

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50950/2017  
(22) Anmeldetag: 13.11.2017  
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2021

(51) Int. Cl.: **E02D 27/42** (2006.01)  
**F03D 13/20** (2016.01)  
**F03D 13/25** (2016.01)  
**B32B 21/14** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 69927791 T2  
AT 517958 A4  
AT 519190 A1  
AT 519189 A1  
DE 102010047773 A1  
EP 1992755 A2  
Trummer A., Krestel St.; Kielsteg: Geklebte Hochleistungsbauteile aus Holz, 2014 [online], [ermittelt am 31.08.2018], Ermittelt im Internet: [http://www.forum-holzbau.com/pdf/50\\_IHF\\_2014\\_Trummer.pdf](http://www.forum-holzbau.com/pdf/50_IHF_2014_Trummer.pdf)  
DE 8013404 U1  
EP 3127695 A1  
KLH Massivholz GmbH, Holz-Beton-Verbund, 28.02.2017 [online], [ermittelt am 31.08.2018]. Ermittelt im Internet: [https://web.archive.org/web/20170228105328/http://www.klh.at/download/public/Kreuzlagenholz/KLH\\_HBV.pdf](https://web.archive.org/web/20170228105328/http://www.klh.at/download/public/Kreuzlagenholz/KLH_HBV.pdf)

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

### (54) **Fundament für einen Turm für eine Windenergieanlage**

(57) Die Erfindung betrifft ein Fundament (5) für einen Turm (2) für eine Windenergieanlage (1), wobei das Fundament (5) miteinander lösbar verbundene Segmente (6) aufweist, um einen modularen Aufbau des Fundamentes (5) zu erreichen, wobei mehrere formgleiche Segmente (6) geschichtet angeordnet sind. Um ein Fundament (5) mit reduziertem Errichtungs- bzw. Demontageaufwand und gleichzeitig hoher Stabilität zu erreichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass zumindest ein Segment (6) zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten (19) gebildet ist.

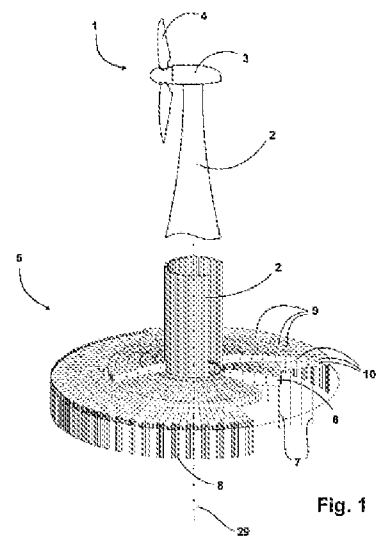


Fig. 1

## Beschreibung

### FUNDAMENT FÜR EINEN TURM FÜR EINE WINDENERGIEANLAGE

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Fundament für einen Turm für eine Windenergieanlage, wobei das Fundament miteinander lösbar verbundene Segmente aufweist, um einen modularen Aufbau des Fundamentes zu erreichen, wobei mehrere formgleiche Segmente geschichtet angeordnet sind.

**[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. Der Turm ist dabei in der Regel durch ein Fundament stand-sicher im Boden verankert.

**[0003]** Statischen Kräfte, die durch ein Gewicht von Rotor und Maschinengondel, sowie dynamischen Kräfte, die durch die Bewegung des Rotors sowie wirkende Windlasten entstehen, werden dabei über den Turm an das Fundament abgeleitet, welches die Kräfte auf einen Untergrund verteilt. Das Fundament ist dabei in der Regel aus massivem Beton oder Stahlbeton hergestellt, um Kräfte wirkungsvoll aufzunehmen und zu verteilen. Um eine Tragfähigkeit des Fundamentes zu erhöhen, wird häufig eine auf eine Form des Fundamentes abgestimmte Stahlgerüststruktur als Bewehrung im Beton verwendet.

**[0004]** Beispielsweise offenbaren die Dokumente DE 699 27 791 T2, AT 517958 A4, AT 519190 A1 sowie AT 519189 A1 Fundamente für Windräder, welche mit Betonsegmenten gebildet sind, wobei die Betonsegmente geschichtet angeordnet sind.

**[0005]** Weiter offenbart das Dokument DE 10 2010 047 773 A1 ein Fundament für eine Windkraftanlage mit einem oberirdischen und einem unterirdischen Teil, wobei der unterirdische Teil aus einem Holzwerkstoff hergestellt ist.

**[0006]** Ferner ist aus den Dokumenten EP 1 992 755 A2, DE 8013404 U1 und EP 3 127 695 A1 bekannt, dass Schichtholzplatten und mit Furnierschichten gebildete Holzelemente bei einer Konstruktion von Gebäuden, insbesondere Gebäudedecken, Anwendung finden.

**[0007]** Solche Fundamente weisen jedoch den Nachteil auf, dass diese einerseits einen hohen Herstellungsaufwand erfordern und zudem bei einer Demontage der Windenergieanlage arbeitsintensiv rückgebaut bzw. abgerissen werden müssen. Die abgerissenen Teile werden häufig entsorgt oder einem kostenintensiven Recyclingprozess zugeführt.

**[0008]** Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Fundament der eingangs genannten Art anzugeben, welches einen reduzierten Errichtungs- bzw. Demontageaufwand, und gleichzeitig eine hohe Stabilität aufweist.

**[0009]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zumindest ein Segment zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten gebildet ist. Indem das Fundament lösbar verbundene Segmente aufweist, wird ein modularer Aufbau des Fundaments erreicht. Dies ermöglicht eine zeiteffiziente und aufwandsreduzierte Errichtung bzw. Demontage des Fundamentes unter optimierten logistischen Bedingungen, da ein Transport von Einzelteilen des Fundamentes erleichtert ist. Darüber hinaus kann das Fundament zerstörungssarm abgebaut werden, sodass eine hohe Wiederverwendbarkeit von Elementen, insbesondere von Segmenten, des Fundamentes erreicht wird. Dies führt zu einer erheblichen Kostenverringerung bei der Errichtung bzw. Demontage des Fundamentes. In einem Idealfall kann das Fundament demontiert und an einer anderen Stelle wieder errichtet werden. Eine geschichtete Anordnung der Segmente ermöglicht dabei eine hohe Tragfähigkeit bzw. Stabilität des Fundamentes, da in einem Belastungsfall zwar mechanische Spannungen schichtübergreifend weitergeleitet werden, auftretende Risse sich jedoch nicht ungehindert über mehrere

Segmente hinweg ausbreiten können, zumal eine Schichtung der Segmente ein Hindernis für eine Rissausbreitung darstellt. Zweckmäßig ist es, wenn eine Schichtung mit mehreren formgleichen Segmenten erfolgt. Eine Schichtung reduziert Spannungsspitzen in einem Material. Eine Verwendung von formgleichen Segmenten ermöglicht eine einfache Montage.

**[0010]** Segmente des Fundamentes werden bevorzugt mit Schrauben, Bolzen, Dübeln und/oder Nut-Feder-Verbindungen lösbar miteinander verbunden, sodass eine robuste Verbindung geschaffen ist, welche auch wieder einfach gelöst werden kann. Allgemein kann hierzu aber auch jede dem Fachmann bekannte weitere, insbesondere kraft- bzw. formschlüssige, Verbindungsvariante verwendet werden, solange diese lösbar ausführbar ist.

**[0011]** Bevorzugt ist es, wenn das Fundament miteinander lösbar verbundene Segmente aufweist, wobei mehrere formgleiche Segmente entlang eines Umfanges um eine Achse geschichtet angeordnet sind. Dadurch können wirkende Kräfte effizient nach außen an einen umgebenden Baugrund abgeleitet und auf diesem verteilt werden. Eine hohe Stabilität wird insbesondere dadurch erreicht, dass entlang eines Umfanges der Achse geschichtete Segmente symmetrisch, insbesondere kreisförmig oder kreisringförmig, um die Achse angeordnet sind.

**[0012]** Zweckmäßig ist es, wenn sämtliche entlang eines Umfanges der Achse geschichteten Segmente formgleich ausgebildet sind. Dadurch ist auf einfache Weise ein Aufbau symmetrisch um die Achse umsetzbar und zudem eine Errichtung des Fundamentes vereinfacht.

**[0013]** Mit Vorteil ist die Tragfähigkeit des Fundaments dadurch erhöht, dass das Fundament miteinander lösbar verbundene Segmente aufweist, welche in einer Richtung parallel zur Achse geschichtet angeordnet sind. Indem das Fundament in einer weiteren Richtung geschichtet ausgebildet ist, kann eine Tragheit des Fundaments erhöht werden und können gleichzeitig die oben genannte Vorteile, die sich aus modularem Aufbau und Schichtanordnungen ergeben, beibehalten werden. Das Fundament kann dadurch flexibel je nach Anforderungen mit unterschiedlichen Größen und Gewichten ausgebildet werden und trotzdem eine effiziente Errichtung bzw. Demontage des Fundamentes gewährleisten.

**[0014]** Eine besonders ausgeprägte Stabilität kann erreicht werden, wenn Anordnungen von parallel zur Achse geschichteten Segmenten in einer Richtung entlang eines Umfanges um die Achse symmetrisch um die Achse angeordnet sind.

**[0015]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass das Fundament miteinander lösbar verbundene Segmente aufweist, welche in einer Richtung radial zur Achse geschichtet angeordnet sind. Dadurch können die oben genannten Vorteile eines modularen Aufbaus und einer Schichtung auch in radialer Richtung erreicht werden. Eine Ausdehnung des Fundamentes radial zur Achse kann dadurch auf einfache Weise erhöht werden, um Kräfte auf einen größeren Bereich des Baugrundes aufzuteilen bzw. abzuleiten und ein Trägheitsmoment des Fundamentes zu erhöhen.

**[0016]** Vorteilhaft ist es, wenn die Segmente derart entlang eines Umfanges um die Achse geschichtet angeordnet sind, dass diese eine Anordnung bilden, welche in einem zur Achse vertikalen Querschnitt eine Form eines Kreissektors oder Kreisringsektors aufweist. Dadurch können wirkende Kräfte bzw. Spannungen effizient radial nach außen verteilt werden. Insbesondere wenn mehrere derartige Anordnungen symmetrisch um die Achse angeordnet sind, kann ein Fundament hoher Stabilität gebildet werden. Für ein Fundament mit besonders ausgeprägter Stabilität sind Segmente bevorzugt derart entlang eines Umfanges um die Achse geschichtet angeordnet sind, dass diese eine Anordnung bilden, welche in einem zur Achse vertikalen Querschnitt eine Form eines Kreises oder Kreisringes aufweist.

**[0017]** Es hat sich bewährt, dass die Segmente in einem zur Achse vertikalen Querschnitt eine Form eines Kreissektors oder Kreisringsektors aufweisen. Dadurch sind Segmente auf einfache Weise in Schichten um die Achse anordenbar. Eine Montage bzw. Demontage von geschichteten Segmenten ist damit zeiteffizient umsetzbar. Eine derartige Segmentform ermöglicht insbesondere eine einfache und unkomplizierte Anordnung von Segmenten in Form eines Kreissektors oder Kreisringsektors bzw. Kreises oder Kreisringes.

**[0018]** Eine ausgeprägte Einfügung bzw. Verankerung des Fundamentes mit dem umgebenden Baugrund kann dadurch erreicht werden, dass die Segmente eine im Wesentlichen radial zur Achse nach außen hin abnehmende Höhe aufweisen. Insbesondere bei einer großen radialen Ausdehnung des Fundamentes erfolgt hierdurch eine robuste Umfassung des Fundamentes durch einen umgebenden Baugrund.

**[0019]** Mit Vorteil ist vorgesehen, dass das Fundament Stabilisierungselemente aufweist, welche insbesondere lösbar mit den Segmenten verbunden sind, wobei die Stabilisierungselemente eine höhere Dichte als die Segmente aufweisen, um eine Gewichtskraft des Fundamentes auf einen Untergrund zu erhöhen. Dies erhöht die Stabilität und ein Trägheitsmoment des Fundamentes, sodass insbesondere ein Widerstand gegenüber wirkenden Biegemomenten vergrößert ist. In der Regel sind die Stabilisierungselemente aus Beton, insbesondere Stahlbeton, gefertigt. Kostengünstig kann das Fundament hergestellt werden, wenn Stabilisierungselemente durch Aushubmaterial gebildet sind, welches üblicherweise bei der Errichtung eines Fundamentes anfällt.

**[0020]** Es kann auch vorgesehen sein, dass das Fundament Schwimmelemente aufweist, welche insbesondere lösbar mit den Segmenten verbunden sind, um ein Schwimmen des Fundamentes in Wasser, insbesondere Salzwasser, zu ermöglichen. Dadurch ist das Fundament geeignet, etwa in maritimer Umgebung eingesetzt zu werden. Beispielsweise kann das Fundament schwimmend in einem Meer oder See verwendet werden und ist hierbei, insbesondere über Seile, mit einem festen Untergrund verbunden. Bevorzugt ist dabei vorgesehen, dass Schwimmelemente als Hohlkörper ausgeführt sind, welche mit Wasser, insbesondere Meerwasser, befüllt oder geflutet werden können. Dadurch kann eine Eintauchtiefe des Fundamentes auf einfache Weise eingestellt bzw. variiert werden.

**[0021]** Eine belastbare Verbindung der Segmente wird vorteilhaft dadurch erreicht, dass die Segmente mit Spannseilen aneinander gespannt sind. Dadurch wird eine robuste Verbindung der Segmente insbesondere gegenüber Zugbelastungen sichergestellt. Besonders die Belastbarkeit von Schichtanordnungen von Segmenten kann dadurch erhöht werden. Die Spannseile erzeugen eine Vorspannung zwischen den Segmenten und erhöhen dadurch eine Steifigkeit der Schichtanordnung. Zweckmäßig ist hierzu vorgesehen, dass die Segmente Durchgangsbohrungen aufweisen, durch welche die Spannseile geführt sind. Die Spannseile können damit hindernisfrei gespannt werden. Bevorzugt ist vorgesehen, dass Spannseile insbesondere in einer Richtung radial zur Achse und/oder entlang eines Umganges um die Achse und/oder parallel zur Achse verlaufen, um insbesondere in diese Richtungen geschichtet angeordnete Segmente zugfest zu verbinden. In die Segmente sind hierzu fluchtende Durchgangsbohrungen eingebracht, sodass die Segmente zu einem robusten Verbund aneinander gespannt werden können. Je nach Zugbelastungen kann ein Spannseil dabei als Seil, Zugstange, Kette etc., ausgeführt sein.

**[0022]** Um eine Zugänglichkeit zu verschiedenen Segmentbereichen zu erhöhen, ist vorteilhaft vorgesehen, dass zumindest ein Zugangsschacht, insbesondere entlang der Achse, in das Fundament eingebracht ist. Dadurch können beispielsweise radial zur Achse verlaufende Spannseile bis in den Zugangsschacht geführt und innerhalb des Zugangsschachtes fixiert sein.

**[0023]** Vorteilhaft ist es, wenn das Fundament Ankerstäbe aufweist, um das Fundament in einem Baugrund zu fixieren. Dadurch ist einerseits eine ausgeprägte Verankerung des Fundamentes mit dem Baugrund erreicht und andererseits werden wirkende Kräfte im Belastungsfall in entferntere Bereiche des Baugrundes abgeleitet. Üblicherweise sind Ankerstäbe hierzu am Fundament fixiert und ragen, insbesondere von der Unterseite des Fundamentes aus, in den Baugrund. Je nach Tragfähigkeit und Kompaktheit des Baugrundes kann es auch zweckmäßig sein, wenn Ankerstäbe seitlich aus dem Fundament in den Baugrund geführt sind. Insbesondere wenn oberflächennahe Bereiche des Baugrundes schwache Tragfähigkeitseigenschaften aufweisen, ist eine Fixierung des Fundamentes mit Ankerstäben, als sogenannte Tiefgründung, zweckmäßig. Üblich ist es, Ankerstäbe je nach Tragfähigkeit und Kompaktheit des Baugrundes etwa als Pfähle, Roste, Spundbohlen und/oder Platten auszubilden, welche etwa mit Holz, Kunststoff, Stahl und/oder Beton gebildet sind. Vorteilhaft ist es, wenn das Fundament Kanäle aufweist, durch welche Ankerstäbe von einer Oberseite des Fundamentes aus durch das Fundament hindurch in den Baugrund

geführt sind. Die Ankerstäbe können damit auf einfache Weise bei der Errichtung des Fundamentes von der Oberseite des Fundamentes aus in den Baugrund gerammt werden und dadurch das Fundament fixieren.

**[0024]** Ein stabiler Aufbau des Fundamentes kann dadurch erreicht werden, dass die Segmente zumindest teilweise aus Beton, insbesondere Stahlbeton oder Spannbeton, gebildet sind. Je nach Anforderungen können dazu die dem Fachmann bekannten Betonsorten und Varianten verwendet werden, etwa Stahlbeton, Faserbeton, Splittbeton usw., und damit auf zu erwartenden Belastungen des Segmentes abgestimmt werden. Insbesondere wenn Segmente vorgefertigt hergestellt werden, welche am Errichtungsort nur noch entsprechend dem modularen Aufbau des Fundamentes zusammengesetzt werden, kann das Fundament zeiteffizient errichtet werden.

**[0025]** Bevorzugt ist es, wenn die Segmente zumindest teilweise aus Holz bzw. einem Holzwerkstoff gebildet sind. Holz weist sehr gute Ermüdungseigenschaften und eine hohe Belastbarkeit, insbesondere gegenüber dynamischen Kräften, auf. Darüber hinaus können die Errichtungskosten damit weiter gesenkt werden, da Holzbauteile kostengünstig herstellbar sind.

**[0026]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zumindest ein Segment zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten gebildet ist. Die Tragfähigkeitseigenschaften des Fundamentes können insbesondere dadurch erhöht werden. Durch zumindest teilweise Bildung zumindest eines Segmentes mit mehreren Furnierschichten ist eine Homogenisierung eines Segmentmaterials erreicht. Dadurch ist im Belastungsfall einerseits 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 eines Segmentes, insbesondere Bereiche in denen im Belastungsfall Kraftspitzen auftreten können, mit Furnierschichten gebildet sind, wird eine Tragfähigkeit und im Besonderen eine Festigkeit und/oder eine Steifigkeit des Fundamentes erhöht. Segmente des Fundamentes können dabei großteils oder vollständig aus Furnierschichten gebildet sein, die Furnierschichten können aber auch je nach Anforderung nur gezielt an bestimmten, insbesondere belasteten, Stellen des Fundamentes bzw. eines oder mehrerer Segmente des Fundamentes angeordnet sein. Weiter können dabei mehrere nicht direkt aneinandergrenzende Abfolgen von Furnierschichten in einem Segment auch nicht parallel zueinander ausgerichtet sein. Dies ermöglicht eine Beeinflussung der Steifigkeit, insbesondere einer Biegesteifigkeit des Fundamentes bzw. eines Segmentes des Fundamentes und damit eine weitere Abstimmung des Fundamentes auf den Belastungsfall.

**[0027]** Die zumindest teilweise Bildung des Fundamentes bzw. eines oder mehrerer Segmente des Fundamentes durch mehrere verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten ermöglicht es, Anforderungen an Tragfähigkeit und Materialbelastbarkeit bei gleichzeitig reduziertem Materialaufwand gerecht zu werden.

**[0028]** 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 Massivelemente 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.

**[0029]** Es hat sich bewährt, das zumindest eine Segment derart auszubilden, dass dieses 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 zumindest ein Segment des Fundamentes zumindest teilweise aus mehrlagigen Holzverbundelementen gebildet ist, können damit unterschiedliche Materialeigenschaften gezielt kombiniert werden und ein Segment des Fundamentes 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 ein auf den jeweiligen Belastungsfall abgestimmtes Segment errichtet werden kann.

**[0030]** 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 einer Steifigkeit, insbesondere einer Biegesteifigkeit der Lage und damit eine weitere Abstimmung des Holzverbundelementes auf den Belastungsfall.

**[0031]** 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.

**[0032]** 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.

**[0033]** 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.

**[0034]** 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. Massivelemente können dabei je nach Belastungsanforderungen etwa als Vollholz und/oder Beton und/oder Metall ausgebildet sein.

**[0035]** Ist eine Lage zumindest teilweise aus Beton gebildet, ist ein besonders widerstandsfähiger Druckbereich geschaffen, der bezüglich seiner spezifischen Eigenschaften gezielt eingestellt 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 gebildete angrenzende Lage ragt, bevorzugt nach einem regelmäßigen Ordnungssystem, wird eine Verzahnung zwischen den Lagen geschaffen, welche hohe Stabilität und Kräfteausgleich ermöglicht.

**[0036]** 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.

**[0037]** 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  $90^\circ$  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.

**[0038]** 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.

**[0039]** 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.

**[0040]** 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.

**[0041]** 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.

**[0042]** 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.

**[0043]** 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.

**[0044]** 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.

**[0045]** Die erste und/oder zweite Lage des Profils 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 bzw. Anordnungen von Furnierschichten des Holzverbundelementes, welche gemäß den verschiedenen in dieser Patentanmeldung dargestellten Varianten ausgebildet bzw. ausgerichtet sein können.

**[0046]** Zweckmäßig ist es, wenn zumindest ein Steg an zumindest einem Ende in eine Nut oder Falz der ersten Lage oder der 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.

**[0047]** 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.

**[0048]** 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. 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 Fur-

nierschichten können dabei gemäß den vorgenannten vorteilhaften Möglichkeiten angeordnet bzw. ausgerichtet sein.

**[0049]** 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.

**[0050]** 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.

**[0051]** 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.

**[0052]** 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.

**[0053]** 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.

**[0054]** Besonders bevorzugt 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 Mas-

sivelement 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.

**[0055]** 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.

**[0056]** 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.

**[0057]** 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.

**[0058]** 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 Segmentes des Fundamentes bzw. segmentübergreifend erfolgen.

**[0059]** 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.

**[0060]** 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.

**[0061]** 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.

**[0062]** 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.

**[0063]** 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.

**[0064]** Es ist von Vorteil, wenn eine Anlage, insbesondere eine Windenergieanlage, umfassend einen Turm, derart ausgeführt ist, dass der Turm mit einem Fundament gemäß dieser Anmeldungsschrift verbunden ist. Dadurch, dass das Fundament auf einfache Weise und unter optimiertem logistischen Aufwand errichtbar und demontierbar ist, kann die Anlage flexibel und zeit-effizient errichtet bzw. von einem Ort an einen anderen Ort versetzt werden. Zudem gewährleistet das Fundament eine stabile Verankerung der Anlage im Baugrund und ermöglicht eine effiziente Ableitung von wirkenden Kräften über das Fundament.

**[0065]** Zweckmäßig ist es wenn ein Massenmittelpunkt des Turmes in etwa in der Achse des Fundamentes angeordnet ist. Dadurch wird ein Gewicht des Turmes bzw. der Anlage sowie auf diese wirkende Kräfte effizient an das Fundament übertragen und eine stabile Verankerung des Turmes bzw. der Anlage im Baugrund gewährleistet.

**[0066]** Als günstig hat es sich erwiesen, wenn der Turm formschlüssig mit dem Fundament verbunden ist. Dadurch werden wirkende Kräfte, insbesondere Biegemomente, besonders effizient an das Fundament weitergeleitet und damit eine Stabilität des Turmes erhöht.

**[0067]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass Segmente des Fundamentes mit Spannseilen an den Turm gespannt sind. Dies erhöht einerseits eine Widerstandsfähigkeit der Verbindung von Turm und Fundament, insbesondere gegenüber wirkenden Biegemomenten, und ermöglicht zudem eine gezielte Kraft- bzw. Spannungsübertragung vom Turm an Bereiche des Fundamentes. Zweckmäßig ist hierzu vorgesehen, dass die Spannseile entlang von in Segmenten und/oder den Turm eingebrachten Durchgangsbohrungen geführt sind, sodass ein hindernisfreies Aneinanderspannen ermöglicht ist. Bevorzugt ist vorgesehen, dass Spannseile im Fundament in einer Richtung radial zur Achse des Fundamentes geführt sind, im Bereich der Achse des Fundamentes,

insbesondere in einem dort angeordneten Zugangsschacht, aus dem Fundament austreten und in einer Längsrichtung des Turmes entlang des Turmes weitergeführt und mit einem Element des Turmes verbunden sind. Dadurch werden auf den Turm wirkenden Belastungen besonders effizient bis in einen Außenbereich des Fundamentes abgeleitet, und ein Turm mit besonders ausgeprägter Steifigkeit und hoher Belastbarkeit im Baugrund verankert.

**[0068]** Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen ergeben sich aus den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

- [0069]** Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Fundament für einen Turm für eine Windenergieanlage;
- [0070]** Fig. 2 ein erfindungsgemäßes Fundament mit Stabilisierungselementen;
- [0071]** Fig. 3 ein erfindungsgemäßes Fundament mit Schwimmelementen;
- [0072]** Fig. 4 ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement, aus welchem Segmente der in Fig. 1 bis Fig. 3 dargestellten Fundamente gebildet sind;
- [0073]** Fig. 5 eine Abfolge von miteinander verklebten Furnierschichten mit einer Verstärkungsschicht;
- [0074]** Fig. 6 ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement, welches aus Furnierschichten und Beton gebildet ist;
- [0075]** Fig. 7 ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement, welches als Profil ausgebildet ist;
- [0076]** Fig. 8a bis Fig. 8c drei Varianten eines als Profil ausgebildeten Holzverbundelementes;
- [0077]** Fig. 9 ein als Profil ausgebildetes Holzverbundelement mit abwechselnd spiegelsymmetrischen Stegen;
- [0078]** Fig. 10 eine weitere Variante eines als Profil ausgebildeten Holzverbundelementes mit Massivelementen;
- [0079]** Fig. 11 ein als Profil ausgebildetes Holzverbundelement mit einer komplexeren Ausgestaltung von Stegen.

**[0080]** Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage mit einem erfindungsgemäßen Fundament 5 für einen Turm 2 für eine Windenergieanlage sowie schematisch einen auf dem Fundament angeordneten Teil der Windenergieanlage 1. Die Windenergieanlage 1 umfasst einen Turm 2 sowie 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. Zur Verankerung bzw. Fixierung des Turmes 2 in einem Baugrund, wird der Turm 2 mit einem Fundament 5 verbunden, welches auf den Turm 2 wirkende Kräfte, wie etwa eine Gewichtskraft von Maschinengondel 3 und Rotor sowie wirkende Windlasten, aufnimmt und an den Baugrund ableitet. Das dargestellte erfindungsgemäße Fundament 5 weist miteinander lösbar verbundene Segmente 6 auf, welche entlang eines Umfanges um eine Achse 29, in einer Richtung parallel zur Achse 29 sowie in einer Richtung radial zur Achse 29 geschichtet angeordnet sind. Im Bereich der Achse 29 ist das Fundament 5 mit einem unteren Bereich des Turmes 2, dessen Längsrichtung parallel zur Achse 29 ausgerichtet ist, formschlüssig verbunden, indem das Fundament 5 eine zur Größe eines Fußes des Turmes 2 korrespondierende Ausnehmung aufweist. Die Segmente 6 sind mit deren Längsachse radial zur Achse 29 ausgerichtet, sodass wirkende Kräfte besonders effizient an einen Außenbereich des Fundamentes 5 abgeleitet werden. Ein symmetrischer Aufbau des Fundamentes 5 ist erreicht, indem die Segmente 6 in Form von konzentrischen Kreisringen um die Achse 29 angeordnet sind, wobei jeweils flächig entlang eines Umfanges um die Achse 29 aneinander geschichtete Segmente 6 formgleich ausgebildet sind. In der gezeigten schematischen Darstellung des Fundamentes 5 sind die kreisringförmigen Anordnungen der Segmente 6, aus Übersichtlichkeitsgründen und zur besseren Darstellbarkeit eines Aufbaues des Fundamen-

tes 5, nicht gänzlich geschlossen um die Achse 29 gezeigt.

**[0081]** Indem die Segmente 6 lösbar miteinander verbunden, ist das Fundament 5 modular aufgebaut und kann einfach und zeiteffizient errichtet und auch wieder demontiert werden. Eine Logistik bzw. ein Transport ist insbesondere dadurch erleichtert, dass die Segmente 6 praktikable auf Transportfahrzeuge abgestimmte Längen aufweisen. Die Segmente 6 des in Fig. 1 gezeigten Fundamentes 5 weisen in radialer Richtung bevorzugt eine Länge von etwa 12 m auf, wodurch ein einfacher Transport mit üblichen Lastkraftfahrzeugen oder ISO-Containern ermöglicht ist. Das Fundament 5 kann somit zerstörungsarm wieder demontiert werden, sodass die Segmente 6 für eine Errichtung eines weiteren Fundamentes 5 wiederverwendet werden können. Dadurch wird eine erhebliche Kostenreduktion erreicht.

**[0082]** Die geschichtete Anordnung der Segmente 6 führt zu einer hohen Tragfähigkeit des Fundamentes 5, da wirkende Belastungen bzw. Kräfte effizient entlang der durch Segmente 6 gebildeten Schichtebenen an den Baugrund abgeleitet werden, mögliche Rissbildungen bzw. Rissausbreitungen durch den geschichteten Aufbau jedoch gehemmt sind. Die symmetrische Anordnung der Segmente 6 ergibt eine hohe Stabilität und Tragfähigkeit, da wirkende Kräfte und Spannungen radial um die Achse 29 in sämtliche Richtungen an den Baugrund abgeleitet werden können. Das dargestellte Fundament 5 weist dabei eine Schichtung von Segmenten 6 radial zur Achse 29 auf, sodass eine Ausdehnung des Fundamentes 5 in radialer Richtung erreicht ist, die größer ist als der zweifache mittlere Durchmesser des mit dem Fundament 5 verbundenen Turmes 2. Dies führt zu einem hohen Trägheitsmoment des Fundamentes 5 und einem ausgeprägten Widerstand besonders gegen auf den Turm 2 bzw. das Fundament 5 wirkende Biege- und Drehmomente.

**[0083]** Die einzelnen Segmente 6 sind mittels Schraubverbindungen miteinander verbunden, wodurch eine robuste Verbindung erreicht ist, welche auch wieder gelöst werden kann. Um eine Steifigkeit von Segmentanordnungen zu erhöhen und eine Widerstandsfähigkeit gegenüber Zugbelastungen zu vergrößern, weisen die Segmente 6 Durchgangsbohrungen 10 auf, sodass diese mit Spannseilen aneinander gespannt werden können. Die Durchgangsbohrungen 10 verlaufen hierzu fluchtend konzentrisch um die Achse 29 durch die Segmente 6, um die Segmente 6 entlang eines Umganges um die Achse 29 aneinander zu spannen und auch radial zur Achse 29 durch die Segmente 6, um die radial geschichteten Segmente 6 aneinander und/oder an den Turm 2 zu spannen.

**[0084]** Um das Fundament 5 fest im Baugrund zu verankern bzw. zu fixieren weist das Fundament 5 Ankerstäbe auf. Das Fundament der Fig. 1 zeigt zwei Arten von Ankerstäben. Einerseits sind im Randbereich des Fundamentes 5 konzentrisch um die Achse 29 Ankerstäbe in Form von Spundbohlen, sogenannte Stahllarssen 8, angebracht, welche insbesondere für eine Verankerung in einem lockeren Boden geeignet sind, und andererseits sind Ankerstäbe in Form von Stahlpählen 7 von einer Oberseite des Fundamentes 5 aus durch parallel zur Achse 29 in die Segmente 6 eingebrachte Kanäle 9 durchgeführt, sodass diese an einer Unterseite des Fundamentes 5 herausragen. Dadurch ist eine ausgeprägte Fixierung des Fundamentes 5 mit dem Baugrund erreichbar.

**[0085]** Fig. 2 zeigt ein erfindungsgemäßes Fundament 5 mit Stabilisierungselementen 12. Segmente 6 sind radial ausgerichtet entlang eines Umganges um eine Achse 29 geschichtet angeordnet. Eine unterste Schicht 11 des Fundamentes 5 wird durch kreisförmig um die Achse 29 geschichtete formgleiche Segmente 6 gebildet, wobei in regelmäßigen Abständen in Umfangsrichtung weitere Segmente 6 in einer Richtung parallel zur Achse 29 auf Segmente 6 der untersten Schicht aufgeschichtet sind. Dadurch bilden die Segmente 6 eine rippenförmige Anordnung mit radial zur Achse 29 ausgerichteten Rippen. Zwischen den Rippen sind Stabilisierungselemente 12 aus Beton angeordnet, um ein Gewicht bzw. ein Trägheitsmoment des Fundamentes 5 zu erhöhen.

**[0086]** Fig. 3 zeigt ein weiteres erfindungsgemäßes Fundament 5. Dieses ist ähnlich dem Fundament 5 der Fig. 2 mit radial zu einer Achse 29 ausgerichteten und entlang eines Umganges um eine Achse 29 geschichteten Segmenten 6 gebildet. In einem zur Achse 29 vertikalen Querschnitt

weist das Fundament 5 einen inneren Bereich mit einer kreisförmigen Anordnung von entlang eines Umfanges um die Achse 29 geschichteten Segmenten 6 auf, an welchen in radialer Richtung weitere kreissektorförmige Anordnungen von entlang eines Umfanges um die Achse geschichteten Segmenten 6 anschließen, wobei die kreissektorförmigen Anordnungen regelmäßig um den inneren kreisförmigen Bereich verteilt angeordnet sind. Damit weist das Fundament 5 eine besonders stabile Form auf, da der innere kreisförmige Bereich eine hohe Tragfähigkeit aufweist und Kräfte vom inneren kreisförmigen Bereich über die in radialer Richtung anschließenden kreissektorförmigen Anordnungen von Segmenten 6 effektiv nach außen abgeleitet werden können.

**[0087]** Im Besonderen weist eine unterste Schicht 11 des Fundamentes 5 dabei kreissektorförmige Anordnungen von um die Achse 29 geschichteten formgleichen Segmenten 6 auf, welche regelmäßig um die Achse 29 angeordnet sind. Auf Segmente 6 der untersten Schicht sind in regelmäßigen Abständen in Umfangsrichtung weitere Segmente 6 in einer Richtung parallel zur Achse 29 auf Segmente 6 der untersten Schicht aufgeschichtet, sodass eine rippenförmige Anordnungsstruktur gegeben ist. Zwischen Rippen sind Schwimmelemente 13 aus Hohlkörpern eingefügt, sodass ein schwimmfähiges Fundament 5 erhalten ist. Weiter ersichtlich ist, dass entlang der Achse 29 in das Fundament 5 ein Zugangsschacht 14 eingefügt ist, sodass eine Zugänglichkeit zu radial zur Achse 29 durch das Fundament 5 verlaufenden Spannseilen und/oder Segmente 6 verbindende Verbindungsvorrichtungen gegeben ist. Dargestellt ist zudem ein unterer Bereich eines Turmes 2, welcher mit dem Fundament 5 verbunden ist.

**[0088]** Die um die Achse 29 angeordneten kreissektorförmigen Segmentanordnungen weisen radial zur Achse 29 eine Erstreckung auf, welche größer ist als der dreifache Durchmesser des gezeigten unteren Endes des Turmes 2. Dadurch wird eine ausgeprägte Stabilität des Fundamentes 5 gegen wirkende Biegemomente erreicht, sodass insbesondere ein Einsatz des Fundamentes 5 auch bei stärkerem Wellengang eines Gewässers ermöglicht ist. Das in Fig. 3 dargestellte Fundament 5 kann auch vorteilhaft auf festem Baugrund eingesetzt werden, wenn die Schwimmelemente 13 durch Stabilisierungselemente 12, ähnlich dem Fundament 5 der Fig. 2, ersetzt werden. Entsprechend kann auch das in Fig. 2 gezeigte Fundament 5 schwimmfähig gestaltet werden, indem die Stabilisierungselemente 12 des Fundamentes 5 der Fig. 2 durch Schwimmelemente 13 ersetzt werden.

**[0089]** In Fig. 4 ist ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement 15 dargestellt, aus welchem Segmente 6 der in Fig. 1 bis Fig. 3 gezeigten Fundamente 5 gebildet sind. Das Holzverbundelement 15 umfasst eine erste Lage 16, eine zweite Lage 17 und eine dritte Lage 18. Zur Erreichung einer hohen Festigkeit sind die erste Lage 16 und die zweite Lage 17 vollständig aus Furnierschichten 19 gebildet. Dabei können sich die Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 von jenen der zweiten Lage 17, als auch innerhalb der ersten Lage 16 und/oder zweiten Lage 17 voneinander in Dicke und/oder Holzart unterscheiden, um damit unterschiedlichen Belastungsanforderungen zu entsprechen. Zwischen den Furnierschichten 19 sind zur Erhöhung von Festigkeit und Steifigkeit Verstärkungsschichten 21 eingebracht, wie dies im Ausschnitt V, der in Fig. 5 vergrößert dargestellt ist, gezeigt ist. Die dritte Lage 18 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 entgegengewirkt wird.

**[0090]** Fig. 5 zeigt eine Abfolge von miteinander verklebten Furnierschichten 19 mit einer Verstärkungsschicht 21 und stellt einen vergrößerten Ausschnitt V der ersten Lage 16 von Fig. 4 dar. Jeweils zwei Furnierschichten 19 sind mit einer Verbindungsschicht 20, bevorzugt einer Klebstoffschicht, miteinander verbunden. Eine Verbindungsschicht 20 ist dabei durch eine Verstärkungsschicht 21 ersetzt, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält. Eine solche Verstärkungsschicht 21 kann vereinzelt an besonders belasteten Stellen zwischen zwei Furnierschichten 19, oder auch zwischen einer Furnierschicht 19 und einem Massivelement eingebracht sein. Zur Maximierung der Tragfähigkeitseigenschaften können auch sämtliche Furnierschichten 19 durch

Verstärkungsschichten 21 verbunden sein.

**[0091]** Fig. 6 zeigt ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement 15, welches aus Furnierschichten 19 und Beton gebildet ist. Eine erste Lage 16 des Holzverbundelementes 15 ist aus Furnierschichten 19 gebildet, um einen widerstandsfähigen Zugbereich zu schaffen, und eine zweite Lage 17 ist aus Beton gebildet, um einen robusten Druckbereich zu erzeugen. Zwischen der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 ist eine dritte Lage 18 als Übergangsbereich angeordnet, welcher Beton und Furnierschichten 19 umfasst. Die Furnierschichten 19 der dritten Lage 18 sind dabei als Verlängerung von Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 gebildet, wodurch der Übergangsbereich sowohl für gemäßigte Druckbelastungen als auch für gemäßigte Zugbelastungen geeignet ist. Durch die dargestellte Verzahnung der ersten Lage 16, zweiten Lage 17 und dritten Lage 18, indem eine Vielzahl von Bündeln von Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 nach einem regelmäßigen Ordnungssystem zur dritten Lage 18 hin ragen, wird ein fester Verbund zwischen der ersten Lage 16, zweiten Lage 17 und dritten Lage 18 erreicht und Kräfte im Belastungsfall lagenübergreifend effizient abgeleitet.

**[0092]** Fig. 7 zeigt ein erfindungsgemäßes mehrlagiges Holzverbundelement 15, welches als Profil 22 ausgebildet ist, umfassend eine erste Lage 16 und eine zweite Lage 17, die unter Bildung von Hohlkammern durch mehrere Stege 23 miteinander verbunden sind. Sowohl die erste Lage 16 und zweite Lage 17 als auch die Stege 23 sind mit miteinander verbundenen Furnierschichten 19 gebildet, wobei die Stege 23 als Verlängerung von quer zu Lageninnenflächen 24 ausgerichteten Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 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 23 als integraler Bestandteil der Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 und der zweiten Lage 17 eine stabile Struktur und ein effektives Ableiten der einwirkenden Kräfte im Belastungsfall erreicht.

**[0093]** Profilseitenflächen 27 sind dabei durch Stege 23 gebildet, die an Seitenflächen 26 der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 angebracht sind und mit Außenflächen 25 der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 bündig abschließen. Profilseitenflächen 27 sind damit kantenfrei ausgeführt und ermöglichen ein lückenloses Aneinanderreihen und ein effektives Verbinden mehrerer Profile 22 zu einem Konstruktionselement. Die Seitenflächen 27 sind spiegelsymmetrisch zueinander geformt. Eine Aneinanderreihung zu einem Konstruktionselement erfolgt, indem abwechselnd ein Profil 22, das um  $180^\circ$  bei einer Drehachse normal zur Profilquerschnittsfläche gedreht ist, d. h. der Profilquerschnitt so gedreht ist, dass die erste Lage 16 nun unten und die zweite Lage 17 nun oben liegt, und ein Profil 22 mit ursprünglicher Ausrichtung nebeneinander angeordnet und bevorzugt durch Klebstoff verbunden werden. Die Stege 23 sind außerdem in regelmäßigen Abständen an der ersten Lage 16 und in regelmäßigen Abständen an der zweiten Lage 17 verbunden, wobei diese Abstände nicht miteinander übereinstimmen, wodurch eine nichtparallele Anordnung der Stege 23 verwirklicht ist. Dies ermöglicht eine Kraftübertragung auf die gesamte gegenüberliegende Lage 16, 17.

**[0094]** Fig. 8a bis Fig. 8c zeigen drei Varianten eines als Profil 22 ausgebildeten Holzverbundelementes 15. Alle drei Varianten weisen dieselbe Grundform auf, wobei erste Lage 16 und zweite Lage 17 unterschiedliche Längen aufweisen und Profilseitenflächen 27 spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet sind. Ein Profil 22 gemäß Fig. 8a entspricht dem Profil 22 gemäß Fig. 7. Sowohl die erste Lage 16 und zweite Lage 17 als auch die Stege 23 sind dabei mit Furnierschichten 19 gebildet. Fig. 8b zeigt ein Profil 22 dessen zweite Lage 17 mit einer Aneinanderreihung von Massivelementen 28, beispielsweise Vollholz, und Furnierschichten 19 gebildet ist. Die erste Lage 16 ist vollständig mit Furnierschichten 19 gebildet. Die erste Lage 16 und zweite Lage 17 sind mit Stegen 23 verbunden, die aus Furnierschichten 19 gebildet sind und eine Verlängerung von quer zu den Lageninnenflächen 24 ausgerichteten Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 darstellen. Die Stege 23 reichen mit deren Enden bis an die Außenfläche 25 der zweiten Lage 17 und schließen bündig mit der Außenfläche 25 der zweiten Lage 17 ab. Dadurch können die Stege 23 an den der zweiten Lage 17 zugewandten Enden großflächig mit den Massivelementen 28 verbunden, bevorzugt verklebt, werden.

**[0095]** Fig. 8c zeigt ein Profil 22 dessen erste Lage 16 und zweite Lage 17 mit einer Aneinanderreihung von Massivelementen 28, beispielsweise Vollholz, und Furnierschichten 19 gebildet sind. Die Stege 23 sind aus Furnierschichten 19 gebildet und stellen Verlängerungen von quer zu den Lageninnenflächen 24 ausgerichteten Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 dar. Die Stege 23 reichen mit deren Enden bis an Außenflächen 25 der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 und schließen bündig mit diesen ab. Die einzelnen Massivelemente 28 können dabei aus unterschiedlichen Holzarten bestehen, wodurch die verschiedenen Eigenschaften der Holzarten kombiniert werden. Die Ausbildung der Stege 23 mit Furnierschichten 19 erlaubt neben der Homogenisierung der Holzeigenschaften innerhalb einer Abfolge von Furnierschichten 19 zusätzlich eine einfache Formgebung, wodurch auch die Ausbildung von Krümmungen einfach bewerkstelligt werden kann. Auch in dieser Variante sind Stege 23 in regelmäßigen Abständen an der ersten Lage 16 und in regelmäßigen Abständen an der zweiten Lage 17 verbunden, wobei diese Abstände nicht miteinander übereinstimmen, um damit eine Kraftübertragung auf eine gesamte gegenüberliegende Platte zu bewirken.

**[0096]** Fig. 9 zeigt ein als Profil 22 ausgebildetes Holzverbundelement 15 mit abwechselnd spiegelsymmetrischen Stegen 23, in welchem erste Lage 16, zweite Lage 17 und Stege 23 mit Furnierschichten 19 gebildet sind. Die Stege 23 sind außerdem als Verlängerung von Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 und zweiten Lage 17 ausgebildet, wodurch eine besonders stabile Struktur geschaffen ist. Die Stege 23 sind derart ausgebildet, dass direkt benachbarte Stege 23 spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet sind. Dadurch ist eine regelmäßige Verteilung der zwischen der ersten Lage 16, zweiten Lage 17 und Stege 23 gebildeten Hohlräume geschaffen, wodurch auf schalltechnische Erfordernisse, insbesondere beim Einsatz von Füllmaterial in den Hohlräumen, besser abgestimmt werden kann.

**[0097]** Fig. 10 zeigt eine weitere Variante eines als Profil 22 ausgebildeten Holzverbundelementes 15 mit Massivelementen 28, in welchem die zweite Lage 17 aus einer Anordnung von Massivelementen 28 und Furnierschichten 19 besteht und die erste Lage 16 vollständig mit Furnierschichten 19 gebildet ist. Die Stege 23 sind als Verlängerung von Furnierschichten 19 der ersten Lage 16 ausgebildet und reichen mit deren Enden bis an die Außenfläche 25 der zweiten Lage 17. Auch hier sind, entsprechend Fig. 9, benachbarte Stege 23 spiegelsymmetrisch ausgebildet, weisen aber den Unterschied auf, dass an der zweiten Lage 17 die Enden der Stege 23 von jeweils zwei benachbarten Stegen 23 direkt miteinander verbunden sind. Damit sind entsprechend der Darstellung in Fig. 12 die Massivelemente 28 jeweils zwischen zwei sich in ihrer Form verengenden Stegen 23 eingefügt, wodurch eine zusätzliche strukturelle Stabilisierung der Massivelemente 28 durch die Stege 23 erfolgt.

**[0098]** Fig. 11 zeigt ein als Profil 22 ausgebildetes Holzverbundelement 15 mit einer komplexeren Ausgestaltung von Stegen 23, welches zur Gänze mit Furnierschichten 19 gebildet ist. Das Profil 22 zeichnet sich durch eine komplexere Ausgestaltung von Stegen 23 aus. Die Stege 23 weisen eine wellenförmige Form auf, wobei benachbarte Stege 23 jeweils spiegelsymmetrisch zueinander geformt sind. Die Stege 23 sind engstmöglich beabstandet angeordnet, wodurch eine vielzählige Hohlkammerstruktur gebildet ist.

**[0099]** Ein erfindungsgemäßes Fundament 5, bei dem das Fundament 5 miteinander lösbar verbundene Segmente 6 aufweist, wobei mehrere formgleiche Segmente 6 geschichtet angeordnet sind, ermöglicht aufgrund dessen modularen Aufbaues eine aufwandsreduzierte Errichtung bzw. Demontage des Fundamentes 5. Das Fundament 5 kann zerstörungsarm demontiert werden, sodass einzelne Segmente 6 für eine nachfolgende Errichtung eines anderen Fundamentes 5 wiederverwendet werden können. Die geschichtete Anordnung der Segmente 6 ermöglicht ein Fundament 5 hoher Stabilität und Belastbarkeit.

**[00100]** Sind Segmente 6 zudem aus Holzverbundelementen 15 mit Furnierschichten 19 gebildet, kann auf kostengünstige Weise ein auf einen bestimmten Belastungsfall abgestimmtes Fundament 5 mit einer hohen Tragfähigkeit hergestellt werden. Je nach Belastungs- und Stabilitätsanforderungen können unterschiedliche Ausbauelemente von erfindungsgemäßen Holzverbundelementen 15 verwendet und kombiniert werden.

## Patentansprüche

1. Fundament (5) für einen Turm (2) für eine Windenergieanlage (1), wobei das Fundament (5) miteinander lösbar verbundene Segmente (6) aufweist, um einen modularen Aufbau des Fundamentes (5) zu erreichen, wobei mehrere formgleiche Segmente (6) geschichtet angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Segment (6) zumindest teilweise durch mehrere miteinander verbundene, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten (19) gebildet ist.
2. Fundament (5) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fundament (5) miteinander lösbar verbundene Segmente (6) aufweist, wobei mehrere formgleiche Segmente (6) entlang eines Umfanges um eine im Wesentlichen vertikale Achse (29) geschichtet angeordnet sind.
3. Fundament (5) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fundament (5) miteinander lösbar verbundene Segmente (6) aufweist, welche in einer Richtung parallel zur Achse (29) geschichtet angeordnet sind.
4. Fundament (5) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fundament (5) miteinander lösbar verbundene Segmente (6) aufweist, welche in einer Richtung radial zur Achse (29) geschichtet angeordnet sind.
5. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (6) derart entlang eines Umfanges um die Achse (29) geschichtet angeordnet sind, dass diese eine Anordnung bilden, welche in einem zur Achse (29) rechtwinkligen Querschnitt eine Form eines Kreissektors oder Kreisringsektors aufweist.
6. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (6) in einem zur Achse (29) rechtwinkligen Querschnitt eine Form eines Kreissektors oder Kreisringsektors aufweisen.
7. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (6) eine im Wesentlichen radial zur Achse (29) nach außen hin abnehmende Höhe aufweisen.
8. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fundament (5) Stabilisierungselemente (12) aufweist, welche insbesondere lösbar mit den Segmenten (6) verbunden sind, wobei die Stabilisierungselemente (12) eine höhere Dichte als die Segmente (6) aufweisen, um eine Gewichtskraft des Fundamentes (5) auf einen Untergrund zu erhöhen.
9. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fundament (5) Schwimmelemente (12) aufweist, welche insbesondere lösbar mit den Segmenten (6) verbunden sind, um ein Schwimmen des Fundamentes (5) in Wasser, insbesondere Salzwasser, zu ermöglichen.
10. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (6) mit Spannseilen aneinander gespannt sind.
11. Fundament (5) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (6) Durchgangsbohrungen (10) aufweisen, durch welche die Spannseile geführt sind.
12. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fundament (5) Ankerstäbe aufweist, um das Fundament (5) in einem Baugrund zu fixieren.
13. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (6) zumindest teilweise aus Beton gebildet sind.
14. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Segment (6) aus einem mehrlagigen Holzverbundelement (15) gebildet ist, wobei zumindest eine Lage (16, 17, 18) des Holzverbundelementes (15) zumindest teilweise durch mehrere, vorzugsweise miteinander verklebte, Furnierschichten (19) gebildet ist.

15. Fundament (5) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Lage (16, 17, 18) des Holzverbundelementes (15) zumindest teilweise aus Massivmaterial, insbesondere Vollholz oder Beton, gebildet ist.
16. Fundament (5) nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Holzverbundelement (15) eine erste Lage (16) als Zugbereich und eine zweite Lage (17) als Druckbereich umfasst, wobei die erste Lage (16) und zweite Lage (17) durch eine dritte Lage (18) voneinander beabstandet sind und die erste Lage (16) und/oder die zweite Lage (17) zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten, Furnierschichten (19) gebildet sind.
17. Fundament (5) nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Holzverbundelement (15) als Hohlstruktur ausgebildet ist.
18. Fundament (5) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Holzverbundelement (15) als Profil (22) ausgebildet ist, umfassend eine erste Lage (16) und eine zweite Lage (17), die unter Bildung einer Hohlstruktur durch zumindest einen Steg (23), bevorzugt durch mehrere Stege (23), verbunden sind, wobei die erste Lage und/oder die zweite Lage des Profils zumindest teilweise mit mehreren, vorzugsweise miteinander verklebten Furnierschichten (19) gebildet ist.
19. Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen Furnierschichten (19) mindestens eine Verstärkungsschicht (21) eingefügt ist, die Klebstoff und Verstärkungsfasern enthält.
20. Anlage, insbesondere eine Windenergieanlage (1), umfassend einen Turm (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Turm (2) mit einem Fundament (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 19 verbunden ist.
21. Anlage nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Turm (2) formschlüssig mit dem Fundament (5) verbunden ist.
22. Anlage nach Anspruch 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass Segmente (6) des Fundamentes (5) mit Spannseilen an den Turm (2) gespannt sind.

**Hierzu 6 Blatt Zeichnungen**

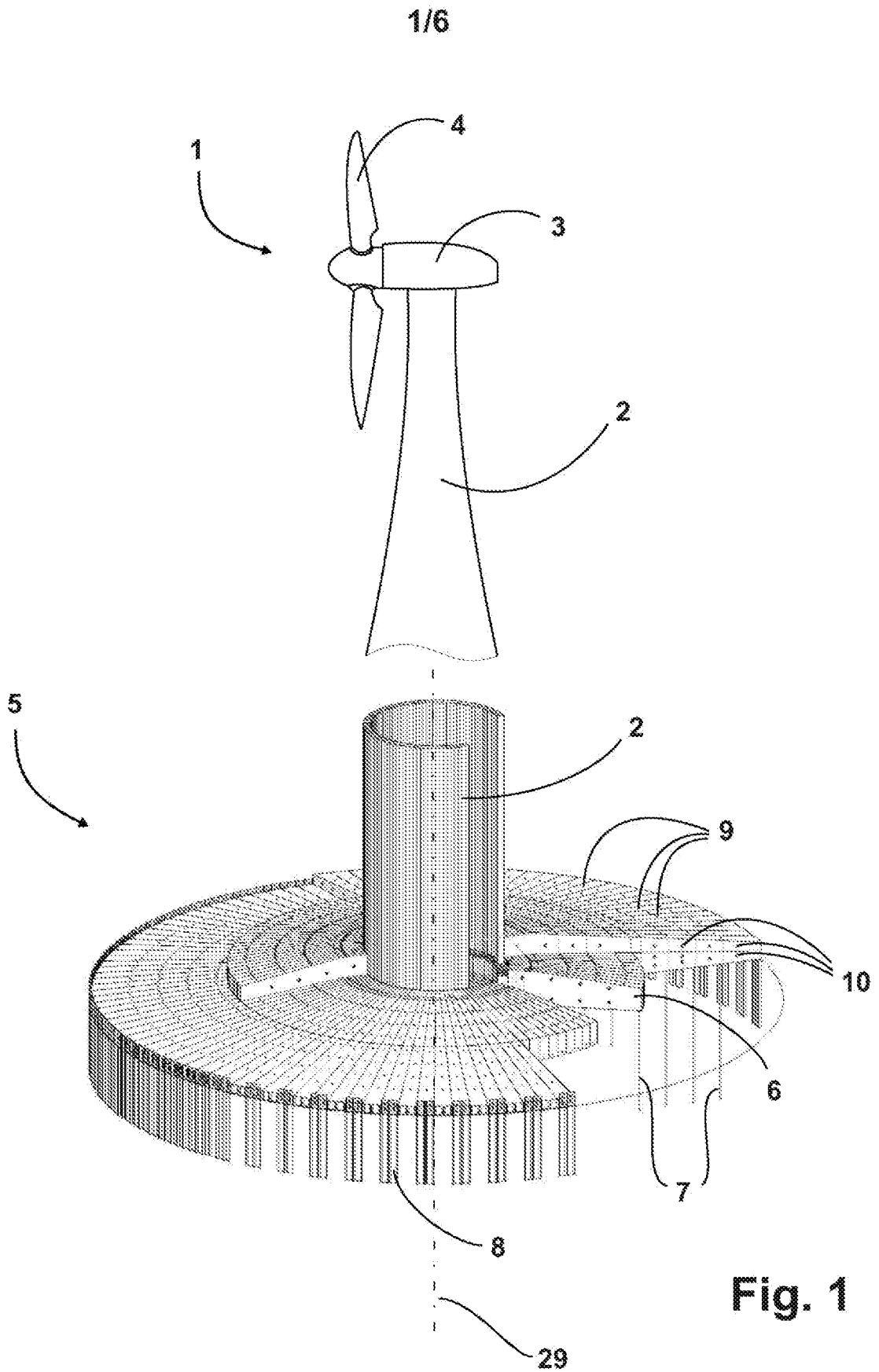
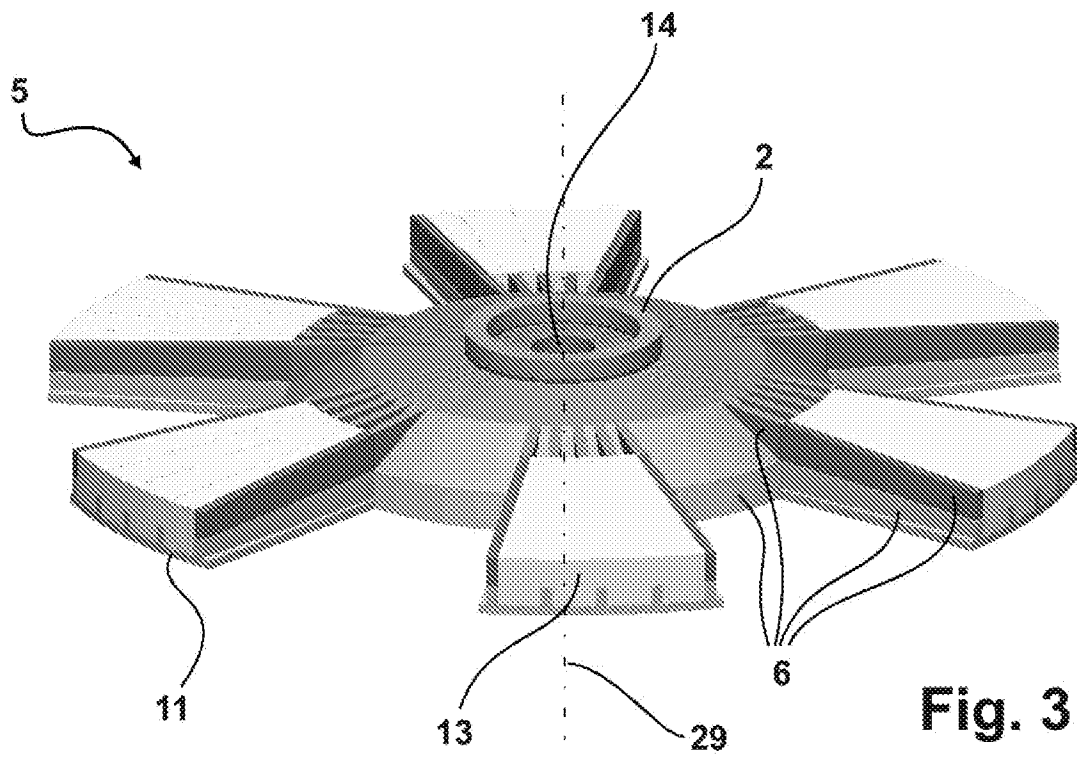
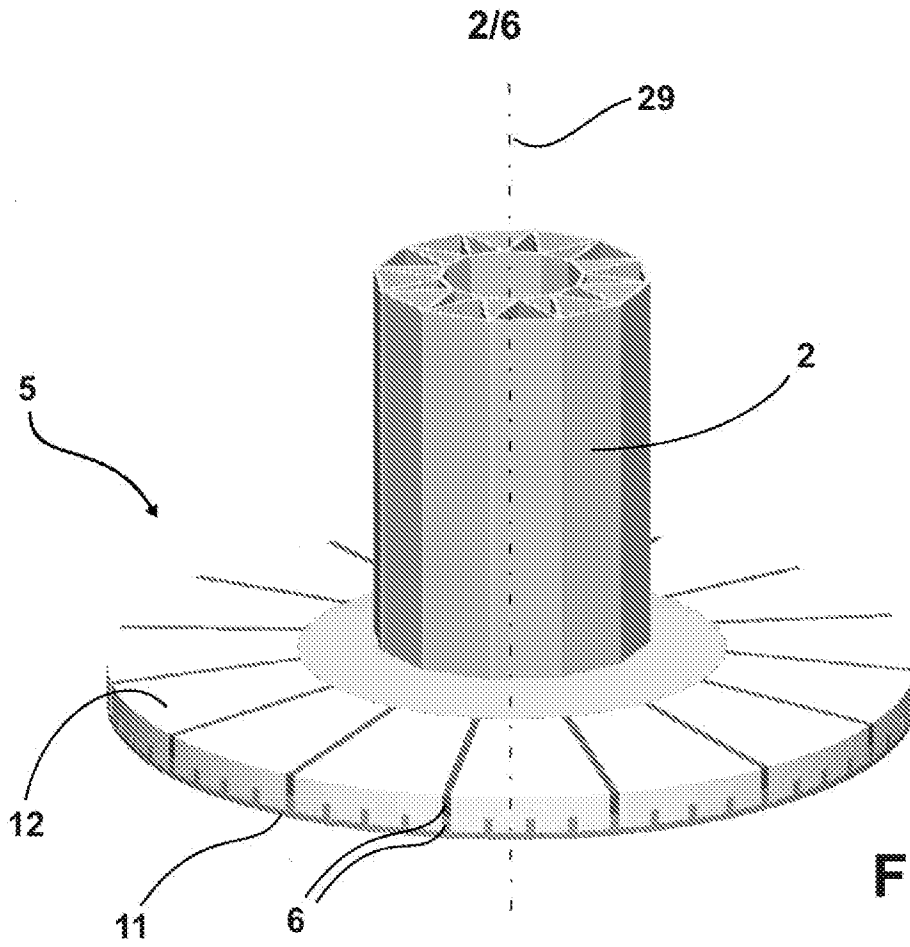
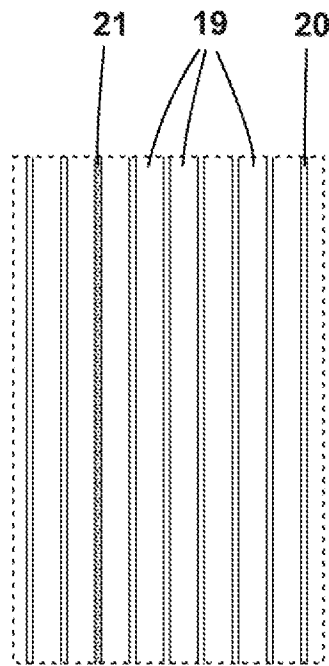
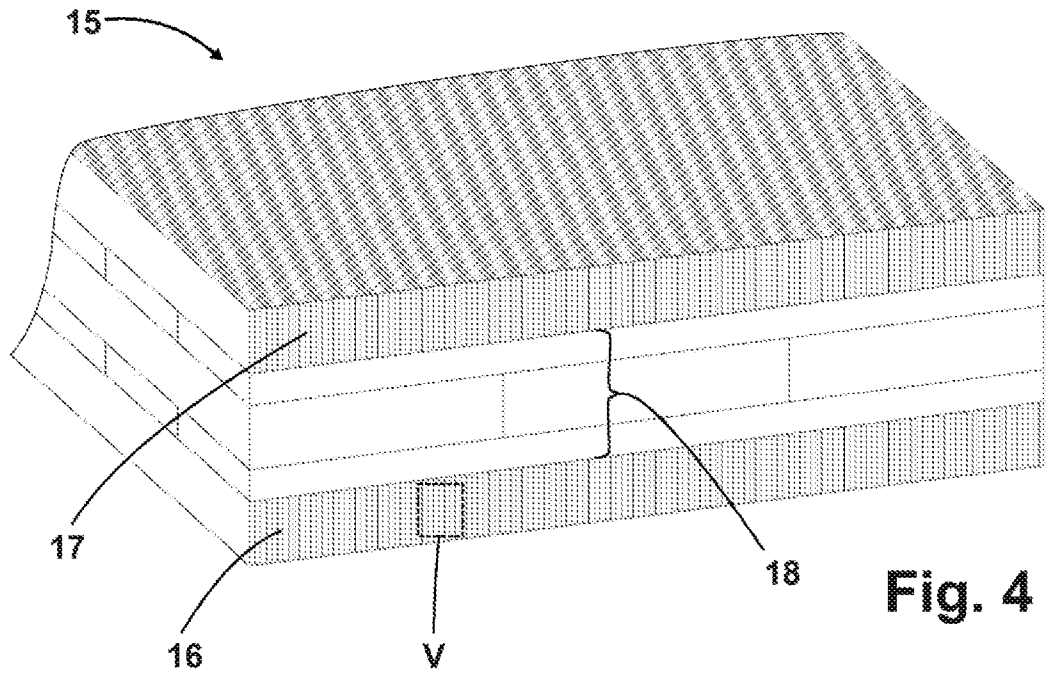


Fig. 1



3/6



4/6

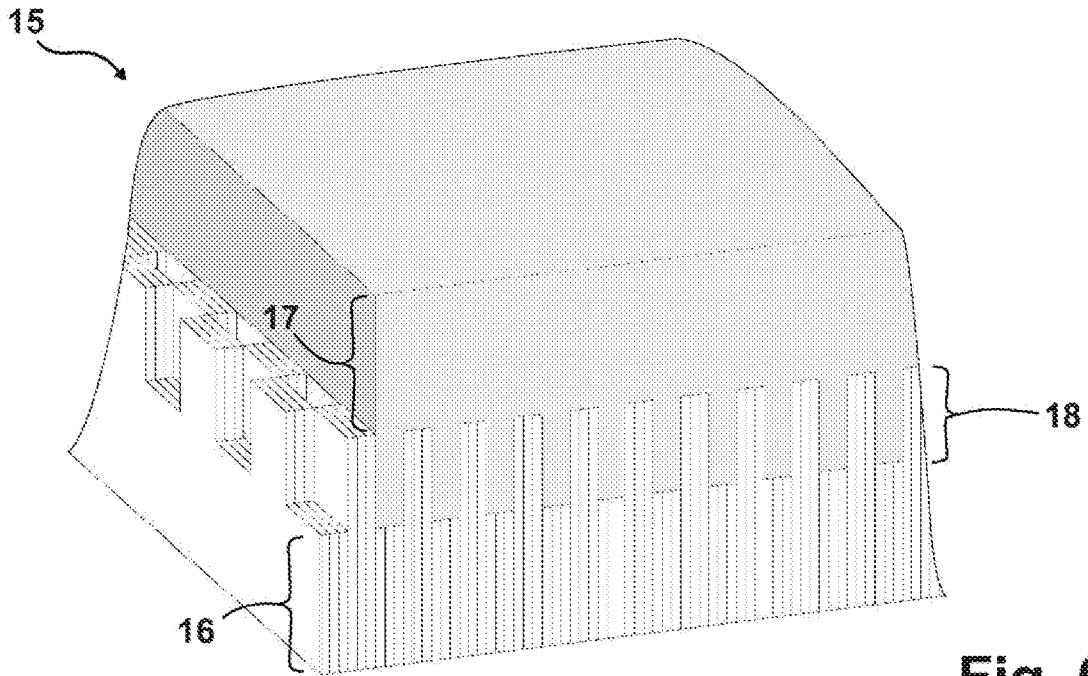


Fig. 6

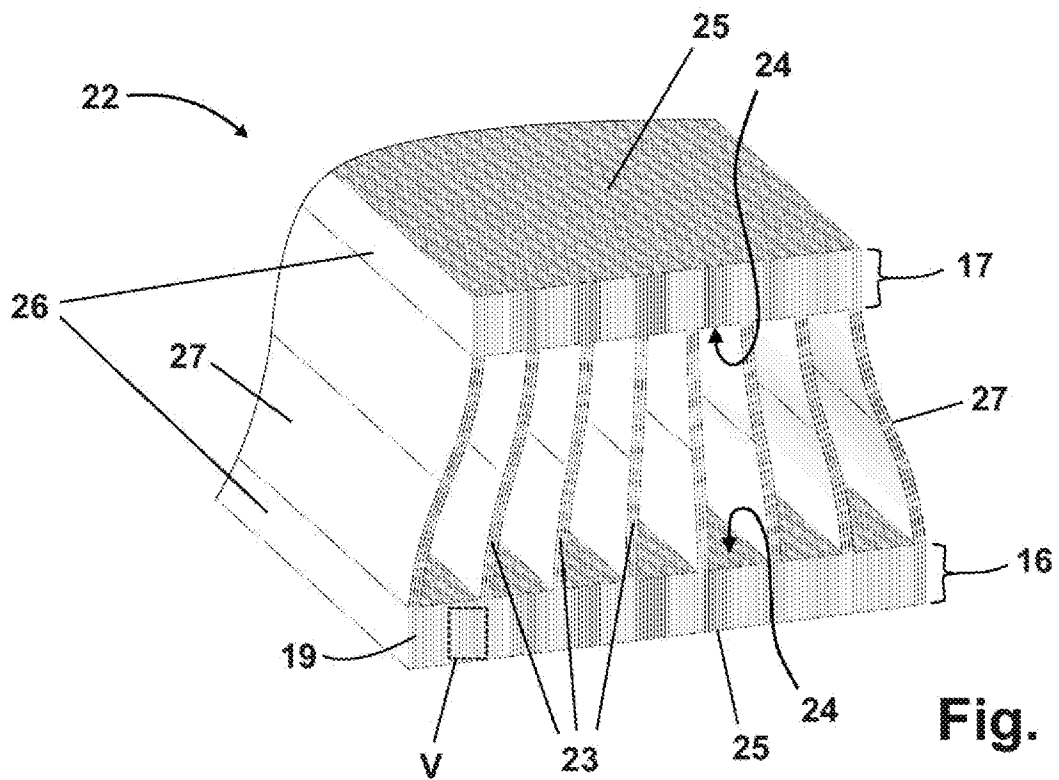
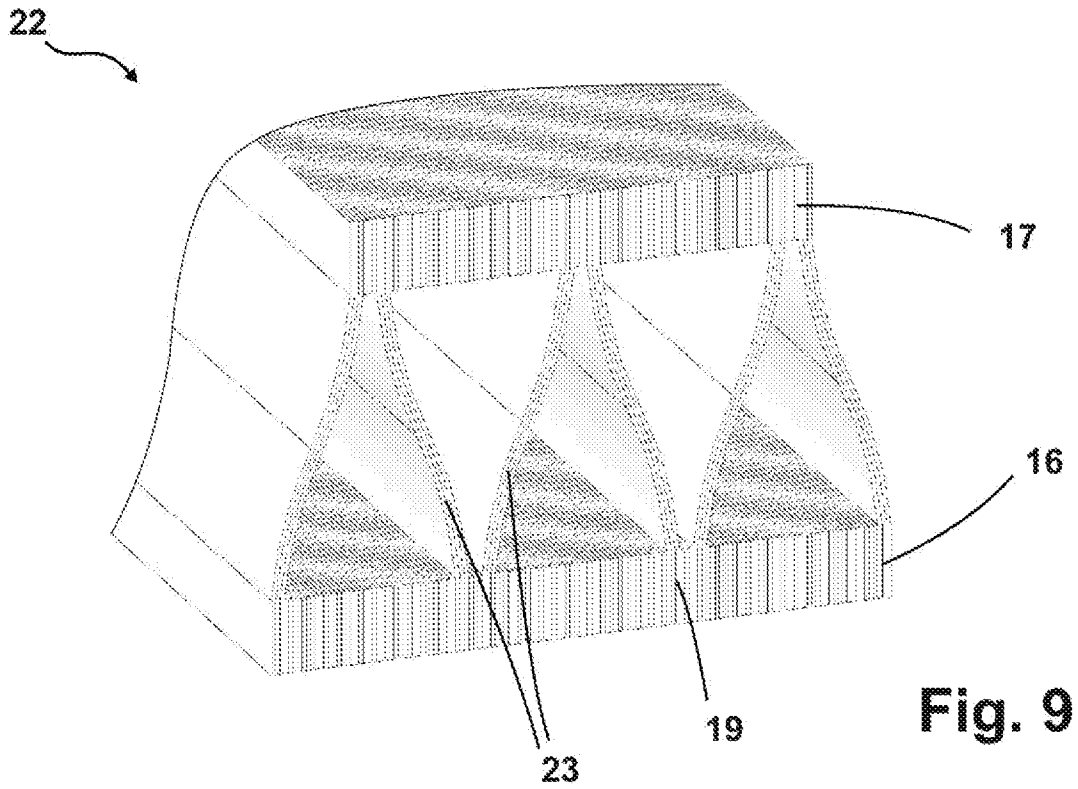
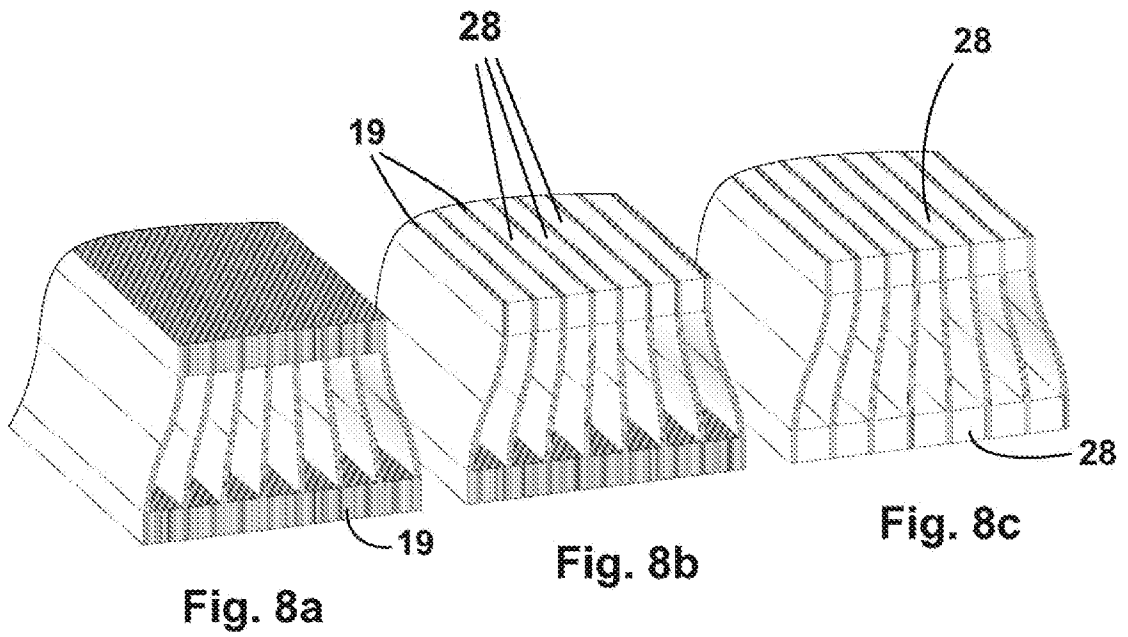


Fig. 7

5/6



6/6

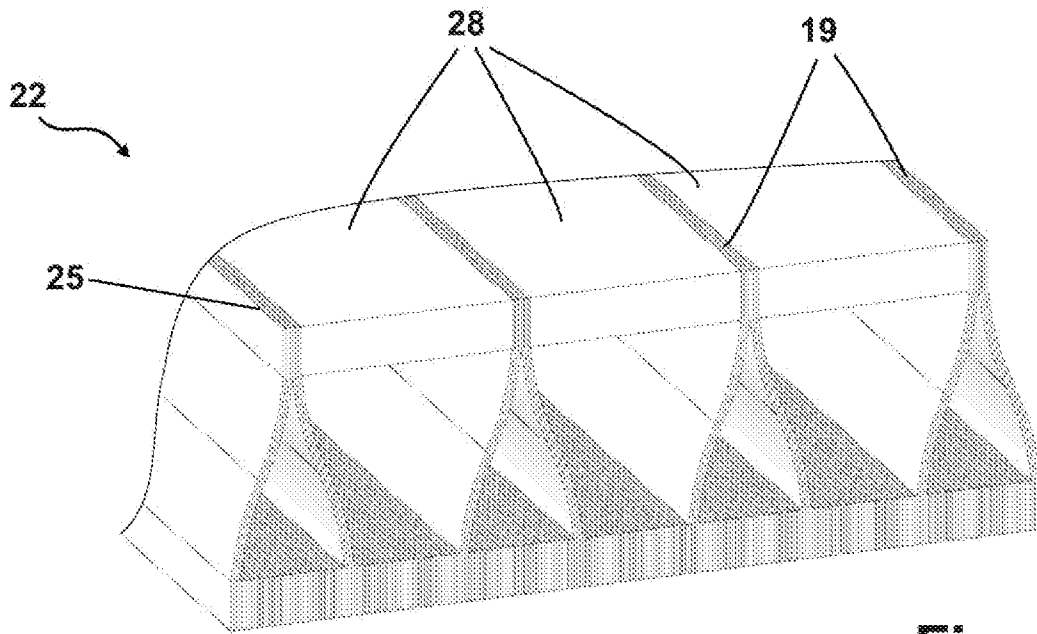


Fig. 10

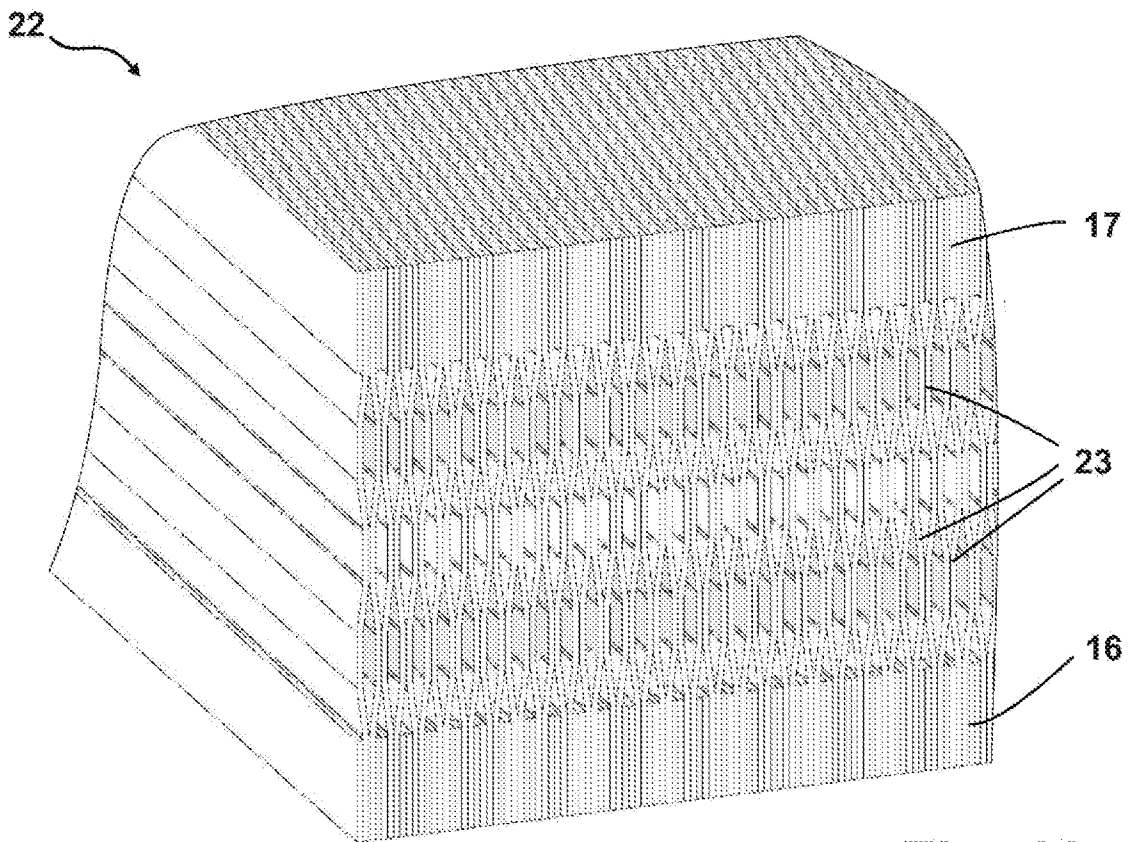


Fig. 11