzelnen Stegen als auch nur einseitig an einem Steg möglich, besonders bevorzugt jedoch an mehreren Stegen und an beiden Lagen. Die auf diese Weise mit den Lagen verbundenen Stege sind bevorzugt innerhalb der Nuten oder Falze mittels Klebstoff mit den Lagen verbunden, wodurch eine haltbare Verbindung geschaffen ist.

[0029] Vorteilhaft kann es sein, einen oder mehrere Stege mit Vollholz und/oder Beton und/oder Metall zu bilden, wodurch insbesondere auf die Steifigkeit und Bruchfestigkeit des Profils Einfluss genommen werden kann.

[0030] In einer bevorzugten Variante reicht zumindest ein Steg mit zumindest einem Ende, bevorzugt beiden Enden, bis an eine Außenfläche der ersten Lage und/oder zweiten Lage des Profils und schließt bündig mit der Außenfläche der Lage ab. Dadurch ist ein derart ausgeführter Steg großflächig an den Seitenflächen seines Endes mit der Lage verbindbar und eine besonders stabile Verbindung herstellbar. Die Seitenflächen des Endes des Steges sind für eine feste Verbindung bevorzugt mittels Klebstoff bzw. einer Klebstoffschicht mit dem angrenzenden Lageelement verbunden. Indem ein Steg bis an die Außenfläche der Lage reicht, mit welcher der Steg derart verbunden ist, wird der Steg damit zum integralen Bestandteil dieser Lage und ermöglicht ein zuverlässiges Ableiten der auftretenden Kräfte im Belastungsfall. In einer zweckmäßigen Variante sind besonders belastete Stege auf diese Weise mit den Lagen verbunden, insbesondere alle Stege, wodurch die Lagen und Stege zu einem stabilen Bauelement vereint sind.

[0031] Besonders bevorzugt ist es, wenn zumindest ein Steg aus mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten Furnierschichten gebildet ist. Dadurch ist analog zu den Vorteilen, die sich aus einer zumindest teilweisen Bildung der Lagen aus Furnierschichten ergeben, eine Homogenisierung des Stegmaterials erreicht, wodurch Festigkeit, insbesondere Bruchfestigkeit und Steifigkeit der Stege verbessert sind und damit im Belastungsfall ein effizientes Ableiten der Kräfte erreicht wird. Weiter ist durch die Bildung der Stege aus mehreren verbundenen Furnierschichten eine einfache Formgestaltung der Stege ermöglicht, da beispielsweise Ausprägungen mit Krümmungen durch Furnierschichten einfach umgesetzt werden können. Die Furnierschichten bzw. Abfolgen von Furnierschichten können dabei gemäß den vorgenannten vorteilhaften Möglichkeiten angeordnet bzw. ausgerichtet sein.

[0032] Die aus Furnierschichten gebildeten Stege können dabei aus einer anderen Holzart als die Furnierschichten der Lagen gebildet sein und auch die Stege untereinander können sich in der Holzart ihrer Furnierschichten unterscheiden. Damit können die Anforderungen an Festigkeit und Steifigkeit des Profils weiter auf den Einsatzzweck abgestimmt werden.

[0033] Von Vorteil ist es auch, wenn zumindest ein Steg, bevorzugt mehrere Stege, als Verlängerung von quer zu den Lageninnenflächen ausgerichteten Furnierschichtflächen der ersten Lage und/oder zweiten Lage des Profils gebildet sind und einen integralen Bestandteil der

Furnierschichtflächen der ersten Lage und/oder zweiten Lage des Profils darstellen. Indem die Furnierschichten eines Steges als Teil der Furnierschichten einer oder beider Lagen gebildet sind, fusionieren die Einzelelemente Steg und eine oder mehrere Lagen zu einer Einheit, wodurch ein besonders effizientes Ableiten der einwirkenden Kräfte im Belastungsfall erreicht wird. An besonders belasteten Stellen der Profilstruktur können Stege derart mit der oder den Lagen des Profils verbunden sein; in einer bevorzugten Variante sind alle Stege mit beiden Lagen des Profils derart fusioniert und damit ein besonders kompaktes Profil geschaffen. In einer besonders bevorzugten Variante sind sowohl die beiden Lagen des Profils, als auch sämtliche Stege aus Furnierschichten gebildet und die Stege als Verlängerung der Furnierschichten der Lagen des Profils ausgebildet, wodurch ein besonders belastbares Profil gebildet ist.

[0034] Es hat sich bewährt, dass Profilseitenflächen durch Stege gebildet sind, welche bündig mit den Seitenflächen der Lagen abschließen oder an den Seitenflächen der Lagen angebracht sind und mit den Außenflächen der Lagen bündig abschließen. Dadurch ist eine Profilseitenfläche kantenfrei ausgebildet und ein lückenloses Aneinanderreihen und großflächiges Verbinden, bevorzugt durch Verkleben, mehrerer Profile zu einem Konstruktionselement möglich.

[0035] Zweckmäßig ist es, wenn im Profilquerschnitt die erste Lage und zweite Lage unterschiedliche Längen aufweisen und die erste Lage und zweite Lage durch die Stege derart miteinander verbunden sind, dass die erste Lage und zweite Lage zentriert zueinander ausgerichtet sind, wobei Profilseitenflächen spiegelsymmetrisch zueinander geformt sind. Die zentrierte Ausrichtung der Lagen bei gleichzeitiger Spiegelsymmetrie der Profilseitenflächen ermöglicht es, Profile nebeneinander anzuordnen und infolge zu einem Konstruktionselement zu verbinden. Indem ein Profil um 180° bei einer Drehachse normal zur Profilquerschnittsfläche gedreht wird, d. h. der Profilquerschnitt so gedreht wird, dass die obere Lage nun unten und die untere Lage nun oben liegt, ergibt sich eine Profilform, die sich lückenlos an eine ursprünglich ausgerichtete Profilform anschließen lässt. Damit ist eine Anordnung möglich, bei welcher abwechselnd erste Lage an zweite Lage und umgekehrt aneinander anschließen und die Profilseitenflächen lückenlos und einander stabilisierend aufeinander aufliegen. Im Belastungsfall wirken dadurch angrenzende Profile als zusätzliche stabilisierende Elemente und nehmen einen Teil der wirkenden Kräfte profilübergreifend auf.

[0036] In einer günstigen Variante sind dabei im Profilquerschnitt die Enden der Stege in regelmäßigen Abständen an der ersten Lage des Profils und in regelmäßigen Abständen an der zweiten Lage des Profils verbunden, wobei die Abstände zwischen den Enden der ersten Lage des Profils nicht mit den Abständen zwischen den Enden der Stege an der zweiten Lage des Profils übereinstimmen, wodurch eine nicht parallele Anordnung der Stege verwirklicht ist. Durch die nicht parallele Anordnung der Stege, welche jedoch in regelmäßigen Abständen an sowohl die erste als auch die zweite Lage des Profils anknüpfen, obwohl die Lagen unterschiedliche Längen aufweisen, wird eine Kraftverteilung auf die gesamte gegenüberliegende Lage gewährleistet.

[0037] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zwischen Furnierschichten mindestens eine Verstärkungsschicht eingefügt ist, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält. Indem zwei Furnierschichten mittels einer Schicht umfassend Klebstoff und Verstärkungsfasern, miteinander verbunden sind, wird die Festigkeit, insbesondere Bruchfestigkeit weiter verstärkt. Eine solche Verstärkungsschicht kann an besonders belasteten Stellen zwischen zwei Furnierschichten eingebracht sein, aber auch die Klebstoffverbindung zwischen einer Furnierschicht und einem Massivelement ersetzen. Als vorteilhaft ist vor allem ein Einbringen von Verstärkungsschichten in besonders belastete Bereiche, etwa einen Zugbereich, zu sehen. In einer besonders widerstandsfähigen Ausführungsvariante sind zwischen sämtlichen Furnierschichten Verstärkungsschichten eingebracht. Abhängig von der Art und den Eigenschaften der verwendeten Verstärkungsfasern können die Tragfähigkeitseigenschaften, vor allem Festigkeit und Stabilität, weiter verbessert und an den späteren Belastungsfall angepasst werden.

[0038] Ein Verbund hoher Stabilität wird erreicht, wenn die Verstärkungsschicht eine Dicke aufweist, die kleiner als die Dicke einer Furnierschicht ist. Hierzu hat es sich bewährt, wenn die

Verstärkungsschicht mit einer Dicke kleiner als 3 mm, bevorzugt mit einer Dicke kleiner als 1 mm, insbesondere mit einer Dicke zwischen 0,1 mm und 0,5 mm, ausgebildet ist. In einer vorteilhaften Variante stimmt die Dicke einer Verstärkungsschicht mit der Dicke einer Klebeverbindung ohne Verstärkungsfasern überein, wodurch der strukturelle Aufbau der Lage durch Einbringen einer oder mehrere Verstärkungsschichten nicht gestört wird.

[0039] Eine Verstärkungsschicht weist mit Vorteil einen Verstärkungsfaseranteil von 20 Vol.-% bis 80 Vol.-%, bevorzugt etwa 40 Vol.-% bis 60 Vol.-%, insbesondere bevorzugt etwa 50 Vol.-% auf. Dadurch ist es möglich, einerseits einen gewünschten Beitrag zu den Festigkeitseigenschaften durch die eingebrachten Verstärkungsfasern einzustellen, gleichzeitig aber auch eine ausreichend starke Klebeverbindung zwischen den Furnierschichten, zwischen welchen die Verstärkungsschicht eingebracht ist, zu gewährleisten. Als Klebstoff in der Verstärkungsschicht kann zweckmäßig Leim, vorzugsweise Kunstharzleim oder PU-Leim verwendet werden, um einen festen Verbund zu erreichen. Abhängig vom späteren Anwendungszweck können aber auch Gips oder Zement als Verbindungsschicht zwischen Furnierschichten vorteilhaft sein.

[0040] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die Verstärkungsfasern in der Verstärkungsschicht vollständig von Klebstoff umschlossen sind. Dadurch ist sichergestellt, dass eine ausgeprägte Klebeverbindung zwischen den Furnierschichten, zwischen welchen die Verstärkungsschicht eingebracht wurde, vorhanden ist.

[0041] Die Wirkung der Verstärkungsfasern in der zwischen zwei Furnierschichten eingebrachten Verstärkungsschicht kann durch eine definierte Ausrichtung der Verstärkungsfasern weiter beeinflusst werden. Während eine ungeordnete Ausrichtung der Verstärkungsfasern eine isotrope Wirkung in der Ebene der eingebrachten Verstärkungsschicht nach sich zieht, kann eine geordnete Ausrichtung der Fasern zueinander eine bevorzugte Richtung der Wirkung der Verstärkungsfasern definieren. Durch eine parallele Ausrichtung der Verstärkungsfasern zueinander kann deren Wirkung richtungsabhängig festgelegt werden und damit auf den Belastungsfall abgestimmt werden. Die Verstärkungsfasern können dabei nur innerhalb einer jeweiligen Verstärkungsschicht eine definierte Ausrichtung zueinander aufweisen; eine Abstimmung der Ausrichtung der Verstärkungsfasern kann aber auch zwischen mehreren bzw. sämtlichen Verstärkungsschichten einer Lage bzw. eines Holzverbundelementes bzw. eines Wandbereiches des Turmes erfolgen.

[0042] In einer bevorzugten Variante sind die Verstärkungsfasern ausgerichtete Endlosfasern, wodurch eine ausgeprägte Wirkung der Verstärkungsfasern richtungsabhängig festgelegt ist. In einer zweckmäßigen Ausprägung ist vorgesehen, dass die Verstärkungsfasern in Form eines Geflechtes, Gewebes, Gewirkes oder Vlieses vorliegen. Dadurch kann auf eine Wirkung der Verstärkungsfaser in mehrere Richtungen abgestellt werden und außerdem das Einbringen der Verstärkungsfasern in die Verstärkungsschicht effizienter und einfacher bewerkstelligt werden.

[0043] Die Verstärkungsfasern können aus pflanzlichen Fasern, tierischen Fasern, mineralischen Fasern, Kunststofffasern oder metallischen Fasern bestehen, insbesondere Glasfasern, Kohlenstofffasern oder Aramidfasern, um je nach zu erwartenden Belastungen eine Festigkeit bzw. Stabilität zu beeinflussen. Es kann hierzu auch vorteilhaft sein, mehrere unterschiedliche Faserarten in eine Verstärkungsschicht einzubringen oder in verschiedenen Verstärkungsschichten unterschiedliche Faserarten zu verwenden, um ein gewünschtes Materialverhalten bei Belastung gezielt einzustellen.

[0044] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist in den Furnierschichten mindestens eine Furnierschicht bezüglich einer Holzfaserausrichtung nicht parallel zur Holzfaserausrichtung der Folgeschicht ausgerichtet. Indem die Holzfaserausrichtung von miteinander verbundenen Schichten nicht parallel verläuft, wird das Quell- und Schwindverhalten des Holzes eingeschränkt. Weiter können dadurch außerdem die richtungsabhängigen Eigenschaften des Holzes ausgewogener gestaltet werden. Wird die Holzfaserausrichtung von zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Furnierschichten jeweils senkrecht zur nachfolgenden Furnierschicht ausgerichtet, können entsprechend in diesen Richtungen vergleichbare Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften eingestellt werden. Eine gleichmäßigere Verteilung der Eigenschaften wird

entsprechend dadurch erreicht, dass mehrere aufeinanderfolgende Furnierschichten eine unregelmäßige Ausrichtung bezüglich der Holzfaserausrichtungen aufweisen, oder dadurch, dass ein oder mehrere Furnierschichten aus einem Material mit unregelmäßiger Holzfaserverteilung gebildet sind, etwa Spanplatten oder Faserplatten. Vorteilhaft kann es auch sein, zwischen Furnierschichten eine Schicht aus Beton oder Metall einzubringen, um dadurch eine zusätzliche Verstärkung der Schichtstruktur zu erreichen.

[0045] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind Hohlräume im Holzverbundelement, beispielsweise bei einem Profil durch Lagen und Stege definierte Hohlräume, mit einem Werkstoff oder Dämmstoff gefüllt. Abhängig vom Einsatzzweck, etwa Erhöhung der Tragfähigkeit, Wärmedämmung, Schallschutz usw., können die Hohlräume mit unterschiedlichen Materialien gefüllt sein, beispielsweise PU-Schaum, Sand, Wollmaterial, Fasermaterial usw.

[0046] Es hat sich bewährt, mehrere Holzverbundelemente, insbesondere Profile, zu einem Konstruktionselement, welches einen Teil der Wand des Turmes darstellt, zu verbinden, indem diese nebeneinander angeordnet und miteinander verbunden, bevorzugt miteinander verklebt, werden. Dadurch entsteht ein großflächiges Konstruktionselement gemäß den Eigenschaften der Einzelemente, aus denen es besteht, welches entsprechend den logistischen Anforderungen vorgefertigt werden kann. Zur festen Verbindung der Holzverbundelemente sind diese bevorzugt mittels Klebstoff bzw. einer Klebstoffschicht miteinander verbunden. Zweckmäßig wird hierzu Leim, vorzugsweise Kunstharzleim oder PU-Leim, verwendet. Abhängig vom späteren Anwendungszweck können aber auch Gips oder Zement als Verbindungsschicht zwischen Holzverbundelementen, insbesondere Profilen, zweckmäßig sein.

[0047] Ein Turm mit großer Stabilität bei gleichzeitig optimiertem Materialeinsatz wird erreicht, wenn der Turm einen einen Hohlraum umschließenden Querschnitt aufweist. Insbesondere ein Turm mit zumindest kreisähnlichem oder polygonalem horizontalen Querschnitt erweist sich als besonders stabil. Der Hohlraum im Inneren des Turmes ermöglicht zudem eine einfache Wartbarkeit sowohl des Turmes selbst als auch etwa einer am oberen Ende des Turmes angebrachten Maschinengondel. Beispielsweise können etwa Aufstiegshilfen, wie Stiegen oder Aufzüge, im Inneren des Turmes verbaut sein und einen einfachen und geschützten Zugang ermöglichen. Ein solcher Turm kann insbesondere einfach dadurch umgesetzt sein, dass Holzverbundelemente kreisförmig bzw. übereinander um eine vertikale Achse des Turmes angeordnet sind und zumindest einen Teilbereich der Wand des Turmes bilden.

[0048] Um einen Turm mit einem hohen Flächenträgheitsmoment zu erreichen, ist es vorteilhaft, wenn der Turm mehrschalig aufgebaut ist. Indem hierzu die Wände des Turmes aus mehreren ineinander angeordnete Schalen bestehen, wird eine weitere Erhöhung der Stabilität bzw. Festigkeit des Turmes ermöglicht, bei gleichzeitig optimierter eingesetzter Materialmenge.

[0049] Mit Vorteil ist dabei, eine äußere Schale mit einer inneren Schale über Querstreben verbunden. Dadurch wird eine Stützstruktur zwischen den Schalen umgesetzt und eine Kräfteableitung zwischen den Schalen ermöglicht, wodurch Tragfähigkeit und Steifigkeit des Turmes erhöht wird. Zweckmäßig sind hierzu die Querstreben durch Holzverbundelemente mit den obengenannten Vorteilen gebildet, wodurch eine besonders widerstandsfähige Stützstruktur zwischen den Schalen erreicht wird.

[0050] Ein Turm mit hoher Stabilität und Festigkeit kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass sowohl die Schalen als auch die Querstreben, welche die Schalen verbinden, zumindest teilweise aus Holzverbundelementen aufgebaut sind. Eine effiziente Kraftableitung zwischen den Schalen kann insbesondere dadurch umgesetzt sein, dass die Querstreben ein Fachwerk bilden, also mehrere Querstreben an Knotenpunkten untereinander bzw. mit den Schalen der Turmwände verbunden sind.

[0051] Es hat sich bewährt, dass mehrere Abschnitte des Turmes entlang einer Längsachse des Turmes mit zumindest einem Längsverbinder, insbesondere einem Ringanker, verbunden sind. Die Abschnitte des Turmes sind dadurch fest verbunden und wirkende Belastungen können abschnittsübergreifend abgeleitet werden. Längsverbinder können hierzu aus üblichen

zugfesten Materialien, insbesondere aus Stahl oder Spannbeton hergestellt und beispielsweise als Mauer- bzw. Zuganker ausgeführt sein, um mehrere Abschnitte des Turmes form- bzw. kraftschlüssig, insbesondere zugfest, zu verbinden. Eine besonders robuste Verbindung zwischen Abschnitten des Turmes kann durch einen Ringanker erreicht werden. Dieser verläuft entlang eines Umfanges einer Wand bzw. Schale des Turmes und stellt bevorzugt einen geschlossenen Ring dar, welcher sowohl mit einem oberen Abschnitt als auch mit einem unteren Abschnitt des Turmes verbunden ist, und diese entlang des Umfanges zugfest verbindet. Zweckmäßig weist der Ringanker hierzu entlang dessen Umfanges Steckelemente auf, welche formschlüssig in Aufnahmen am oberen Abschnitt bzw. unteren Abschnitt eingefügt sind, wodurch eine beständige Verbindung der Abschnitte erreicht ist. Bei einem mehrschaligen Aufbau des Turmes können die oberen Abschnitte von mehreren Schalen mit den korrespondierenden unteren Abschnitten über einen gemeinsamen Längsverbinder bzw. Ringanker verbunden sein, indem dieser sich in horizontaler Richtung über mehrere Schalen hinweg erstreckt. Damit verbindet der Ringanker nicht nur obere Abschnitte mit unteren Abschnitten, sondern auch mehrere Wandschalen des Turmes, wodurch eine besonders robuste Verbindung zwischen den Turmelementen hergestellt wird.

[0052] Von Vorteil ist es zudem, wenn der Längsverbinder bzw. Ringanker als Scheibe, insbesondere mit einem kreisähnlichen oder kreisringähnlichen Querschnitt, ausgebildet ist. Dadurch wirkt der Längsverbinder zusätzlich als aussteifendes Element und unterstützt eine Stabilität in den Übergangsbereichen der Abschnitte. Günstig ist dabei ein Längsverbinder mit einem kreisringähnlichen Querschnitt, da eine Öffnung in der Scheibe eine einfache Zugänglichkeit zu einem oberen Abschnitt des Turmes, etwa für Wartungsarbeiten, weiterhin ermöglicht.

[0053] Eine belastbare Verbindung der Abschnitte ist vorteilhaft dadurch umgesetzt, dass zumindest zwei Längsverbinder mit zumindest einem Spannelement verbunden sind und/oder ein Bereich eines Längsverbinders mit einem anderen Bereich desselben Längsverbinders mit zumindest einem Spannelement verbunden ist. Indem mehrere Längsverbinder miteinander bzw. mehrere Abschnitte eines Längsverbinders miteinander zugfest und/oder druckfest verbunden sind, werden wirkende Kräfte effizient an andere Abschnitte bzw. Bereiche des Turmes weitergeleitet. Das Spannelement kann dabei als Seil, Zugstange, Kette etc., ausgeführt sein. Ein einfaches Verbinden zwischen Spannelementen und Längsverbindern ist zweckmäßig dadurch umgesetzt, dass die Längsverbinder Befestigungselemente aufweisen, mit welchen die Längsverbinder zugfest verbunden werden. Die Befestigungselemente können beispielsweise als Gabelköpfe, Ösen, Bohrungen, etc. ausgeführt sein.

[0054] Eine Steifigkeit, insbesondere eine Biegesteifigkeit, des Turmes kann erhöht werden, indem Spannelemente nicht nur vertikal und horizontal sondern auch diagonal bzw. unter verschiedenen Winkeln in Bezug auf eine vertikale Achse des Turmes zwischen den Längsverbindern gespannt werden. Insbesondere kann dadurch Torsionsbelastungen entgegengewirkt werden. Werden zudem Längsverbinder von unterschiedlichen Schalen über Spannelemente verbunden, beispielsweise indem Spannelemente über in Schalen eingebrachte Kanäle zu Längsverbindern einer äußeren Schale geführt werden, können wirkende Kräfte schalenübergreifend weitergeleitet werden. Günstig ist es, wenn die Spannelemente in Form eines Fachwerks miteinander und mit den Längsverbindern verbunden sind, sodass Kräfte effizient zwischen verschiedenen Abschnitten und/oder Schalen des Turmes abgeleitet werden können, wodurch eine Tragfähigkeit des Turmes stark erhöht ist.

[0055] Vorteilhaft ist es, wenn ein oder mehrere Wandelemente entlang einer Längsachse des Turmes durch zumindest ein Zugseil aneinander gespannt sind. Dadurch wird eine Belastbarkeit, insbesondere gegenüber horizontal wirkenden Kräften, vergrößert, da eine Widerstandsfähigkeit gegenüber Zugbelastungen zwischen den Wandelementen erhöht ist. Zweckmäßig ist hierbei, wenn ein bzw. mehrere Zugseile durch in Wandelemente eingebrachte Bohrungen bzw. Kanäle geführt ist, um ein hindernisfreies Spannen zu gewährleisten. Diese erzeugen eine Vorspannung innerhalb eines oder zwischen mehreren Wandelementen und erhöhen eine Steifigkeit des betreffenden Wandbereiches.

[0056] Die Wandelemente können beispielsweise ein oder mehrere Holzverbundelemente sein. Um eine Vorspannung des gesamten Turmes zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass Zugseile entlang einer gesamten Längserstreckung des Turmes verlaufen und ein oberes Ende des Turmes an ein unteres Ende bzw. Fundament des Turmes spannen. Zweckmäßig verlaufen derartig verlegte Zugseile im Inneren des Turmes oder durch Zwischenräume in der Wand des Turmes, um ein hindernisfreies Spannen zu ermöglichen. Günstig ist es, wenn auf diese Weise eine Maschinengondel, welche an einem oberen Ende des Turmes angeordnet ist, an ein Fundament des Turmes gespannt wird, sodass auch auf die Gondel wirkende Kräfte effizient an das Fundament übertragen werden.

[0057] In der Regel ist eine Wandoberfläche des Turmes mit einer, insbesondere wasserundurchlässigen, Beschichtung versehen. Dadurch wird die Wandoberfläche vor einwirkenden Umwelteinflüssen, etwa Feuchtigkeit, UV-Strahlung oder chemischen Reaktionen verursacht durch eine umgebende Atmosphäre, geschützt und kann eine Lebensdauer der verwendeten Wandmaterialien erhöht werden. Insbesondere Feuchtigkeit stellt für verwendete Holzmaterialien eine lebensdauerverkürzende Einflussgröße dar. Als einfach aufzutragende Beschichtung können hierzu dem Fachmann bekannte Lacke bzw. Lasuren eingesetzt werden. Vorteilhaft kann es auch sein, die Beschichtung als Folie, Gewebe oder Kunststoff auszuführen, um abhängig von den Umgebungsbedingungen eine zweckmäßige Beschichtung der Wandoberfläche des Turmes vorzusehen.

[0058] Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der Turm aus einzelnen Wandelementen vor Ort zusammensetzbar ist. Dadurch ist ermöglicht, einen Turm schnell und kostengünstig zu errichten, da ein Transportaufwand reduziert ist. Insbesondere wenn einzelne Wandelemente eine Größe aufweisen, welche entsprechend den gegebenen örtlichen Bedingungen einfach zu transportieren sind, und welche ein einfaches Zusammensetzung vor Ort ermöglichen, können große Kostenersparnisse erreicht werden. Durch das Baumaterial Holz kann auf diese Erfordernisse auf einfache Weise abgestimmt werden, da Holzelemente flexibel in unterschiedlichen Größen vorgefertigt werden können. Bevorzugt werden einzelne Wandelemente mit einer maximalen Länge von etwa 12 m vorgefertigt hergestellt, da diese auf einfache Weise zum Standort des zu errichtenden Turmes transportiert werden können. Im Besonderen ist ein modulartiges Baukastensystem vorgesehen, wobei einzelne Wandabschnitten in kompakter Größe vorgefertigt werden, zum Standort des zu errichtenden Turmes transportiert werden und vor Ort zusammengefügt werden. Dies ermöglicht eine schnelle Errichtung des Turmes unter logistisch optimierten Bedingungen.

[0059] Mit Vorteil ist eine Windenergieanlage, insbesondere eine Windenergieanlage mit einem oder mehreren Rotoren, mit einem Turm gemäß dieser Patentanmeldung vorgesehen. Aufgrund der verbesserten Tragfähigkeitseigenschaften, insbesondere der erhöhten Festigkeit und/oder Steifigkeit, eines solchen Turmes, können Türme für Windenergieanlagen kostengünstig und mit großen Höhen errichtet werden. Die Windenergieanlage kann kosteneffizient errichtet werden, da Anforderungen an Statik und Materialbelastbarkeit mit geringerem Materialeinsatz erreicht werden können. Aufgrund der verbesserten Tragfähigkeitseigenschaften ist ein Turm gemäß dieser Patentanmeldung insbesondere geeignet für Windenergieanlagen mit mehreren Rotoren.

[0060] Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen ergeben sich aus den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

- | | |
|----------------------|---|
| [0061] Fig. 1 | eine Windenergieanlage mit einem erfindungsgemäßen Turm; |
| [0062] Fig. 2 | ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement, aus welchem die Wand des in Fig. 1 dargestellten Turmes zumindest teilweise gebildet ist; |
| [0063] Fig. 3 | eine Abfolge von miteinander verklebten Furnierschichten mit einer Verstärkungsschicht; |

- [0064]** Fig. 4 eine schematische Ansicht eines horizontalen Querschnitts eines erfindungsgemäßen mehrschaligen Turmes;
- [0065]** Fig. 5 der horizontale Querschnitt des mehrschaligen Turmes aus Fig. 4, mit erfindungsgemäßen Längsverbindern;
- [0066]** Fig. 6 einen Längsverbinder aus Fig. 5 mit Spannelementen;
- [0067]** Fig. 7 der mehrschalige Turm mit Zugseilen zum Aneinanderspannen von Wandelementen;
- [0068]** Fig. 8 ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement, welches aus Furnierschichten und Beton gebildet ist;
- [0069]** Fig. 9 ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement, welches als Profil ausgebildet ist;
- [0070]** Fig. 10a bis Fig. 10c drei Varianten eines als Profil ausgebildeten Holzverbundelementes;
- [0071]** Fig. 11 ein als Profil ausgebildetes Holzverbundelement mit abwechselnd spiegelsymmetrischen Stegen;
- [0072]** Fig. 12 eine weitere Variante eines als Profil ausgebildeten Holzverbundelementes mit Massivelementen;
- [0073]** Fig. 13 ein als Profil ausgebildetes Holzverbundelement mit einer komplexeren Ausgestaltung von Stegen.

[0074] Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage 1 mit einem erfindungsgemäßen Turm 2. Die Windenergieanlage 1 umfasst weiter eine Maschinengondel 3 und einen Rotor mit Rotorblättern 4, welche am oberen Ende des Turmes 2 angeordnet sind, um einer Windströmung mechanische Energie zu entnehmen. Die Maschinengondel 3 enthält einen Generator zur Umwandlung der mechanischen in elektrische Energie. Der Turm 2 muss derart ausgelegt sein, dass dieser im Betrieb sowohl das Gewicht von Rotor und Maschinengondel 3 tragen und außerdem einer üblicherweise als horizontale Kraft wirkenden Windlast widerstehen kann. Der Turm 2 bzw. dessen Wände sind teilweise aus Holz gebildet, wodurch ein Transport und eine Errichtung vereinfacht und zudem ein zumindest teilweise recycelbarer Turm 2 geschaffen ist. Holzbauteile können variabel sowohl teilweise vorgefertigt als auch erst vor Ort zusammengebaut werden. Um eine Tragfähigkeit, insbesondere eine Festigkeit und eine Stabilität, des Turmes 2 zu erhöhen, sind die Wände des Turmes 2 zumindest teilweise durch miteinander verklebte Furnierschichten 9 gebildet. Dadurch ist eine Homogenisierung des Wandmaterials erreicht, wodurch an Inhomogenitäten des Holzmaterials auftretende Spannungsüberhöhungen reduziert und Rissausbildungen bzw. Rissausbreitungen im Holzmaterial gehemmt bzw. unterbunden sind. Eine bestimmte Turmhöhe kann damit mit reduziertem Materialaufwand erreicht werden bzw. bei gleichem Materialaufwand der Turm 2 mit einer größeren Höhe ausgebildet sein.

[0075] Fig. 2 zeigt ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement 5, aus welchem die Wand des in Fig. 1 dargestellten Turmes 2 zumindest teilweise gebildet ist. Das Holzverbundelement 5 umfasst eine erste Lage 6, eine zweite Lage 7 und eine dritte Lage 8. Zur Erreichung einer hohen Festigkeit sind die erste Lage 6 und die zweite Lage 7 vollständig aus Furnierschichten 9 gebildet. Dabei können sich die Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 von jenen der zweiten Lage 7, als auch innerhalb der ersten Lage 6 und/oder zweiten Lage 7, voneinander in Dicke und/oder Holzart unterscheiden, um damit unterschiedlichen Belastungsanforderungen zu entsprechen. Zwischen den Furnierschichten 9 sind zur Erhöhung von Festigkeit und Steifigkeit Verstärkungsschichten 11 eingebracht, wie dies im Ausschnitt III, der in Fig. 3 vergrößert dargestellt ist, gezeigt ist. Die dritte Lage 8 ist als Brettsperrholzanordnung ausgeführt, bestehend aus drei Einzelschichten, welche wiederum jeweils mehrere Bretter umfassen, die horizontal nebeneinander angeordnet sind. Durch kreuzweise Schichtung der Bretter der drei Einzelschichten sind die Holzfaserverläufe der Einzelschichten jeweils in einem Winkel von etwa 90° zueinander ausgerichtet, wodurch einem anisotropen Quell- und Schwindverhalten

des Holzes entgegenwirkt wird.

[0076] Fig. 3 zeigt eine Abfolge von miteinander verklebten Furnierschichten 9 mit einer Verstärkungsschicht 11 und stellt einen vergrößerten Ausschnitt III der ersten Lage 6 von Fig. 2 dar. Jeweils zwei Furnierschichten 9 sind mit einer Verbindungsschicht 10, bevorzugt einer Klebstoffschicht, miteinander verbunden. Eine Verbindungsschicht 10 ist dabei durch eine Verstärkungsschicht 11 ersetzt, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält. Eine solche Verstärkungsschicht 11 kann vereinzelt an besonders belasteten Stellen zwischen zwei Furnierschichten 9, oder auch zwischen einer Furnierschicht 9 und einem Massivelement 26 eingebracht sein. Zur Maximierung der Tragfähigkeitseigenschaften können auch sämtliche Furnierschichten 9 durch Verstärkungsschichten 11 verbunden sein.

[0077] Fig. 4 zeigt eine schematische Ansicht eines horizontalen Querschnitts eines erfindungsgemäßen mehrschaligen Turmes 2. Die Wand des Turmes 2 ist zweischalig ausgeführt, wobei jede Schale 12, 13 im horizontalen Querschnitt als mehreckiges Polygon ausgebildet ist. Eine äußere Schale 12 ist dabei mit einer inneren Schale 13 über Querstreben 14 verbunden, wodurch eine stabile Stützstruktur zwischen den Schalen 12, 13 erreicht wird und eine effiziente Kraftableitung zwischen den Schalen 12, 13 ermöglicht ist. Sowohl die äußere Schale 12, die innere Schale 13 als auch die Querstreben 14 sind dabei teilweise mit Holzverbundelementen 5, insbesondere den in Fig. 2 dargestellten Holzverbundelementen 5, gebildet, sodass aufgrund deren mit Verstärkungsschichten 11 ausgebildeten Furnierschichtabfolgen eine besonders ausgeprägte Stabilität und Belastbarkeit erreicht ist. Die Wand des Turmes 2 kann insbesondere dadurch auf einen bestimmten Belastungsfall abgestimmt werden, dass strukturell unterschiedlich ausgebildete Holzverbundelemente 5 kombiniert werden. Beispielsweise kann eine Wand des Turmes 2 zumindest teilweise sowohl aus Holzverbundelementen 5 mit einer Struktur gemäß Fig. 2, welche eine besonders ausgeprägte Festigkeit aufweisen, als auch mit Holzverbundelementen 5 mit einer Struktur gemäß Fig. 9, welche sich durch ein optimiertes Tragfähigkeits-Gewicht-Verhältnis auszeichnen, aufgebaut sein. Indem, insbesondere an besonders belasteten Wandbereichen, zwischen Furnierschichten 9 Verstärkungsschichten 11 angeordnet sind, wird eine besonders belastbare Wand mit hohen Tragfähigkeitseigenschaften erreicht.

[0078] In Fig. 5 ist der horizontale Querschnitt des mehrschaligen Turmes 2 aus Fig. 4, mit erfindungsgemäßen Längsverbindern 15 dargestellt. Mehrere Abschnitte des Turmes 2 sind entlang einer Längsachse des Turmes 2 mit Längsverbindern 15 verbunden, um eine robuste Verbindung zwischen den Abschnitten des Turmes sicherzustellen. Ein Längsverbinder 15 verbindet dabei einen oberen Abschnitt des Turmes 2 mit einem unteren Abschnitt. In Fig. 5 ersichtlich sind zwei Längsverbinder 15, um untere Abschnitte der äußeren Schale 12 und inneren Schale 13 mit zugehörigen oberen Abschnitten der beiden Schalen 12, 13 zu verbinden. Die Längsverbinder 15 sind als Ringanker ausgeführt, welche entlang eines Umganges des Turmes 2 obere Abschnitte des Turmes 2 mit den dargestellten unteren Abschnitten verbinden. Die Längsverbinder 15 sind aus Stahlprofilen gefertigt, welche wandseitig Steckelemente 16 aufweisen, sodass diese formschlüssig in korrespondierende Aufnahmen 17, welche eine Form ähnlich Zinnen aufweisen, am oberen Ende der unteren Abschnitte eingefügt werden können. Die unteren Enden der oberen Abschnitte der Wand des Turmes 2 weisen ebensolche Aufnahmen 17 auf, sodass ein Längsverbinder 15 sowohl mit dem unteren Abschnitt als auch mit dem oberen Abschnitt formschlüssig verbindbar ist. Ersichtlich ist, dass die Steckelemente 16 hierzu etwa bis zu deren halben Höhe in die Aufnahmen 17 des unteren Abschnittes eingefügt sind, sodass eine überstehende Höhe der Steckelemente 16 mit Aufnahmen 17 des oberen Abschnittes formschlüssig verbindbar ist.

[0079] Fig. 6 zeigt den Längsverbinder 15 der inneren Schale 13 aus Fig. 5 mit Spannelementen 18. Um die Stabilität und Biegesteifigkeit zu erhöhen, sind mehrere Längsverbinder 15 und auch mehrere Bereiche eines Längsverbinders 15 mit Spannelementen 18 verbunden. Dadurch werden wirkende Kräfte effizient an andere Bereiche des Turmes 2 weitergeleitet. Zweckmäßig sind die Spannelemente 18 hierzu als Stahlseile ausgeführt, um die Längsverbinder 15 bzw. deren Bereiche zugfest aneinander zu spannen. Hierzu weisen die Längsverbinder 15 Befestigungselemente in Form von Gabelköpfen 19 auf, an welchen die Stahlseile zugfest gespannt

sind. Ersichtlich ist, dass sowohl Bereiche des dargestellten Längsverbinders 15 mit Stahlseilen verbunden sind, als auch Stahlseile vom dargestellten Längsverbinder 15 wegführen, welche mit anderen Längsverbindern 15 des Turmes 2 verbunden sind. Dadurch können wirkende Belastungen abschnittsübergreifend weitergeleitet und damit die Stabilität und Steifigkeit des Turmes 2 erhöht werden.

[0080] Fig. 7 zeigt den mehrschaligen Turm 2, wobei Wandelemente mit Zugseilen 20 aneinander gespannt sind. Die Zugseile 20 verlaufen entlang der Längsachse des Turmes 2 und erzeugen eine Vorspannung. Ersichtlich sind sowohl Zugseile 20, welche durch in Wandelemente eingebrachte Kanäle, als auch Zugseile 20, welche zwischen den Schalen 12, 13 des Turmes 2 in Zwischenräumen verlaufen. Dadurch kann je nach Anforderung eine Vorspannung innerhalb eines bzw. zwischen mehreren Wandelementen erzeugt werden und eine Steifigkeit des betreffenden Wandbereiches erhöht werden bzw. eine Vorspannung des gesamten Turmes 2 erreicht werden, indem Zugseile 20 entlang einer gesamten Längserstreckung des Turmes 2 verlaufen.

[0081] Fig. 8 zeigt ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement 5, welches aus Furnierschichten 9 und Beton gebildet ist. Eine erste Lage 6 des Holzverbundelementes 5 ist aus Furnierschichten 9 gebildet, um einen widerstandsfähigen Zugbereich zu schaffen, und eine zweite Lage 7 ist aus Beton gebildet, um einen robusten Druckbereich zu erzeugen. Zwischen der ersten Lage 6 und zweiten Lage 7 ist eine dritte Lage 8 als Übergangsbereich angeordnet, welcher Beton und Furnierschichten 9 umfasst. Die Furnierschichten 9 der dritten Lage 8 sind dabei als Verlängerung von Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 gebildet, wodurch der Übergangsbereich sowohl für gemäßigte Druckbelastungen als auch für gemäßigte Zugbelastungen geeignet ist. Durch die dargestellte Verzahnung der ersten Lage 6, zweiten Lage 7 und dritten Lage 8, indem eine Vielzahl von Bündeln von Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 nach einem regelmäßigen Ordnungssystem zur dritten Lage 8 hin ragen, wird ein fester Verbund zwischen der ersten Lage 6, zweiten Lage 7 und dritten Lage 9 erreicht und Kräfte im Belastungsfall lagenübergreifend effizient abgeleitet.

[0082] Fig. 9 zeigt ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement 5, welches als Profil ausgebildet ist, umfassend eine erste Lage 6 und eine zweite Lage 7, die unter Bildung von Hohlkammern durch mehrere Stege 21 miteinander verbunden sind. Sowohl die erste Lage 6 und zweite Lage 7 als auch die Stege 21 sind mit miteinander verbundenen Furnierschichten 9 gebildet, wobei die Stege 21 als Verlängerung von quer zu Lageninnenflächen 22 ausgerichteten Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 und zweiten Lage 7 gebildet sind. Dadurch ist einerseits eine Homogenisierung der Materialeigenschaften erreicht, wodurch lokalisierte Materialfehler und infolge Spannungsüberhöhungen vermieden werden, und andererseits durch die Ausbildung der Stege 21 als integraler Bestandteil der Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 und der zweiten Lage 7 des Profils eine stabile Struktur und ein effektives Ableiten der einwirkenden Kräfte im Belastungsfall erreicht.

[0083] Profilseitenflächen 25 sind dabei durch Stege 21 gebildet, die an Seitenflächen 24 der ersten Lage 6 und zweiten Lage 7 des Profils angebracht sind und mit Außenflächen 23 der ersten Lage 6 und der zweiten Lage 7 bündig abschließen. Die Profilseitenflächen 25 sind damit kantenfrei ausgeführt und ermöglichen ein lückenloses Aneinanderreihen und ein effektives Verbinden mehrerer Profile zu einem Konstruktionselement. Die Profilseitenflächen 25 sind spiegelsymmetrisch zueinander geformt. Eine Aneinanderreihung zu einem Konstruktionselement erfolgt, indem abwechselnd ein Profil, das um 180° bei einer Drehachse normal zur Profilquerschnittsfläche gedreht ist, d. h. der Profilquerschnitt so gedreht ist, dass die erste Lage 6 nun unten und die zweite Lage 7 nun oben liegt, und ein Profil mit ursprünglicher Ausrichtung nebeneinander angeordnet und bevorzugt durch Klebstoff verbunden werden. Die Stege 21 sind außerdem in regelmäßigen Abständen an der ersten Lage 6 und in regelmäßigen Abständen an der zweiten Lage 7 verbunden, wobei diese Abstände nicht miteinander übereinstimmen, wodurch eine nichtparallele Anordnung der Stege 21 verwirklicht ist. Dies ermöglicht eine Kraftübertragung auf die gesamte gegenüberliegende Lage 6,7.

[0084] Fig. 10a bis Fig. 10c zeigen drei Varianten eines als Profil ausgebildeten Holzverbunde-

lementes 5. Alle drei Varianten weisen dieselbe Grundform auf, wobei erste Lage 6 und zweite Lage 7 unterschiedliche Längen aufweisen und Profilseitenflächen 25 spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet sind. Ein Profil gemäß Fig. 10a entspricht dem Profil gemäß Fig. 9. Sowohl die erste Lage 6 und zweite Lage 7 als auch die Stege 21 sind dabei mit Furnierschichten 9 gebildet. Fig. 10b zeigt ein Profil dessen zweite Lage 7 mit einer Aneinanderreihung von Massivelementen 26, beispielsweise Vollholz, und Furnierschichten 9 gebildet ist. Die erste Lage 6 ist vollständig mit Furnierschichten 9 gebildet. Die erste Lage 6 und zweite Lage 7 sind mit Stegen 21 verbunden, die aus Furnierschichten 9 gebildet sind und eine Verlängerung von quer zu den Lageninnenflächen 22 ausgerichteten Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 darstellen. Die Stege 21 reichen mit deren Enden bis an die Außenfläche 23 der zweiten Lage 7 und schließen bündig mit der Außenfläche 23 der zweiten Lage 7 ab. Dadurch können die Stege 21 an deren der zweiten Lage 7 zugewandten Enden großflächig mit den Massivelementen 26 verbunden, bevorzugt verklebt, werden.

[0085] Fig. 10c zeigt ein Profil dessen erste Lage 6 und zweite Lage 7 mit einer Aneinanderreihung von Massivelementen 26, beispielsweise Vollholz, und Furnierschichten 9 gebildet sind. Die Stege 21 sind aus Furnierschichten 9 gebildet und stellen Verlängerungen von quer zu den Lageninnenflächen 22 ausgerichteten Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 und zweiten Lage 7 des Profils dar. Die Stege 21 reichen mit deren Enden bis an Außenflächen 23 der ersten Lage 6 und zweiten Lage 7 und schließen bündig mit diesen ab. Die einzelnen Massivelemente 26 können dabei aus unterschiedlichen Holzarten bestehen, wodurch verschiedenen Eigenschaften der Holzarten kombiniert werden. Die Ausbildung der Stege 21 mit Furnierschichten 9 erlaubt neben der Homogenisierung der Holzeigenschaften innerhalb einer Abfolge von Furnierschichten 9 zusätzlich eine einfache Formgebung, wodurch auch die Ausbildung von Krümmungen einfach bewerkstelligt werden kann. Auch in dieser Variante sind Stege 21 in regelmäßigen Abständen an der ersten Lage 6 und in regelmäßigen Abständen an der zweiten Lage 7 verbunden, wobei diese Abstände nicht miteinander übereinstimmen, um damit eine Kraftübertragung auf eine gesamte gegenüberliegende Platte zu bewirken.

[0086] Fig. 11 zeigt ein als Profil ausgebildetes Holzverbundelement 5 mit abwechselnd spiegelsymmetrischen Stegen 21, in welchem erste Lage 6, zweite Lage 7 und Stege 21 mit Furnierschichten 9 gebildet sind. Die Stege 21 sind außerdem als Verlängerung von Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 und zweiten Lage 7 ausgebildet, wodurch eine besonders stabile Struktur geschaffen ist. Die Stege 21 sind derart ausgebildet, dass direkt benachbarte Stege 21 spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet sind. Dadurch ist eine regelmäßige Verteilung der zwischen der ersten Lage 6, zweiten Lage 7 und Stegen 21 gebildeten Hohlräume geschaffen, wodurch auf schalltechnische Erfordernisse, insbesondere beim Einsatz von Füllmaterial in den Hohlräumen, besser abgestimmt werden kann.

[0087] Fig. 12 zeigt eine weitere Variante eines als Profil ausgebildeten Holzverbundelementes 5 mit Massivelementen 26, in welchem die zweite Lage 7 aus einer Anordnung von Massivelementen 26 und Furnierschichten 9 besteht und die erste Lage 6 vollständig mit Furnierschichten 9 gebildet ist. Die Stege 21 sind als Verlängerung von Furnierschichten 9 der ersten Lage 6 ausgebildet und reichen mit deren Enden bis an die Außenfläche 23 der zweiten Lage 7. Auch hier sind, entsprechend Fig. 11, benachbarte Stege 21 spiegelsymmetrisch ausgebildet, weisen aber den Unterschied auf, dass an der zweiten Lage 7 die Enden der Stege 21 von jeweils zwei benachbarten Stegen 21 direkt miteinander verbunden sind. Damit sind entsprechend der Darstellung in Fig. 12 die Massivelemente 26 jeweils zwischen zwei sich in ihrer Form verengenden Stegen 21 eingefügt, wodurch eine zusätzliche strukturelle Stabilisierung der Massivelemente 26 durch die Stege 21 erfolgt.

[0088] Fig. 13 zeigt ein als Profil ausgebildetes Holzverbundelement 5 mit einer komplexeren Ausgestaltung von Stegen 21, welches zur Gänze mit Furnierschichten 9 gebildet ist. Die Stege 21 weisen eine wellenförmige Form auf, wobei benachbarte Stege 21 jeweils spiegelsymmetrisch zueinander geformt sind. Die Stege 21 sind engstmöglich beabstandet angeordnet, wodurch eine vielzählige Hohlkammerstruktur gebildet ist.

[0089] Ein erfindungsgemäßer Turm 2, bei dem zumindest eine Wand des Turmes 2 zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, bevorzugt miteinander verklebte, Furnierschichten 9 gebildet ist, weist besonders günstige Tragfähigkeitseigenschaften und eine vorteilhaft hohe Stabilität auf. Indem, insbesondere an besonders belasteten Bereichen der Wand des Turmes 2, zwischen Furnierschichten 9 der Holzverbundelemente 5 Verstärkungsschichten 11 mit Verstärkungsfasern angeordnet werden, kann die Tragfähigkeit und Belastbarkeit der Wände des Turmes 2 weiter erhöht werden.

[0090] Je nach Belastungs- und Stabilitätsanforderungen die an den Turm 2 bzw. dessen Wände gestellt werden, können unterschiedlich ausgebildete erfindungsgemäße Holzverbundelemente 5 verwendet bzw. kombiniert werden. Ein Turm 2 für eine Windenergieanlage 1 kann damit kosteneffizient und mit optimiertem Materialeinsatz errichtet werden. Ein erfindungsgemäßer Turm 2 ist zudem auch geeignet beispielsweise als Brückenpfeiler, Seilbahnstütze oder Freileitungsmast eingesetzt zu werden.

Patentansprüche

1. Turm (2) für eine Windenergieanlage (1), wobei zumindest eine Wand des Turmes (2) zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten (9) gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen Furnierschichten (9) mindestens eine Verstärkungsschicht (11) eingefügt ist, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält.
2. Turm (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wand des Turmes (2) zumindest teilweise aus zumindest einem mehrlagigen Holzverbundelement (5) gebildet ist, wobei zumindest eine Lage (6, 7, 8) des Holzverbundelementes (5) zumindest teilweise durch mehrere, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten (9) gebildet ist.
3. Turm (2) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Lage (6, 7, 8) des Holzverbundelementes (5) zumindest teilweise aus Massivmaterial, insbesondere Vollholz oder Beton, gebildet ist.
4. Turm (2) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Lage (6, 7, 8) des Holzverbundelementes (5) mit einer, vorzugsweise miteinander verklebten, Aneinanderreihung von Massivelementen (26) und Furnierschichten (9) gebildet ist.
5. Turm (2) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Lage (6, 7, 8) des Holzverbundelementes (5) zumindest teilweise aus Brettschichtholz oder Brettspertholz gebildet ist.
6. Turm (2) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Holzverbundelement (5) eine erste Lage (6) als Zugbereich und eine zweite Lage (7) als Druckbereich umfasst, wobei die erste Lage (6) und zweite Lage (7) durch eine dritte Lage (8) voneinander beabstandet sind und die erste Lage (6) und/oder die zweite Lage (7) zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten, Furnierschichten (9) gebildet sind.
7. Turm (2) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Holzverbundelement (5) als Hohlstruktur ausgebildet ist.
8. Turm (2) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Holzverbundelement (5) als Profil ausgebildet ist, umfassend eine erste Lage (6) und eine zweite Lage (7), die unter Bildung einer Hohlstruktur durch zumindest einen Steg (21), bevorzugt durch mehrere Stege (21), verbunden sind, wobei die erste Lage (6) und/oder die zweite Lage (7) zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten Furnierschichten (9) gebildet ist.
9. Turm (2) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Steg (21) an zumindest einem Ende in eine Nut oder Falz der ersten Lage (6) oder zweiten Lage (7) des Profils ragt und dort mit der Lage (6, 7) verbunden ist.
10. Turm (2) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Steg (21) aus mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten Furnierschichten (9) gebildet ist.
11. Turm (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Steg (21), bevorzugt mehrere Stege (21), als Verlängerung von quer zu den Lageninnenflächen (22) ausgerichteten Furnierschichtflächen der ersten Lage (6) und/oder zweiten Lage (7) des Profils gebildet sind und einen integralen Bestandteil der Furnierschichtflächen der ersten Lage (6) und/oder zweiten Lage (7) des Profils darstellen.
12. Turm (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Profilquerschnitt die erste Lage (6) und zweite Lage (7) unterschiedliche Längen aufweisen und die erste Lage (6) und zweite Lage (7) durch die Stege (21) derart miteinander verbunden sind, dass die erste Lage (6) und zweite Lage (7) zentriert zueinander ausgerichtet sind, wobei Profilseitenflächen (25) spiegelsymmetrisch zueinander geformt sind.

13. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstärkungsschicht (11) mit einer Dicke kleiner als 3 mm, bevorzugt mit einer Dicke kleiner als 1mm, ausgebildet ist und einen Verstärkungsfaseranteil von 20 Vol.-% bis 80 Vol.-% aufweist, bevorzugt etwa 40 Vol.-% bis 60 Vol.-%.
14. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstärkungsfasern vollständig von Klebstoff umschlossen sind.
15. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstärkungsfasern ausgerichtete Endlosfasern sind.
16. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstärkungsfasern in Form eines Geflechtes, Gewebes, Gewirkes oder Vlieses vorliegen.
17. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Turm (2) einen einen Hohlraum umschließenden Querschnitt aufweist.
18. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Turm (2) mehrschalig aufgebaut ist.
19. Turm (2) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine äußere Schale (12) mit einer inneren Schale (13) über Querstreben (14) verbunden ist.
20. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Abschnitte des Turmes (2) entlang einer Längsachse des Turmes (2) mit zumindest einem Längsverbinder (15), insbesondere einem Ringanker, verbunden sind.
21. Turm (2) nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Längsverbinder (15) mit zumindest einem Spannelement (18) verbunden sind und/oder ein Bereich eines Längsverbinders (15) mit einem anderen Bereich desselben Längsverbinders (15) mit zumindest einem Spannelement (18) verbunden ist.
22. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein oder mehrere Wandelemente entlang einer Längsachse des Turmes (2) durch zumindest ein Zugseil (20) aneinander gespannt sind.
23. Turm (2) nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Zugseil (20) durch in Wandelemente eingebrachte Kanäle geführt ist.
24. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Wandoberfläche des Turmes (2) mit einer, insbesondere wasserundurchlässigen, Beschichtung versehen ist.
25. Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Turm (2) aus einzelnen Wandelementen vor Ort zusammensetzbar ist.
26. Windenergieanlage (1) mit einem Turm (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 25.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

1/7

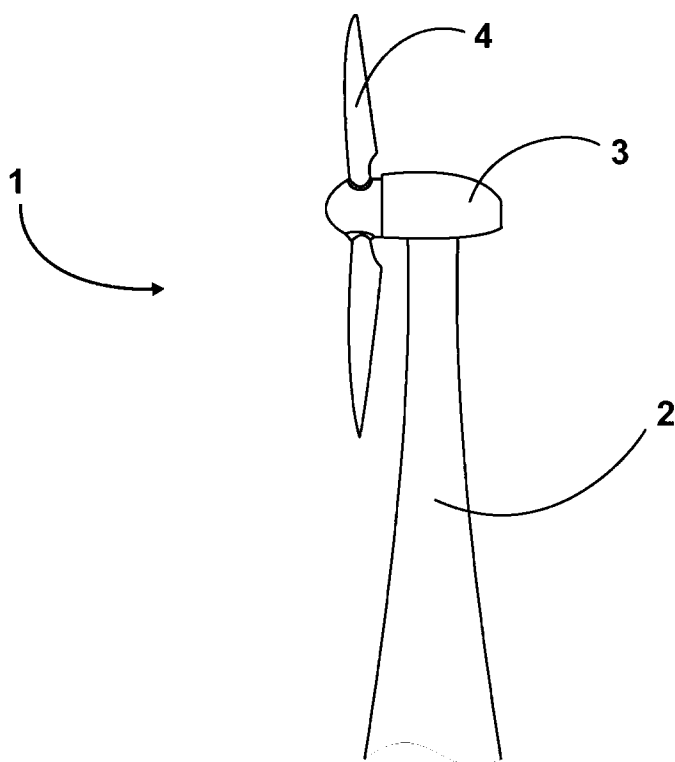


Fig. 1

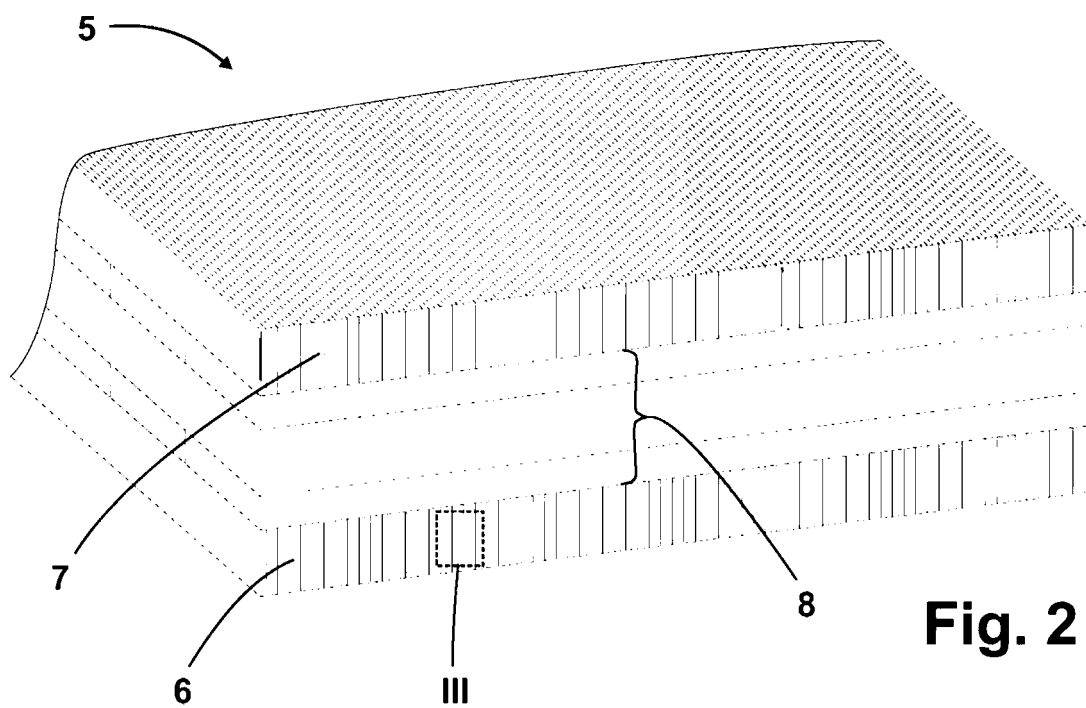


Fig. 2

2/7

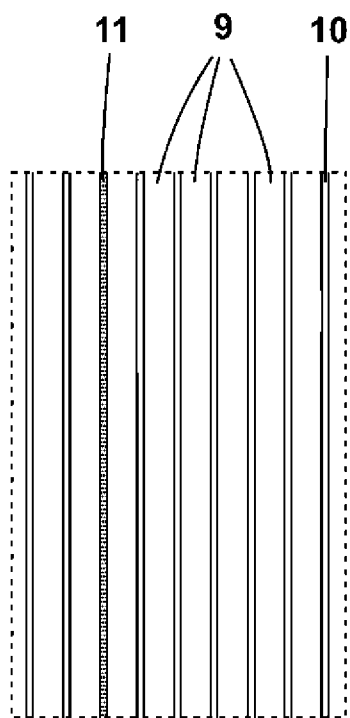


Fig. 3

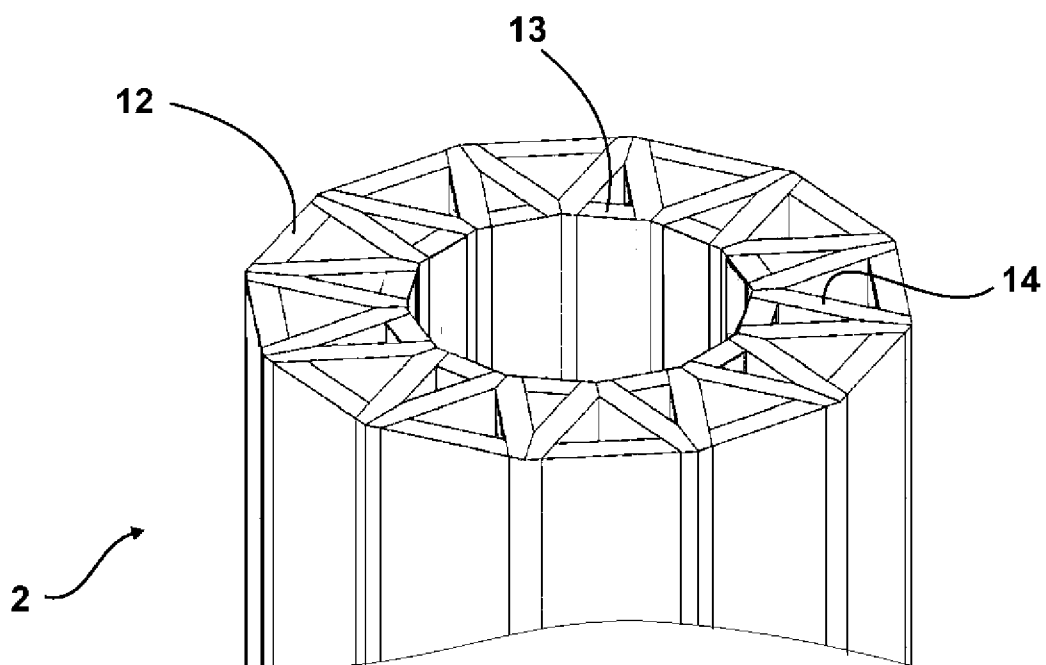
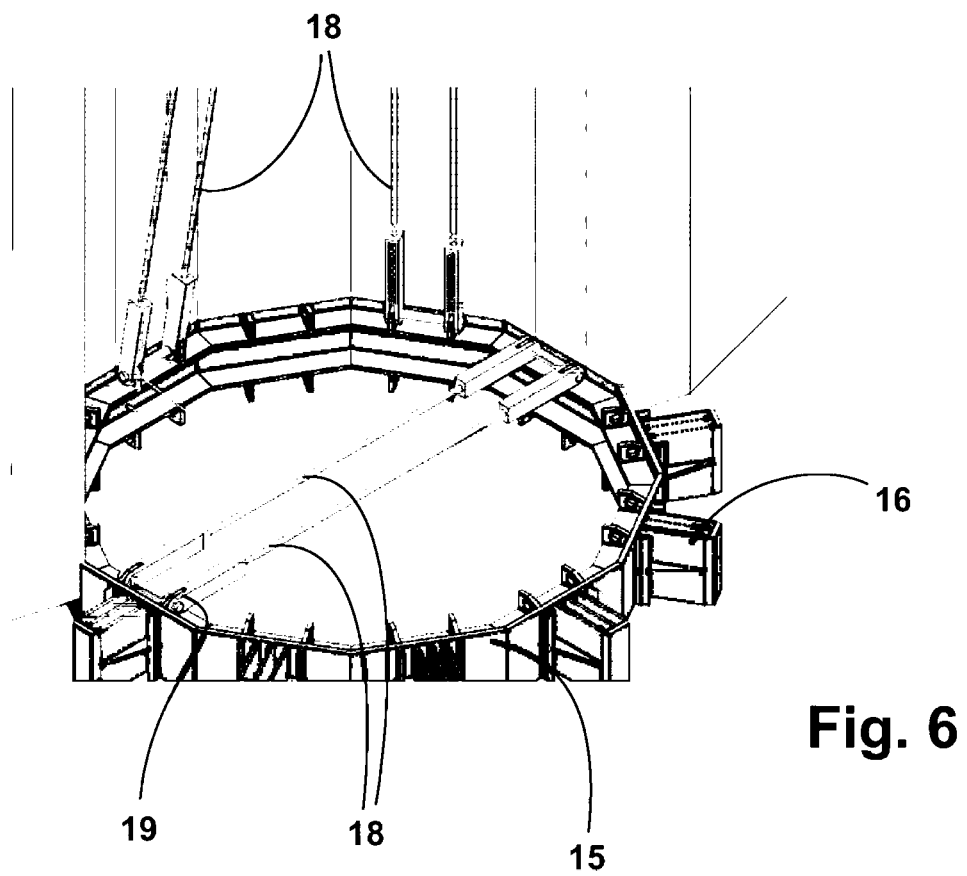
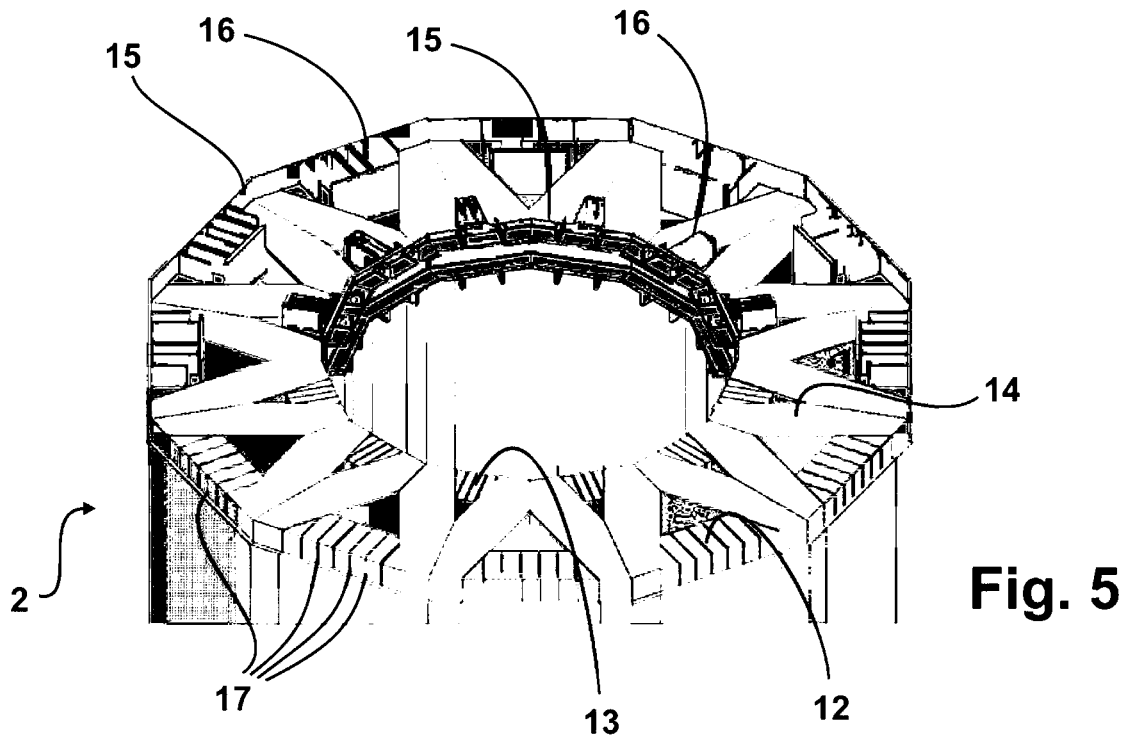


Fig. 4

3/7



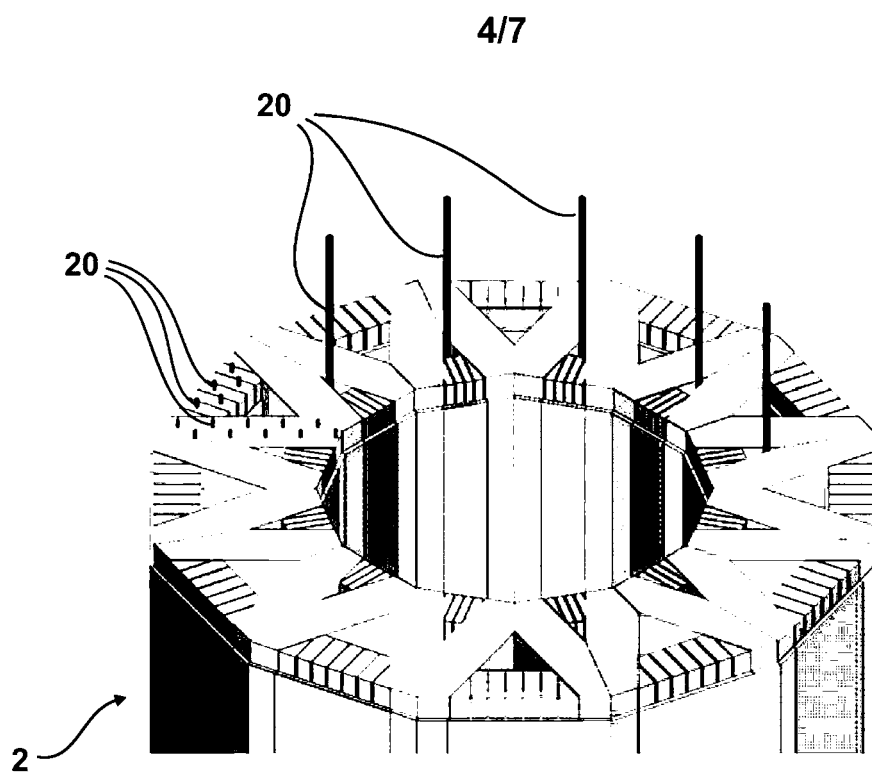


Fig. 7

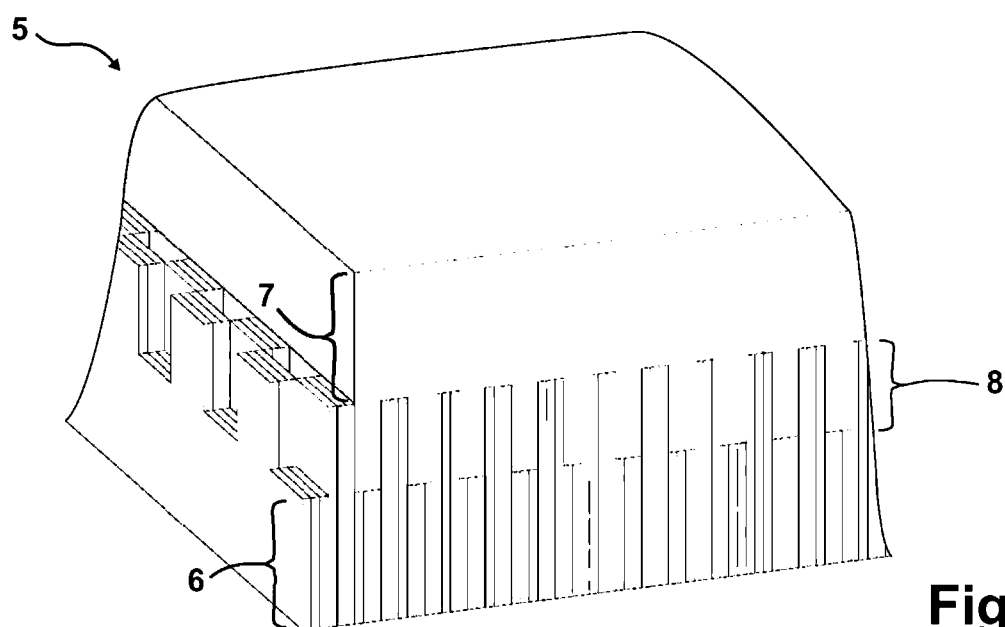
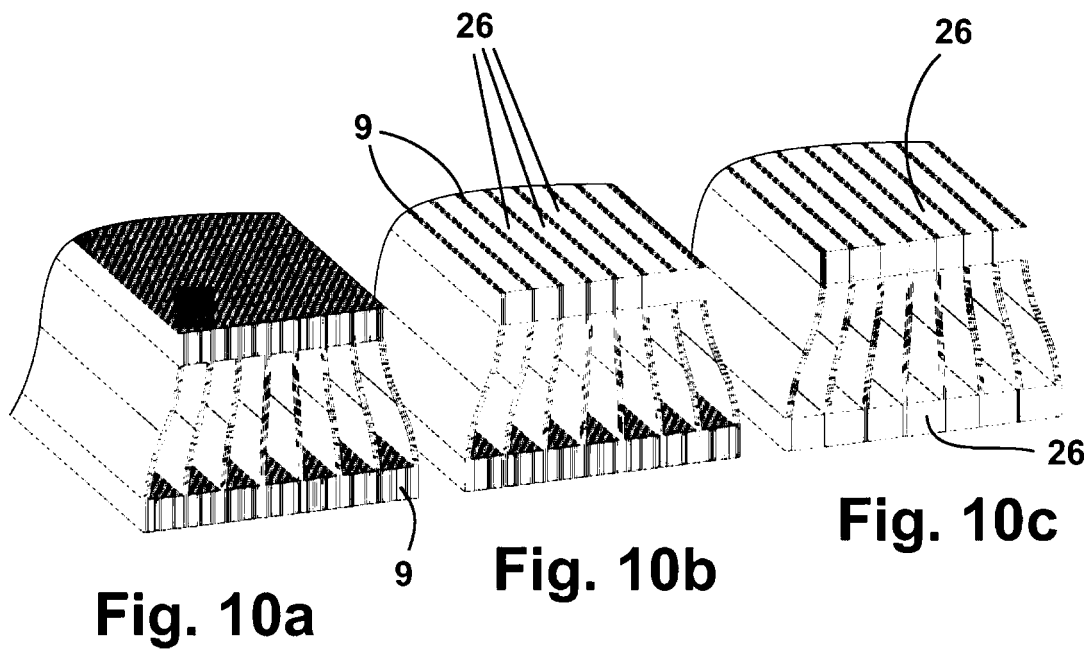
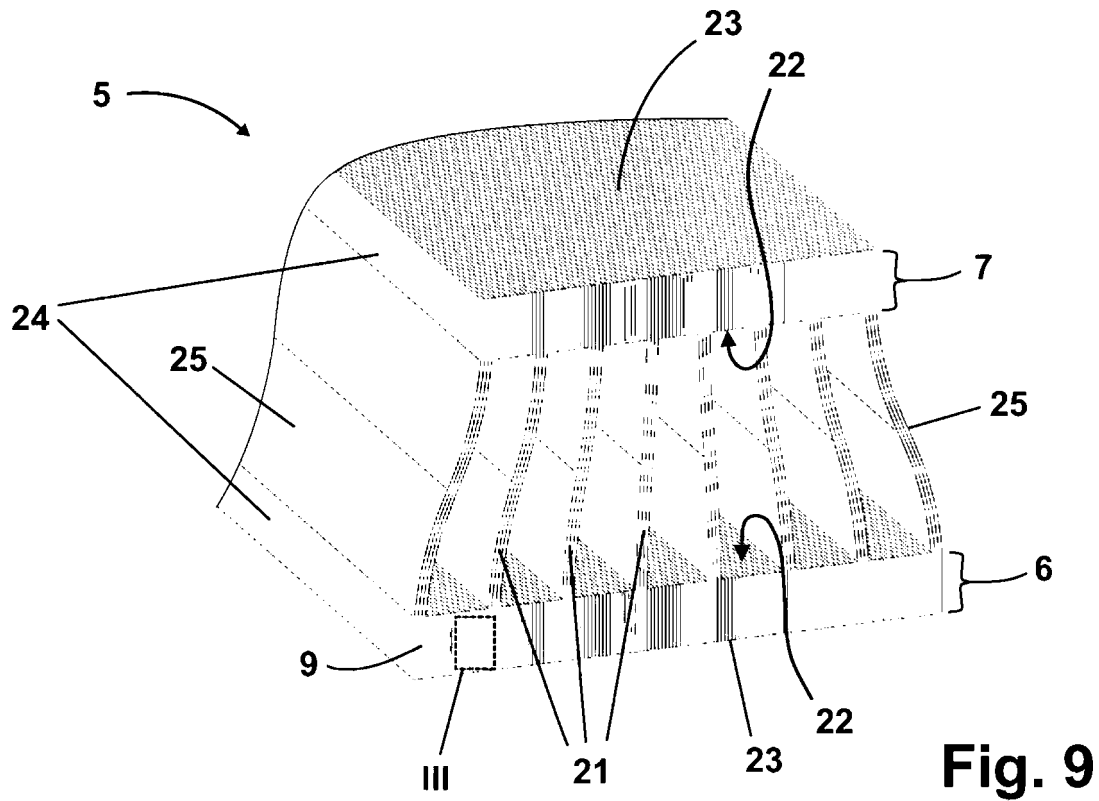
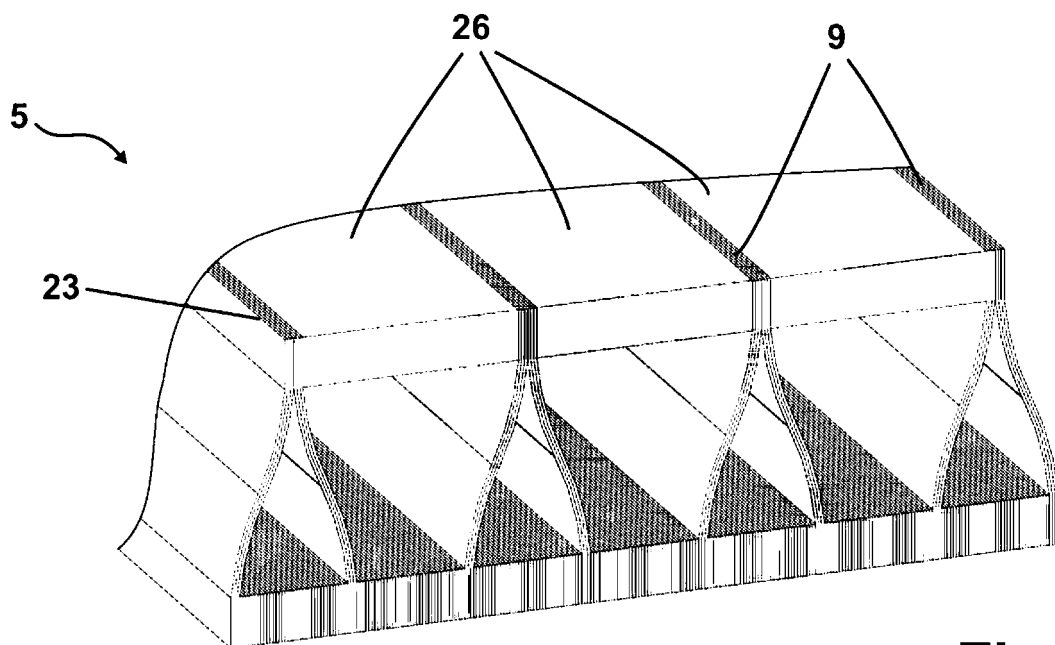
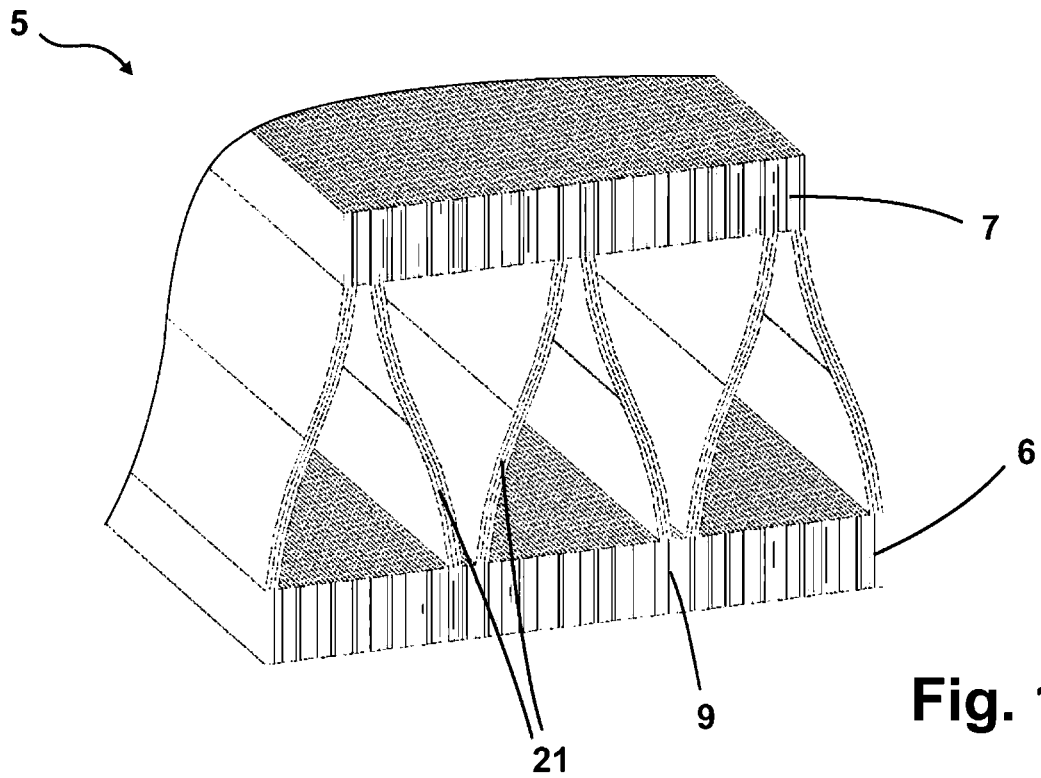


Fig. 8

5/7



6/7



7/7

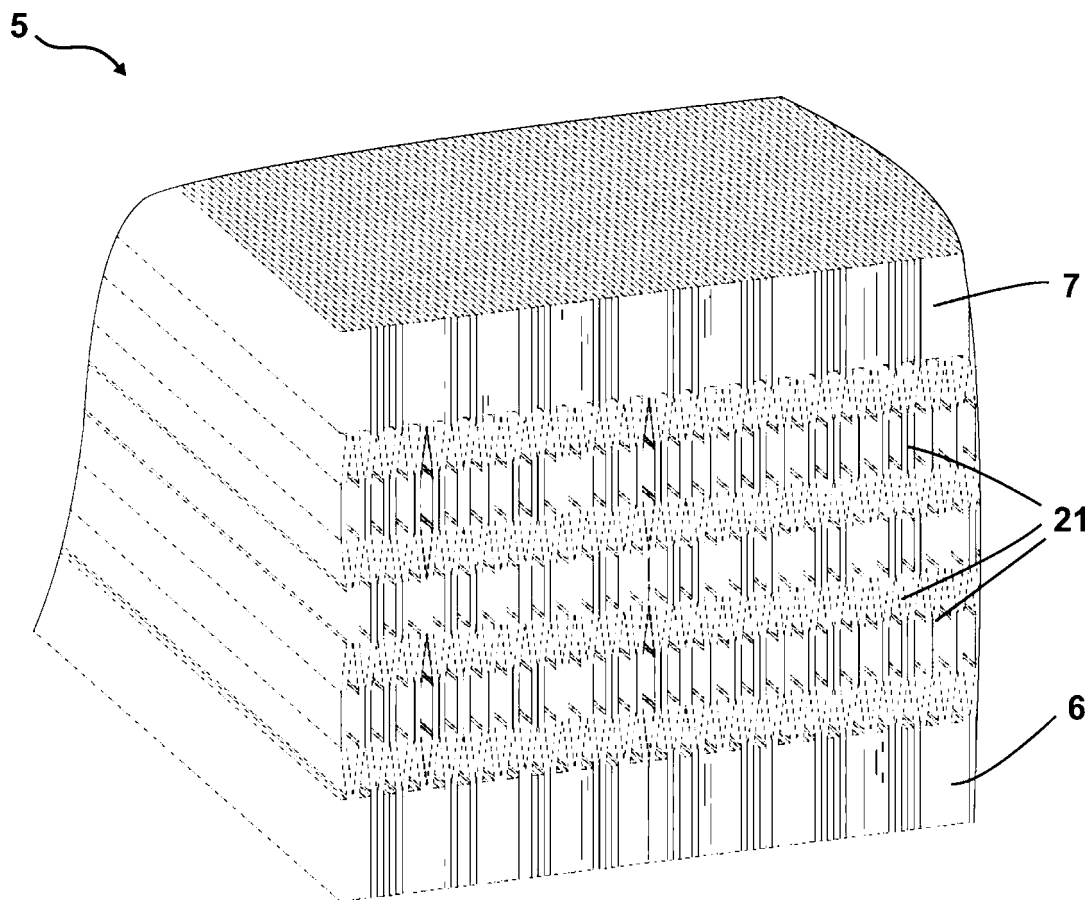


Fig. 13