



(10) **DE 10 2013 215 381 A1** 2015.02.26

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 215 381.3**

(22) Anmeldetag: **05.08.2013**

(43) Offenlegungstag: **26.02.2015**

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

**B29C 70/00 (2006.01)**

**B29C 70/54 (2006.01)**

**B29C 70/50 (2006.01)**

**F03D 11/04 (2006.01)**

**B29C 70/22 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Wobben Properties GmbH, 26605 Aurich, DE**

(74) Vertreter:

**Eisenführ Speiser Patentanwälte Rechtsanwälte  
PartGmbH, 10178 Berlin, DE**

(72) Erfinder:

**Hoffmann, Alexander, 26721 Emden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

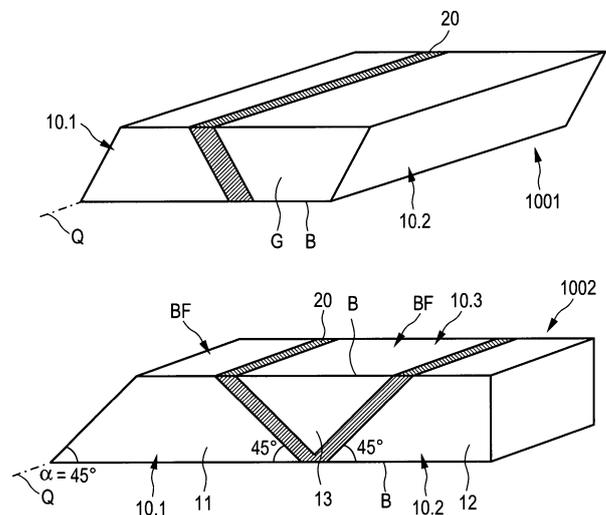
<b>DE</b>	<b>603 03 348</b>	<b>T2</b>
<b>DE</b>	<b>15 04 768</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>2 307 193</b>	<b>B1</b>
<b>EP</b>	<b>1 308 265</b>	<b>A1</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils, Verbundbauteil und Windenergieanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren und ein Verbundbauteil, insbesondere für eine Windenergieanlage, mit einer Vielzahl von wenigstens zweikomponentigen Verbundformteilen, wobei eine erste Komponente aus einem formgebenden Kernmaterial und eine zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht gebildet ist. Erfindungsgemäß ist das formgebende Kernmaterial, der Form eines Prismas folgend als prismatischer Körper, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet, wobei ein Vieleck der Grundfläche eine Basis und einen Winkel zur Basis hat, der zwischen 30°–60° beträgt, und eine Vielzahl der prismatischen Körper sind gefügt, wobei an aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten ausgebildet ist, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von 30°–60° zu einer Basisfläche der Prismen verläuft.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zur Herstellung eines Verbundbauteils für eine Windenergieanlage, mit einer Vielzahl von wenigstens zwei-komponentigen Verbundformteilen, wobei eine erste Komponente aus einem formgebenden Kernmaterial und eine zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht gebildet wird. Die Erfindung betrifft auch ein entsprechendes Verbundbauteil gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Sandwichbauteil, ein Rotorblattelemt und eine Windenergieanlage mit einem solchen Verbundbauteil.

**[0002]** Verbundformteile sind Formteile aus zwei oder mehr miteinander verbundenen Materialien, die als Körper mit festen geometrischen Abmaßen hergestellt sind. Die im Verbund auftretenden Materialien weisen meist funktionale Eigenschaften auf, insbesondere zweckgebunden hinsichtlich ihres Einsatzgebietes. Für die Eigenschaften des erhaltenen Werkstoffes sind stoffliche und unter Umständen auch geometrische Eigenschaften der einzelnen Komponenten von Bedeutung. Dies ermöglicht es, Eigenschaften unterschiedlicher Komponenten miteinander zu verbinden, wodurch die Verbundwerkstoffe breite Anwendungsmöglichkeiten finden. Die für das Endprodukt benötigten Eigenschaften können durch die Wahl unterschiedlicher Ausgangsstoffe für die Komponenten nach Bedarf eingestellt werden.

**[0003]** Ein Verbundbauteil weist meist Eigenschaften auf, die unter Lasteinwirkung ein optimiertes Verhalten des Verbundformteiles darstellen. Die Eigenschaften können hinsichtlich z.B. einer gewissen Festigkeit, Steifigkeit oder Dehnbarkeit zuzuordnen sein. Ein Verbundformteil sollte unter Lasteinwirkung ein optimiertes Verhalten des Verbundes gegenüber einer Einzelkomponente des Verbundes darstellen. Die Entwicklung von Verbundformteilen geht grundsätzlich dahin, dass die geforderten Eigenschaften in Kombination zur Lebensdauer optimiert werden, um einer langjährigen Belastung standzuhalten. Insbesondere bei Rotorblättern und anderen Teilen einer Windenergieanlage werden hohe und stark variierende Lasteinwirkungen ausgeübt, die zudem mit einem an Größe zunehmenden Teil einer Windenergieanlage ebenfalls zunehmen. Insbesondere Rotorblätter sollten der statischen als auch den auftretenden dynamischen Belastungen standhalten.

**[0004]** Verbundbauteile können auf unterschiedliche Art und Weise hergestellt werden. So sind Rotorblätter einer Windenergieanlagen heute hauptsächlich aus Faserverbundwerkstoffen gefertigt, in der verstärkende Fasern, meistens als Matte, in einer Matrix eingebettet sind, meist glasfaserverstärkter Kunststoff. Ein Rotorblatt wird meist in einer Halbscha-

len-Sandwichbauweise hergestellt. In zunehmendem Masse kommt z.B. kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff zum Einsatz. Die hier geforderten Eigenschaften sind zum einen ein geringes Gewicht bei relativ hoher struktureller Festigkeit, sowie verschiedene Härtegrade und eine auf die Lasteinwirkung ausgerichtete Zugfestigkeit. Glasfaserverstärkte- bzw. kohlenfaserverstärkte Materialien könnten, jedenfalls grundsätzlich und unter den obigen Gesichtspunkten, den bisherigen Einsatz von Balsaholz hinsichtlich ihrer optimierten Festigkeit ablösen.

**[0005]** Die typische Verwendung von Verbundbauteilen ist die Integration derselben in eine Sandwichbauweise; dabei werden mehrere Schichten mit verschiedenen Eigenschaften eingebettet, um ein entsprechend eingestelltes Bauteil zu erhalten. Konstruktiv sind zum einen die Materialien, als auch die Orientierung bzw. Ausrichtung der einzelnen Komponenten von Bedeutung. Das Kernmaterial kann aus Materialien wie beispielsweise Papier, Pappe, Kunststoffe, Metalle, Balsaholz, Wellblech, Kunststoffe, Schaumstoffe und weiteren formgebenden Komponenten bestehen, meist verbunden mit konstruktiven Hohlräumen. Die Aufgabe des Kernmaterials ist es, Zugkräfte als auch Schubkräfte zu übertragen und die Deckschichten zu stützen.

**[0006]** Faserverstärkte Komponenten oder Verbundbauteile weisen Fasern in einem Laminat-Material verteilt auf, wobei die Fasern in mindestens einer bestimmten Richtung orientiert sind, um die höherwertige Eigenschaft des Faserverbundwerkstoffes zu erreichen. Grundsätzlich jedenfalls kann man drei wirkende Phasen im Material unterscheiden: sehr zugfeste Fasern, eine zunächst jedenfalls relativ weiche, einbettende Matrix und eine die beiden Komponenten verbindende Grenzschicht. Die Fasern können typischerweise aus Glas, Kohlenstoff, Keramik aber auch Aramid, Nylonfasern, Betonfasern, Naturfasern oder Stahlfasern bestehen. Die einbettende Matrix selbst, meist Polymere, hat eine material-spezifische Biegesteifigkeit, hält die Fasern in ihrer Position überträgt Spannungen zwischen ihnen und schützt die Fasern vor äußeren mechanischen und chemischen Einflüssen. Die Grenzschicht dient der Spannungsübertragung zwischen den beiden Komponenten. Problematisch bei faserverstärkten Verbundbauteilen sind mögliche Rissbildungen der jeweiligen Fasern in den beanspruchten Bereichen des Bauteils; diese können aufgrund von vor allem Biegemomente infolge einer erhöhten dynamischen mechanischen Belastung entstehen.

**[0007]** Faserverstärkte Komponenten oder Verbundbauteile mit jeweils einer bestimmten Anzahl von Fasern in einem Laminat- oder Matrixmaterial verbessern jedoch die mechanische Leistung der jeweiligen Komponenten erheblich. Für materialspezifische Kenngrößen wie Schubsteifigkeit und Biege-

steifigkeit sowie die Konzentrierung der Fasern in eine definierte Richtung, können die mechanischen Stützeigenschaften der jeweiligen Komponenten im Einzelnen gezielt eingestellt werden, insbesondere in Bezug auf die Zugfestigkeit des jeweiligen des Verbundes. Ein Faktor zur Bemessung von Faserverbundwerkstoffen ist das Volumenverhältnis zwischen Fasern und Matrix. Je höher der Anteil an Fasern ist, desto fester, jedoch auch spröder wird der Verbundwerkstoff. Neben der Zugfestigkeit kann, falls der Verbund auf Druck beansprucht wird, auch die Schub- und Biegesteifigkeit eine Rolle spielen. Insbesondere ist zudem grundsätzlich bekannt, dass durch einen sogenannten sandwichartigen Verbundaufbau mit einem Kern und einer oder zwei Deckschichten --dem Prinzip eines T-Trägers folgend-- eine hohe mechanische Steifigkeit des Verbundes erreicht werden kann mittels einem mäßig schubsteifen Kern und wenigstens einer vergleichsweise biegesteifen Deckschicht wobei der Verbund gleichwohl in Leichtbauweise realisiert werden kann.

**[0008]** Es ist bekannt, dass geschäumte thermoplastische Kunststoffe als Kernschicht in Sandwichverbänden oder Verbundbauteilen eingesetzt werden. Die Herstellung von geschäumten Kunststoffplatten kann beispielsweise mittels eines Extrusionsverfahrens erfolgen. Für anspruchsvolle Anwendungen sind Sandwichverbände erforderlich, in denen thermoplastische Kunststoffe mit Fasern versehen werden, erforderlich, welche über ein hohes Maß an Festigkeit und Steifigkeit, insbesondere Schub- und Biegesteifigkeit für Druck und Scher-Belastungen, verfügen. Die Erhöhung der Materialkennwerte kann linear durch eine Aufsummierung von Schichtverbänden erfolgen. Eine zu hohe Masse an Verbundbauteilen kann jedoch ein hohes spezifisches Gewicht des einzelnen Bauteils bedingen. Es ist daher wünschenswert neben der Materialauswahl auch konstruktive Maßnahmen vorzusehen, mittels denen ein Eigenschaftsbedarf des Verbundbauteiles entsprechend angepasst und/oder verbessert werden kann.

**[0009]** EP 2 307 193 offenbart ein flächenförmiges Strukturelement, wobei ein Schaumstoffkörper durch in einer Ebene nebeneinander angeordnete und miteinander zum Schaumstoffkörper verbundenen Körpersegmenten besteht, die an ihren anstoßenden Flächen flächige Schweißnähte aufweisen und dabei die Schweißnähte von in einem Abstand zueinander stehenden Ausnehmungen unterbrochen sind. Hierbei ist das flächenförmige Strukturelement insbesondere plattenartig und findet bevorzugt Einsatz als Kern oder als Kernschicht in Sandwichverbänden, beispielsweise in Rotorflügeln von Windkraftwerken.

**[0010]** In der EP 1 308 265 wird ein Bauteil in langgestreckter Bauweise offenbart, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass geschichtete, zueinander parallele Platten aus einem Faserkunststoffverbund be-

stehen. Wünschenswert ist ein verbessertes Verbundbauteil, das sich zum Einsatz bei Windenergieanlagen eignet.

**[0011]** An dieser Stellung setzt die Erfindung an, deren Aufgabe es ist, ein Verbundbauteil, eine Windenergieanlage und ein Verfahren anzugeben, die hinsichtlich des Standes der Technik verbessert sind, wenigstens aber eines der oben beschriebenen Probleme zu adressieren. Zumindest soll eine alternative Lösung zu einer im Stand der Technik bekannten Lösung vorgeschlagen werden. Insbesondere soll ein Verbundbauteil und ein Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils derartig gestaltet sein, dass sich eine vereinfachte und gleichwohl weiterentwickelte Möglichkeit bietet, das Bauteil im Hinblick auf Steifigkeit und/oder Festigkeit zu optimieren. Insbesondere soll das Verbundbauteil und das Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils in verbesserter Art und Weise umsetzbar sein. Insbesondere sollen das Verbundbauteil und das Verfahren eine langfristige und den Lasteinwirkungen entgegen gerichtete Steifigkeit und/oder Festigkeit ermöglichen, vorzugsweise unter Erhöhung sowohl der Biege- als auch Schubsteifigkeit.

**[0012]** Betreffend das Verfahren wird die Aufgabe durch die Erfindung mit einem Verfahren des Anspruchs 1 gelöst. Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils für eine Windenergieanlage, mit einer Vielzahl von wenigstens zwei-komponentigen Verbundformteilen, wobei eine erste Komponente aus einem formgebenden Kernmaterial und eine zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht gebildet wird.

**[0013]** Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass ein Verbundbauteil aus zwei Komponenten hinsichtlich der angeforderten Materialeigenschaften durch eine Kombination optimiert werden kann. Hierbei werden Lösungen gefunden, welche die beiden Komponenten betreffen; so können Verbundbauteile mit z. B. einer gerichteten Faser innerhalb einer Einbettmatrix vorgesehen sein, um höheren Lasten entgegenzuwirken. Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass ein Verbundbauteil angefertigt werden sollte derart, dass ein Verbinden hinsichtlich einer Sandwichkonstruktion oder ähnlichen Konstruktionen möglich ist, insbesondere sollte dies durch Verkleben oder Verfügen, insbesondere Heißfügen oder Kleben möglich sein. Die Erfindung hat erkannt, dass ein Verbundbauteil verbesserte verbundspezifische Materialeigenschaften erhält, wenn neben der Wahl der Materialien die konstruktive Form des Verbundbauteiles dahingehend ausgelegt ist, dass Kräfte im Verbund verbessert aufgenommen werden können.

**[0014]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das formgebende Kernmaterial, der Form eines Prismas

folgend als prismatischer Körper, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet wird, wobei ein Vieleck der Grundfläche eine Basis und einen Winkel zur Basis hat, der zwischen  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  beträgt, und eine Vielzahl der prismatischen Körper gefügt werden, wobei sich an aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten bildet, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  zu einer Basisfläche wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft.

**[0015]** Vorteilhaft wird gemäß dem Konzept der Erfindung Längs- und Querausrichtung von Fasern oder Fäden oder dergleichen Stränge auf die geometrische Form des Kerns übertragen; insbesondere eine Längs- und Querausrichtung ergänzend unter Verwendung von Faserverbundbauteilen unterstützt. Das Verbundbauteil weist bei Lasteinwirkung, wie Zug oder Druck, aber auch bei Schubbeanspruchung entsprechend eine makro-mechanische Festigkeit auf, welche sich aus der orientierten Steifigkeit der Fügenschichten und die Kombination der Materialien ergibt.

**[0016]** Während das formgebende Kernmaterial eine funktionale Orientierung der Fügenschichten vorgibt, die gemäß einem Kräfteparallelogramm Zugkräfte in unterschiedlichen Richtungen abtragen kann, kann entlang der Schenkel ein Bauteil gefügt werden, welches Schub- und Torsionsspannungen aufnehmen kann und den entsprechenden Lasteinwirkungen wie Zug oder Druck und der entsprechenden Biegefestigkeit entgegenwirken kann. Das Fügen an den jeweiligen durch die Schenkel vorgegebenen Winkeln der funktionalen Orientierung erweist sich hier als vorteilhafte Maßnahme, die ggfs. durch eine Wahl des Winkels noch beeinflusst werden kann.

**[0017]** Gemäß dem Konzept der Erfindung kann einem dreidimensionalen Spannungstensor entgegen gewirkt werden. Die vieleckige Grundfläche gibt die unterschiedlichen Orientierungsmöglichkeiten vor und bildet das Grundgerüst für das Geflecht der Fügenschichten, das der Lasteinwirkungen entgegenwirken. Die im Stand der Technik erwähnten konstruktiven Merkmale sind auf die Kraftnormalen (was einem einachsigen Spannungstensor entspricht) ausgerichtet dahingehend, dass eine Kraft senkrecht zur Oberfläche einwirkt. Darüberhinaus kann jedoch eine dreidimensionale Lasteinwirkung mit der gemäß dem Konzept der Erfindung vorteilhaften Kräfteverteilung in Abhängigkeit der Anordnung und der Fügmassen ermöglicht werden. Das Konzept ermöglicht eine Ausrichtung des Kernmaterials, welches den Festigkeiten entgegenwirkt, indem die Fügenschichten schräg zur Hauptstreckung des Bauteiles laufen und somit die Funktion von zusätzlichen verstärkenden konstruktiven Maßnahmen darstellen zu ei-

nem entsprechend in der Festigkeit gesteigerten Verbundbauteil.

**[0018]** Über die Wahl der Größe der Grundfläche können die Materialeigenschaften dahingehend variiert werden, dass sich durch die Größe der Fläche und somit durch den Volumenanteil des formgebenden Kerns die Materialkerngrößen bezüglich der Schubfestigkeit und Schubsteifigkeit einstellen lassen. Durch das Fügen der Schenkel in einer bestimmten geometrischen Anordnung, dem entsprechenden Winkelverlauf und einem entsprechenden Volumenanteil können Druckfestigkeit und Steifigkeit eingestellt werden, um somit insgesamt ein konstruktives und materialspezifisches Verbundbauteil zu erzeugen. Insbesondere die strukturelle Anordnung der formgebenden Kernmaterialien bezogen auf deren Schenkel führt zu einer optimierten und verbesserten konstruktiven Bauweise eines Verbundbauteiles, welches somit erhöhten Festigkeiten aufweisen kann.

**[0019]** Betreffend das Verbundbauteil wird die Aufgabe durch die Erfindung mit einem Verbundbauteil des Anspruchs 9 gelöst.

**[0020]** Die Erfindung geht aus von einem Verbundbauteil für eine Windenergieanlage mit einer Vielzahl von wenigstens zwei-komponentigen Verbundformteilen, wobei eine erste Komponente aus einem formgebenden Kernmaterial und eine zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht gebildet ist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das formgebende Kernmaterial, der Form eines Prismas folgend als prismatischer Körper, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet ist, wobei ein Vieleck der Grundfläche eine Basis und einen Winkel zur Basis hat, der zwischen  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  beträgt, und

– eine Vielzahl der prismatischen Körper gefügt sind, wobei an aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten ausgebildet ist, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  zu einer Basisfläche wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft.

**[0021]** Das Konzept der Erfindung führt auch auf ein Verbundbauteil in Form eines Sandwichbauteils des Anspruchs 15. Eine bevorzugte Weiterbildung ist ein Sandwichformteil, welches mindestens eines der Verbundbauteile als Kernmaterial beinhaltet mit mindestens einer Deckschicht. Diese Weiterbildung schließt die Konstruktion eines Sandwichformteils mit ein, bei dem das Verbundbauteil aus einer kraftaufnehmenden Deckenlage besteht, die durch einen Kernwerkstoff auf Abstand erhalten wird. Die vorliegende Weiterbildung ermöglicht somit die zuvor genannten Eigenschaftskombinationen mit endlichen Maximalwerten, bei geringem Gewicht in einem Sandwichbauteil zu integrieren, welches in der Sum-

me durch den linearen Zuwachs der Nennwerte bei höheren Lasteinwirkungen dauerhaft entgegenwirkt.

**[0022]** Des Weiteren führt das Konzept der Erfindung auch auf ein Verbundbauteil in Form eines Rotorblattelements des Anspruchs 16. Eine Weiterbildung beinhaltet ein Rotorblattelement unter Verwendung von mindestens einem Verbundbauteil als Kernmaterial. Insbesondere wird ein optimiertes Verbundbauteil in die Konstruktion eines Rotorblattes und insbesondere zudem in die des Rotorblatts typische Halbschalenbauweise integriert, um eine optimierte Dauerfestigkeit und Druckfestigkeit zu erzielen. Bevorzugter Weise ist das Rotorblatt optimiert hinsichtlich der anstehenden Zieh- bzw. Gravitationskräfte während des Betriebs. Dabei ist durch die Verwendung dieses Verbundbauteils eine Rissminimierung bzw. eine minimierte Rissfortpflanzung aufgrund des formgebenden Kerns als thermoplastischer Kunststoff erreicht.

**[0023]** Die Erfindung führt auf eine Windenergieanlage des Anspruchs 17, insbesondere mit einem Rotorblatt, welches mindestens ein Verbundbauteil aufweist. Da durch die immer größer werdende Dimensionierung der Rotorblätter und durch das strukturdynamische Verhalten der Rotorblätter immer größere Lasten zu erwarten sind, können diese mit dem Verbundformteil entsprechend den eingestellten materialspezifischen Kennwerten und dem konstruktiv zusammengefügt Verbundbauteil in verbesserter Weise aufgenommen werden. Die bislang verwendeten Materialien hinsichtlich ihrer materialspezifischen Eigenschaften sind aufgrund der vorgegebenen Masse limitiert und können daher durch solchen Materialien ersetzt werden, die zusätzlich konstruktive Maßnahmen zur Festigkeitssteigerung aufweisen.

**[0024]** Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen und geben im Einzelnen vorteilhafte Möglichkeiten an, das erweiterte Konzept im Rahmen der Aufgabenstellung sowie hinsichtlich weiterer Vorteile zur realisieren.

**[0025]** Insbesondere hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass das Fügen von mehreren Prismen an den aufeinandertreffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschicht im Winkel von praktisch  $45^\circ$  zu einer Querachse des und/oder der Prismen bilden. Insbesondere gilt dies für eine funktionale Orientierung der Fügenschicht in einem Winkel von  $45^\circ$ , d.h. wobei der Winkel zur Basis des Vielecks bei  $45^\circ$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^\circ$ , vorzugsweise  $\pm 5^\circ$ , liegt. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass sich an den aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten bildet, die in einem Winkel von  $45^\circ$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^\circ$ , vorzugsweise  $\pm 5^\circ$ , zu der Basisfläche des und/oder der Prismen verläuft.

**[0026]** Im Rahmen einer besonders bevorzugten Weiterbildung ist das formgebende Kernmaterial, der Form eines zylindrischen Körpers folgend, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet.

**[0027]** Es kann in einer Variante einer Weiterbildung jedoch auch das formgebende Kernmaterial zu einem prismatischen Körper in Form eines dreidimensionalen Polyeders gefügt werden, wobei der Winkel der Polyederflächen  $30^\circ$ – $60^\circ$ , vorzugsweise eine Polyederfläche einen Winkel von  $45^\circ$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^\circ$ , vorzugsweise  $\pm 5^\circ$  zur Basisfläche und/oder Querachse beträgt. Insbesondere ist bei einem Verbundbauteil das formgebende Kernmaterial zu einem dreidimensionalen Polyeder gefügt, wobei der Winkel der Polyederflächen  $30^\circ$ – $60^\circ$ , vorzugsweise ein Winkel von  $45^\circ$ , zur Basis beträgt. In dieser Weiterentwicklung wird die konstruktive Maßnahme zur Aufnahme der anliegenden Kräfte durch ein entsprechendes vielfächiges Gebilde realisiert. Die hier anliegenden Schenkel können konstruktiv leicht miteinander verfügt werden und entsprechend der Geometrie aufeinander geklappt werden. Dabei ist diese Weiterbildung eine Möglichkeit, ein Schichtsystem dahingehend zu konstruieren, indem an den Basisflächen weitere Ebenen aufgebaut werden und die Kräfteeinwirkung entsprechend der Schenkelausrichtung abgeführt wird.

**[0028]** Insbesondere sieht ein Verbundbauteil als eine zweite Komponente eine funktionale Orientierung von Fasern als Ummantelung des formgebenden Kernmaterials mit einem Winkel von  $30^\circ$  bis  $60^\circ$  vorzugsweise einen Winkel von  $45^\circ$  vor. Die Weiterbildung bietet eine zusätzliche vorteilhafte Verfestigung des Verbundbauteils hinsichtlich der Schub- und Torsionsspannungen an. Eine konstruktive Lösung des dreidimensional formgebenden Kernmaterials sowie die Ummantelung mit einer bestimmten Faserorientierung können verhältnismäßig hohe Druckfestigkeiten erreichen und einer hohen Lasteinwirkung entgegenwirken. Dem anliegenden dreidimensionalen Spannungstensor wirkt zum einen die dreidimensionale Orientierung der festigkeitssteigernden Fügenschicht entgegen und zum anderen die in den Fügenschichten integrierte funktionale Orientierung der Fasern. Es wird die Belastungsgrenze des Bauteils im Hinblick auf die Lebensdauer bei statischen und dynamischen Lasteinwirkungen auf ein Bauteil, welches in einer derartigen Weise gefertigt wurde, besonders vorteilhaft erhöht.

**[0029]** Für eine bevorzugte Weiterbildung ist ein Verbundbauteil vorgesehen, wobei das formgebende Kernmaterial und die Fügenschicht ein Querschnittsmuster aus flächig gefügten Sechsecken ergibt und aufeinandertreffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten im Winkel von  $30^\circ$  bis  $60^\circ$  zur Querachse bilden, wobei die Querachse parallel zur Basis der sechseckigen Grundfläche ausge-

richtet ist. Unter Weiterbildung des an sich bekannten Prinzips von Wabenmaterialien kann mittels einer Sechseck-Konstruktion eine besonders hohe Festigkeit hinsichtlich dynamischer und statischer Belastungen erzielt werden. Diese vorteilhafte Struktur in Verbindung mit eingesetzten Materialien kann besonders für große – vor allem dynamische – Lasteinwirkungen verwendet werden. Die hier beschriebene Form des konstruktiv formgebenden Kernmaterials ermöglicht zudem ein einfaches Prozessieren des Fügens im besagten Winkel und bietet ein vergleichsweise großes Netz an Fügenschichten, welches eine Kräfteverteilung erlaubt.

**[0030]** Insbesondere ist bei einem Verbundbauteil das formgebende Kernmaterial mindestens eine Komponente der Gruppe Acrylnitril-Butadien-Styrol, Polyamide, Polylactat, Polymethylmethacrylat, Polycarbonat, Polyethylenterephthalat, Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Polyetheretherketon und Polyvinylchlorid aufweist.

**[0031]** Im Rahmen der bevorzugten Weiterbildung kann für das formgebende Kernmaterial eine Komponente eingesetzt werden, die hinsichtlich der Lasteinwirkung spezifische Materialkennwerte aufweist. Dabei kann die Summe mehrerer formgebender Kernmaterialien den gewünschten maximalen verbundspezifischen Kennwert erreichen. Die Kombination aus den verschiedenen Materialien ermöglicht eine lokale Einstellung der Materialkenngrößen hinsichtlich angreifender Kräfte zusätzlich zur lokalen geometrischen Kräfteverteilung. Damit können bei verschiedenen bzw. mehreren thermoplastischen Kunststoffen ein bauteilspezifischer und konstruktionsspezifischer Materialkennwert eingestellt werden, der darüber hinaus durch die konstruktive Maßnahme der aufeinanderfolgenden Schenkel und entsprechender Fügenschicht eine optimierte Lösung für eine große Krafteinwirkung darstellt. Bevorzugt fügt beim Verbundbauteil die zweite Komponente den Verbund aus mehreren Prismen zu einem thermoplastischen verformbaren Bauteil zusammenfügt mit vergleichsweise erhöhter Steifigkeit gegenüber dem formgebenden Kern.

**[0032]** Diese und andere Weiterbildungen ziehen Vorteil daraus, dass die Fügenschicht zwischen den einzelnen formgebenden Kernmaterialien eine erhöhte Schubfestigkeit aufweist, um den Widerstand eines Körpers gegen elastische Verformung durch eine entsprechende Kräfteverteilung zu ermöglichen. Die hier geforderte erhöhte Schubfestigkeit führt zu einer erhöhten Festigkeit innerhalb des Bauteiles und trägt dazu bei, dass die Kräfte entsprechend der geometrischen und der materialspezifischen Kenngröße verteilt werden. Die Schubfestigkeit kann in diesem Falle höher sein als die des formgebenden Kernmaterials, da die orientierten Fügenschichten die Weiterleitung der entsprechenden Schub- und Torsionsflä-

chen begünstigen. Die Kraft bzw. die Materialkomponente der Fügenschicht kann hinsichtlich der Lasteinwirkung eine entsprechend erhöhte Schubsteifigkeit, gekoppelt mit einer gewissen Biege und Torsionssteifigkeit, vorweisen.

**[0033]** Insbesondere kann ein Verbundbauteil vorgesehen sein, bei dem das formgebende Kernmaterial durch zusätzlich innenliegende funktional gerichtete Fasern verstärkt ist. Die Kräfteverteilung kann vorzugsweise an den Fügenschichten erfolgen und damit Tangentialkräfte aufnehmen sodass Riss- bzw. Bruchstellen entgegen gewirkt werden.

**[0034]** Funktional gerichtete Fasern, die den formgebenden thermoplastischen Kunststoff verstärken, können diesen hinsichtlich seiner materialspezifischen Kenngröße optimieren. Fasern, Fäden oder dergleichen Stränge können in der Art und Weise ausgerichtet sein, dass sie die entsprechenden Kräfte aufnehmen und diesen entgegenwirken. Damit kann in der Makromechanik als auch Mikromechanik eine Möglichkeit gegeben sein Lasteinwirkungen und hohen dynamischen Belastungsspitzen, entsprechend konstruktiver und schichtspezifischer Lösungen, entgegenzuwirken.

**[0035]** Insbesondere können Fasern bzw. den Fäden oder dergleichen Geflecht-Gestricke- oder Gewebestruktur in eine Fügenschicht eingebracht werden und können somit hohe Schub- und Torsionskräfte aufnehmen. Die einwirkenden Lasten, welche sich mehrachsig aufteilen und in der Ebene ein Flächenparallelogramm aufspannen, werden hier auch durch das konstruktive Merkmal, der geometrischen Ausrichtung der Fügenschicht aufgenommen. Hierbei kann zum einen durch die Variation der Vielecke ein Verbundbauteil gebaut werden, welches beliebig in der Breite und Höhe zusammen gesetzt werden kann und welches lokal unterschiedlich auftretende Kräfte durch entsprechend geometrische Lösungen aufnehmen kann. Dabei sind die konstruktiven Merkmale die Merkmale, an denen sich die Schenkel in der Art und Weise berühren, dass sie einen Winkel zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  ausbilden bzw. einem bevorzugten Winkel von  $45^\circ$ . Dieser bevorzugte Winkel von  $45^\circ$  ist dem geschuldet, dass die Schub- und Torsionskräfte im  $45^\circ$ -Winkel auftreten. Zum anderen kann die Kombination der Materialien für Kernmaterial und Faser vorteilhaft genutzt werden, so dass hier zudem neben der Geometrielösungsmöglichkeit auch eine entsprechend ausgerichtete Materiallösung möglich ist. Das Fügen erfolgt über die Schenkel und bildet gemäß der eingesetzten Materialien eine entsprechende Festigkeit und Steifigkeit erhöhende, die Fasern aufweisende Schicht, welche die Kräfte bei Lasteinwirkung dauerhaft aufnehmen kann. Die Weiterleitung der Kräfte und die Verteilung erfolgt über das formgebende Kernmaterial, welches in Abhängigkeit von Volumen den duktilen Charakter erhöhen kann.

**[0036]** Insbesondere kann die zweite Komponente in Form einer Matte eingelegt werden und den formgebenden Kern mit zusammenfügen. Durch Einlegen von Matten kann ein einfaches Zusammenklappen von prismatischen Körpern ermöglicht werden, um so die erwähnten funktional ausgerichtete Schenkel mittels zwei oder mehr zusammengeklappten prismatischen Körpern, insbesondere Polyedern oder zylindrischen Körpern, zu bilden. Hierbei ist durch die geometrische Form des formgebenden Kernmaterials der Lösungseinsatz ein einfaches und kostengünstiges Herstellungsverfahren, welches zudem eine verbesserte Eigenschaft hinsichtlich der einzelnen Materialien vorweist. Die funktionale Orientierung wird hier durch die Matten hinsichtlich der eingestellten Eigenschaftsprofile gelöst. Dabei sind diese Matten funktionaler Bestandteil des Verbundbauteils und können die Festigkeit entsprechend steigern.

**[0037]** Die Verteilung von Fasern vorzugsweise in einem Winkel von  $45^\circ$  kann Lasten – in der dadurch definierten Fläche typischerweise optimiert – bei diesem Winkel in verbesserter Weise entgegenwirken und deutlich Festigkeit erhöhend wirken. Es wurde erkannt, dass dynamische Belastungen vor allem ausgelöste Risse, auch Ermüdungsrisse genannt, bedingen, die typischerweise im  $45^\circ$ -Winkel zur Flächennormalen auftreten. Durch die Ausrichtung der Fasern kann die Rissbildung derartig reduziert werden, dass eine höhere Dauerfestigkeit vorausgesetzt werden kann.

**[0038]** Bevorzugt wird in einem Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils das formgebende Kernmaterial extrudiert. Die Herstellung der geometrischen Form des thermoplastischen Kunststoffes kann durch ein kostengünstiges und einfaches Verfahren erfolgen. Mittels Extrusion kann ein Strang der thermoplastischen Kunststoffmasse unter Druck kontinuierlich aus der formgebenden Öffnung hinaus gepresst werden, dabei weist die formgebende Öffnung die entsprechende Schenkelorientierung auf. Durch die Extrusion entsteht ein entsprechender Körper in beliebiger Länge und kann somit der Anwendung entsprechend produziert werden. Anhand der eingestellten Prozessgrößen kann durch dieses Verfahren eine kostengünstige einfache und schnelle Produktion der geometrischen thermoplastischen Kunststoffe gegeben werden.

**[0039]** Ein flechtgebildeartige Fasersystem ist grundsätzlich weit aufzufassen als jede Art eines Strangsystems, das eine gewisse Variabilität hinsichtlich sich kreuzender zueinander ausgerichteter Fasern hat. Vorzugsweise ist dies ein Flechtwerk oder Flechtgebilde bei dem sich mehrere Stränge aus biegsamen und insofern als solches flexibles Material umfassend Fasermaterial ineinanderschlingen oder ein Gestricke, bei dem sich biegsames und insofern als solches flexibles Material umfassend Fasermate-

rial mit sich selbst verschlingt; auch maschenbildende Fadensysteme wie Gewirke sind möglich. Möglich sind darüber hinaus auch gewebeartige Strukturen, bei denen die Stränge – zwar weniger bevorzugt aber möglich – ganz oder teilweise rechtwinklig oder annähernd zu  $90^\circ$  zueinander geführt sind, vorzugsweise in einem Kreuzungspunkt einen Faserwinkel aufweisen, der bevorzugt zwischen  $10^\circ$  und  $90^\circ$  beträgt, der bevorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  beträgt, vorzugsweise sich die Fasern mit einem Faserwinkel um  $45^\circ$  mit einem Varianzbereich von  $\pm 10^\circ$  zueinander ausrichten bzw. bei einem bestimmten anderen Faserwinkel sich mit einem Varianzbereich von  $\pm 5^\circ$  zueinander ausrichten.

**[0040]** Insbesondere sind demnach solche Arten eines Strangsystems besonders bevorzugt, deren Faserwinkel sich zudem variabel einstellen lässt, insbesondere selbsttätig variabel einstellt, je nach Größe und Form des einzubringenden formgebenden Kernmaterials. Besonders bevorzugt ist demnach ein flexibles und variabel formbares flechtgebildeartiges Fasersystem mit variablem Faserwinkel. Gewisse Fasersystem unterstützen diese Eigenschaft besonders gut, wie z. B. insbesondere ein flechtgebildeartiges Fasersystem, das ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus: Flechtwerk, Gestricke, Gewirk.

**[0041]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun nachfolgend anhand der Zeichnungen im Vergleich zum Stand der Technik, welcher zum Beispiel ebenfalls dargestellt ist, beschrieben. Dieser soll die Ausführungsbeispiele nicht notwendigerweise maßgeblich darstellen, vielmehr als die Zeichnung, wozu Erläuterung dienlich, in schematisierter und/oder leicht verzehrter Form aufgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen, der aus der Zeichnung unmittelbar erkennbaren Lehren, wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vielfältige Modifikationen oder Änderungen betreffend die Form und das Detail einer Ausführungsform vorgenommen werden können, ohne von der allgemeinen Idee der Erfindung abzuweichen. Die in der Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung werden sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Weiterbildung der Erfindung wesentliche sein. Zudem fallen in den Rahmen der Erfindung alle Kombinationen, aus zumindest zwei in der Beschreibung, der Zeichnung und/oder den Ansprüchen offenbarten Merkmalen. Die allgemeine Idee der Erfindung ist nicht beschränkt auf die exakte Form oder das Detail der im folgenden gezeigten und beschriebenen Ausführungsform oder beschränkt auf einen Gegenstand, der eingeschränkt wäre im Vergleich zu dem, in den Ansprüchen beanspruchten Gegenstand. Bei angegebenen Bemessungsbereichen sollen auch hier innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und beliebig einsetzbar und beanspruchbar sein. Weitere Vortei-

le, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, der bevorzugten Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnung.

**[0042]** Im Einzelnen zeigt die Zeichnung in

**[0043]** Fig. 1A eine schematische Darstellung des Verbundbauteiles in einer bevorzugten Ausführungsform, wobei der formgebende Kern als Prisma mit einem Vieleck als Grundfläche dargestellt wird;

**[0044]** Fig. 1B zeigt eine schematische Darstellung des Verbundbauteils in einer bevorzugten Ausführungsform, wobei der formgebende Kern als Prismen mit verschiedenen geometrischen Grundflächen dargestellt wird;

**[0045]** Fig. 2 eine schematische Darstellung der gefügten Prismen mit einer vieleckigen Grundfläche, wobei eine zusätzliche Ummantelung dargestellt ist;

**[0046]** Fig. 3 eine schematische Darstellung des formgebenden Kerns einer bevorzugten Ausführungsform, wobei der thermoplastische Kunststoff als langgestreckter Schlauch mit einem runden Querschnitt und einer entsprechenden Ummantelung dargestellt ist;

**[0047]** Fig. 4 eine schematische Darstellung des Verbundbauteils in Form eines zusammengeklappten Polyeders;

**[0048]** Fig. 5 eine schematische Darstellung des Querschnitts eines Verbundbauteiles, wobei die Ausführungsform in der Querschnittsebene eine Wabenstruktur besitzt;

**[0049]** Fig. 6 eine vereinfachte Querschnittsdarstellung durch ein Rotorblatt.

**[0050]** Fig. 7 eine Windenergieanlage;

**[0051]** Fig. 8 ein Ablaufdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform eines Herstellungsverfahrens.

**[0052]** In Fig. 1 bis Fig. 8 sind für gleiche oder ähnliche Teile oder Teile gleicher oder ähnlicher Funktionen der Einfachheit halber gleiche Bezugszeichen benutzt worden.

**[0053]** Fig. 1A zeigt in einem Ausschnitt ein Verbundbauteil **1001** in einer ersten Ausführungsform, das in diesem Ausschnitt derart gestaltet ist, dass wenigstens zweikomponentige Verbundformteile in Form zweier prismatischer Körper **10.1 10.2**, hier zwei Prismen mit einer gleichschenkeligen trapezförmigen Grundfläche **G**, gestaltet sind. Die hier dunkel schraffierte Fügenschicht **20** ist in einem  $45^\circ$  Winkel ausgerichtet; d.h. diese ist  $45^\circ$  im Hinblick auf

die eingezeichnete Querachse **Q** bezogen auf die Basis **B** der trapezförmigen Grundfläche **G** zu vermessen. Der formgebende Kernmaterial der prismatischen Körper **10.1 10.2** ist hier ein beliebig frei wählbarer thermoplastischer Kunststoff mit materialspezifischen Eigenschaften, welches zudem durch das Zusammenfügen eine Festigkeit erfährt, die durch die Fügenschicht **20** bedingt ist. Dabei kann durch die Wahl des Fügematerials und dem gewählten Volumenanteil der Fügenschichten eine lastspezifische mechanische Festigkeit erreicht werden, die den entsprechenden Lasteinwirkungen angepasst werden kann.

**[0054]** Fig. 1B zeigt in einem Ausschnitt ein Verbundbauteil **1002** in einer zweiten Ausführungsform, das in diesem Ausschnitt als Verbundformteile mit prismatischen Körpern **10.1 10.2** mit einer trapezförmigen Grundfläche **11, 12** und mit einem prismatischen Körpern **10.3** mit einer dreieckigen Grundfläche **13** gebildet ist. Die hier als Prismen zu bezeichnenden zylindrisch prismatischen Körpern **10.1, 10.2, 10.3** werden an ihren Schenkeln zusammengefügt, wobei hier die funktionale Orientierung der Fügenschicht an der Querachse **Q** den Winkel von  $45^\circ$  zur Basisfläche **BF** wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft. Das Material und das Volumen der Fügenschicht **20** ist je nach Bedarf wählbar und durch die Schraffierung gekennzeichnet. Die hier schematische Skizzierung zeigt die funktionale Orientierung der Fügenschicht. Somit kann durch die Geometrie des formgebenden Kernmaterials eine der Kraft entgegen gerichtete Konstruktion realisiert werden.

**[0055]** In Fig. 2 zeigt in einem Ausschnitt ein Verbundbauteil **1003** in einer dritten Ausführungsform, welches in diesem Ausschnitt als Verbundkörper zwei als Prismen zu bezeichnende zylindrisch prismatischen Körper **10.1 10.2** zusammenfügt. Die Prismen weisen jeweils eine gleiche trapezförmige Grundfläche **11** auf, wobei die Oberfläche des Prismas von einer, eine flecht- oder gewebeartigen faserigen Bedeckung **30** bildenden zweiten Komponente als Teil einer Fügenschicht bedeckt ist, deren Fasern ausgerichtet sind. Somit können diese entsprechend der einwirkenden Kräfte ausgerichteten Fasern eine zusätzliche Festigkeit und Steifigkeit in der Ebene der Fügenschichten bedingen. Dabei kann sowohl die Makromechanik und als auch die Mikromechanik des Verbundbauteils durch die konstruktive Ausführung der Fügenschicht sowie der Orientierung der zusätzlichen Bedeckung optimiert ausgelegt werden.

**[0056]** In Fig. 3 für ein Verbundbauteil **1004** in einer vierten Ausführungsform einen Verbundkörper mit einem als ein Prisma zu bezeichnenden zylindrisch prismatischen Körper **10.4**, hier mit einer Grundfläche **GF** in Form eines Zwölfeckes **14**; also eckig mit einer Basis **B** und einem entsprechend kleinen Win-

kel  $\alpha$  einer Fugeschicht zur Basis B. Hier ist das Prisma ummantelt mit einer flecht- oder gewebeartigen faserigen Bedeckung **30** bildenden zweiten Komponente als Teil einer Fugeschicht; nämlich hier mit einer funktional ausgerichteten Faserorientierung. Die Ummantelung kann unter Verwendung eines Geflechtschlauches realisiert werden, der in sich zusätzlich ausgerichtete Fasern aufweist. Durch die Ummantelung dieses zylindrisch prismatischen Körper **10.4** mit fast kreisähnlicher jedoch vieleckigen Grundfläche, kann nicht nur ein engmaschiges Netz von Fugeschichten **20** gebildet werden, sondern auch die Festigkeit neben dem großen Volumenanteil durch eine zusätzliche Orientierung der Fasern gesteigert werden.

**[0057]** Diese Art der Ausführung zeigt, dass für die Ummantelung ein Schlauch genutzt werden kann, der sich idealerweise einem Querschnitt eines Kreises anpasst, so dass in diesem Falle durch kleine Kanten des Vieleckes eine Ummantelung mit gerichteter Orientierung eingestellt werden kann, in der Art, dass sie eine erhöhte Festigkeit des Verbundbauteiles bedingen; gleichwohl ist die orientierte Assemblierung einer Vielzahl solcher Verbundformteile zu einem Verbundbauteil **1004** gut möglich.

**[0058]** Fig. 4 zeigt für ein Verbundbauteil **1005** in einer fünften Ausführungsform einen Verbundformkörper mit einem als ein Prisma zu bezeichnenden dreidimensional prismatischen Körper **10.5** in Form eines Polyeders. Es könnte auch ein Verbundbauteil **1005** darstellen, das aus Verbundkörpern in Form von Prismen mit dreieckigen Grundflächen GF, **12** zusammengesetzt ist. Dabei stellt eine Fugeschicht **20** eine die Festigkeit aufweisende Materialkomponente dar, die aufgrund ihrer Orientierung entlang der gerichteten Schenkel den formgebenden Kern stoffschlüssig umgibt. Diese Art von Verbundbauteilen ist in ihrer Herstellung einfach zu realisieren, da ein Fügen über ein einfaches Klappen gleicher geometrischer Prismen erfolgen kann. In denen Fugeschichten kann ein Fasermaterial unter Bildung einer Bedeckung **30** etwa der oben erläuterten Art vorgesehen sein; muss aber nicht.

**[0059]** Fig. 5 zeigt im Querschnitt einen Ausschnitt eines Verbundbauteils **1006** in einer sechsten Ausführungsform; gebildet durch den Zusammenschluss von mehreren als ein Prisma zu bezeichnende zylindrische oder dreidimensionale gleichartige prismatische Körper **10.6**, die mit einer Fugeschicht **20** mit einer Bedeckung zusammengefügt sind, so dass sich im Querschnitt eine echte Wabenstruktur ergibt. Wabenstrukturen weisen eine hohe Festigkeit auf und es können entsprechende dynamische und statistische Belastungen aufgefangen werden. Durch die Wahl der Prismen mit einer sechseckigen Grundfläche und der gleichzeitigen Orientierung der Schenkel in einem ausgewählten Winkelbereich  $30^\circ$ – $60^\circ$  zur Ba-

sis B bzw. zur Basisfläche BF entsteht eine Wabenstruktur, die durch die Orientierung und der Wahl der entsprechenden Fugeschicht einer hohen Lasteinwirkung entgegenwirken kann. Damit kann mit einer Wabenstruktur, insbesondere gebildet nach einem Verfahren gemäß dem Konzept der Erfindung eine erhöhte Festigkeit für das Verbundbauteil **1006** erreicht werden.

**[0060]** In Fig. 6 ist ein Rotorblatt **108** für eine Windenergieanlage **100** vereinfacht im Querschnitt dargestellt. Dieses Rotorblatt **108** umfasst eine obere Halbschale **108.o** und eine untere Halbschale **108.u**, wobei in diesen Schalen Tragstrukturen **10.o** und **10.u** als Verstärkung vorgesehen sind, welche die am Rotorblatt angreifenden Lasten aufnehmen und abtragen können. Diese Tragstrukturen können durch Rotorblattelemente, zum Beispiel in einer Sandwichbauweise, bzw. durch besagte Verbundbauteile **1001**, **1002**, **1003**, **1004**, **1005**, **1006** ausgebildet werden, um eben diese entsprechenden Lasten aufzunehmen. Das Detail X der Fig. 6 zeigt eine solche Tragstruktur **10** mit einer Vielzahl von Verbundformteilen **1**, aus einem Kernmaterial **2** umgeben von einem flexiblen, flechtgebildeartigen Fasersystem **20**, die – hier beispielhaft – in dichtester Packung zur Bildung eines Verbundbauteils **1001**, **1002**, **1003**, **1004**, **1005**, **1006** für die Tragstruktur **10** zusammengesetzt sind.

**[0061]** Fig. 7 zeigt eine Windenergieanlage **100** mit einem Turm **102** und einer Gondel **104**. An der Gondel **104** ist ein Rotor **106** mit drei Rotorblättern **108** – etwa analog in der Art eines Rotorblatts **108** der Fig. 4 – und einem Spinner **110** angeordnet. Der Rotor **106** wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel **104** an.

**[0062]** Fig. 8 zeigt im Rahmen eines Flussdiagramms eine bevorzugte Ausführungsform eines Herstellungsverfahrens für ein Verbundbauteil **1001**, **1002**, **1003**, **1004**, **1005**, **1006** bzw. ein Assemblieren einer Vielzahl von Verbundformteilen **1** zu einem Verbundbauteil **1001**, **1002**, **1003**, **1004**, **1005**, **1006** für eine Tragstruktur **10**, zur Einbringung in ein Rotorblatt **108** einer Windenergieanlage **100**. In einem ersten Schritt S1 wird ein thermoplastischer Kunststoff und in einem Schritt S2 wird ein Faserverbundhalbzeug in Form eines Flechtgebildes, bevorzugt als Matte oder Geflechtschlauch, in der zuvor erläuterten Art zur Verfügung gestellt.

**[0063]** In einem dritten Schritt S3 wird der thermoplastische Kunststoff als formgebendes Kernmaterial als Unendlichstrang produziert werden und kann in einem Schritt S4 in eine Vielzahl von Verbundformteilen je nach Bedarf geteilt werden; nämlich der Form eines Prismas folgend als prismatischer Körper, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet wird, wobei ein

Vieleck der Grundfläche eine Basis und einen Winkel zur Basis hat, der zwischen 30°–60° beträgt.

**[0064]** In einer ersten Variante kann in einem Schritt S3.1 der thermoplastische Kunststoff aus einer Granulatmischung einem Extruder zugeführt werden am Ausgang des Extruders als weicher Strang in einen Geflechtschlauch direkt eingebracht werden.

**[0065]** Der Geflechtschlauch weist sich kreuzende Fasern auf, die an einem Kreuzungspunkt einen Faserwinkel von 45° haben und dieser zieht sich um das noch weiche formgebende Kernmaterial wenn dieses sich abkühlt. Dadurch verfestigt sich das weiche formgebende Material um oder an dem Geflechtschlauch bzw. an den Fasern desselben, so dass ein Verbund zwischen Geflechtschlauch und dem thermoplastischen Material entsteht, mit dem Geflechtschlauch ggfs. vollständig oder jedenfalls teilweise, aber nicht notwendigerweise, an der Außenseite desselben; das weiche formgebende Material kann innerhalb der Konturen des Geflechtschlauches verbleiben oder auch durch das Geflecht ganz oder teilweise nach außen dringen; also im letzteren Fall herausquillen und ggfs. sogar sich außen wieder um den Geflechtschlauch legen und diesen umschließen.

**[0066]** Eine Vielzahl der prismatischen Körper kann bereits als Verbundkörper vorliegend zu einem Verbundbauteil gefügt werden, wobei sich an aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten bildet, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von 30°–60° zu einer Basisfläche wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft.

**[0067]** Ein ähnlicher Prozess kann mit einer Geflechtmatte durchgeführt werden. In einer zweiten Variante kann in einem Schritt S3.2 der thermoplastische Kunststoff aus einer Granulatmischung einem Extruder zugeführt werden am Ausgang des Extruders als weicher Strang zur Verfügung gestellt und zerteilt werden. Die so erhaltenen Vielzahl prismatischer Körper können – mit oder ohne zwischenliegender Matte – gefügt werden, wobei sich an aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten bildet, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von 30°–60° zu einer Basisfläche wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft. Bevorzugt werden die Verbundformkörper dazu aufeinandergeklappt; auch mit einer dazwischenliegenden, also in einer Fügenschicht **20** liegenden Geflechtmatte **30** gestaltet sich dieser Prozess und ein sich anschließendes Heißfügen als vergleichsweise einfach.

**[0068]** Die im Gegenstand der Anmeldung allgemein definierte zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht **20** kann insbesondere gemäß dieser Varian-

ten der Ausführungsform eine Geflechtmatte **30** oder eine Heißnaht sein.

**[0069]** In etwa der im Detail X der Fig. 6 gezeigten Art folgend können die Vielzahl von Verbundformteile in einem Schritt S5 zu einer Tragstruktur zusammengesetzt werden.

**[0070]** Die Tragstruktur kann in einem Schritt S6 in eine Halbschale eines Rotorblatts **108** oder in ein anderes Teil einer Windenergieanlage **100** eingebracht werden. Im vorliegenden Fall werden die Halbschalen zu einem Rotorblattrohling assembliert und den weiteren Fertigungsschritten unterzogen bis das Rotorblatt in einem Schritt S7 an einer Windenergieanlage **100** der Fig. 7 gezeigten Art angebracht werden kann.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 2307193 [0009]
- EP 1308265 [0010]

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils, insbesondere für eine Windenergieanlage, mit einer Vielzahl von wenigstens zwei-komponentigen Verbundformteilen, wobei eine erste Komponente aus einem formgebenden Kernmaterial und eine zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das formgebende Kernmaterial, der Form eines Prismas folgend als prismatischer Körper, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet wird, wobei ein Vieleck der Grundfläche eine Basis und einen Winkel zur Basis hat, der zwischen  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  beträgt, und
- eine Vielzahl der prismatischen Körper gefügt werden, wobei sich an aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten bildet, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  zu einer Basisfläche wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Winkel zur Basis des Vielecks bei  $45^{\circ}$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^{\circ}$ , vorzugsweise  $\pm 5^{\circ}$ , liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich an den aufeinander treffenden Schenkeln eine funktionale Orientierung der Fügenschichten bildet, die in einem Winkel von  $45^{\circ}$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^{\circ}$ , vorzugsweise  $\pm 5^{\circ}$ , zu der Basisfläche der Prismen verläuft.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das formgebende Kernmaterial, der Form eines zylindrischen Körpers folgend, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Komponente in Form einer Matte gebildet ist, wobei die Matte zwischen einem ersten und einem zweiten prismatischen Körper eingebracht wird und sich mit dem formgebenden Kern der prismatischen Körper verbindet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Komponente als Abdeckung, insbesondere Ummantelung, des formgebenden Kernmaterials eine funktionale Orientierung von Fasern, insbesondere Fäden, mit einem Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$ , vorzugsweise einen Winkel von  $45^{\circ}$ , zueinander aufweist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das formgebende Kernmaterial durch Extrusion zur Verfügung gestellt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das formgebende Kernmaterial zu einem prismatischen Körper in Form eines dreidimensionalen Polyeders gefügt wird, wobei der Winkel der Polyederflächen  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$ , vorzugsweise eine Polyederfläche einen Winkel von  $45^{\circ}$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^{\circ}$ , vorzugsweise  $\pm 5^{\circ}$  zur Basisfläche beträgt.

9. Verbundbauteil, insbesondere für eine Windenergieanlage, mit einer Vielzahl von wenigstens zwei-komponentigen Verbundformteilen, wobei eine erste Komponente aus einem formgebenden Kernmaterial und eine zweite Komponente als Teil einer Fügenschicht gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das formgebende Kernmaterial, der Form eines Prismas folgend als prismatischer Körper, mit einer vieleckigen Grundfläche gebildet ist, wobei ein Vieleck der Grundfläche eine Basis und einen Winkel zur Basis hat, der zwischen  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  beträgt, und
- eine Vielzahl der prismatischen Körper gefügt sind, wobei an aufeinander treffenden Schenkeln, eine funktionale Orientierung der Fügenschichten ausgebildet ist, derart, dass die Fügenschicht in einem Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  zu einer Basisfläche wenigstens eines der aneinandergrenzenden Prismen verläuft.

10. Verbundbauteil nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Komponente als Abdeckung, insbesondere Ummantelung, des formgebenden Kernmaterials eine funktionale Orientierung von Fasern, insbesondere Fäden, mit einem Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$ , vorzugsweise einen Winkel von  $45^{\circ}$ , zueinander aufweist.

11. Verbundbauteil nach Anspruch 9 oder 10 **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das formgebende Kernmaterial und/oder die funktionale Orientierung der Fügenschichten ein flächiges Querschnittsmuster aus Sechsecken bildet, und,
- insbesondere flächig gefügte, aufeinander treffende Schenkel der funktionalen Orientierung der Fügenschichten im Winkel von  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$ , vorzugsweise von  $45^{\circ}$  innerhalb einer Varianz von  $\pm 10^{\circ}$ , vorzugsweise  $\pm 5^{\circ}$ , zu einer Basisfläche der Prismen verlaufen, wobei die Basisfläche parallel zur Basis eines Sechsecks ausgerichtet ist.

12. Verbundbauteil nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das formgebende Kernmaterial mindestens eine Komponente der Gruppe Acrylnitril-Butadien-Styrol, Polyamide, Polylactat, Polymethylmethacrylat, Polycarbonat, Polyethylenterephthalat, Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Polyetherketon und Polyvinylchlorid enthält.

13. Verbundbauteil nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbundbauteil über die zweite Komponente mittels ei-

ner thermoplastischen Matrix aus einer Vielzahl von prismatischen Körpern zu einem verformbaren Bauteil mit vergleichsweise erhöhter Schubsteifigkeit zusammengefügt ist.

14. Verbundbauteil nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das formgebende Kernmaterial durch zusätzliche innenliegende, funktional gerichtete Fasern verstärkt wird.

15. Verbundbauteil nach einem der Ansprüche 9 bis 14 in Form eines Sandwichbauteils für eine Windenergieanlage unter Verwendung einer Vielzahl von Verbundformteilen zur Bildung eines Kernbauteils, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kernbauteil zumindest einseitig abgedeckt ist von mindestens einer Deckschicht.

16. Verbundbauteil nach einem der Ansprüche 9 bis 14 in Form eines Rotorblattelements für ein Rotorblatt einer Windenergieanlage unter Verwendung einer Vielzahl von Verbundformteilen zur Bildung eines Kernbauteils **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kernbauteil umgeben ist von mindestens einer Rotorblatt-Deckschicht, insbesondere das Rotorblattelement ein Sandwichbauteil nach Anspruch 15 aufweist.

17. Windenergieanlage aufweisend einen Turm, einen Gondel und einen Rotor mit einer Rotornabe und einer Anzahl von Rotorblättern, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Rotorblatt und/oder der Turm und/oder die Gondel und/oder die Rotornabe ein Verbundbauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

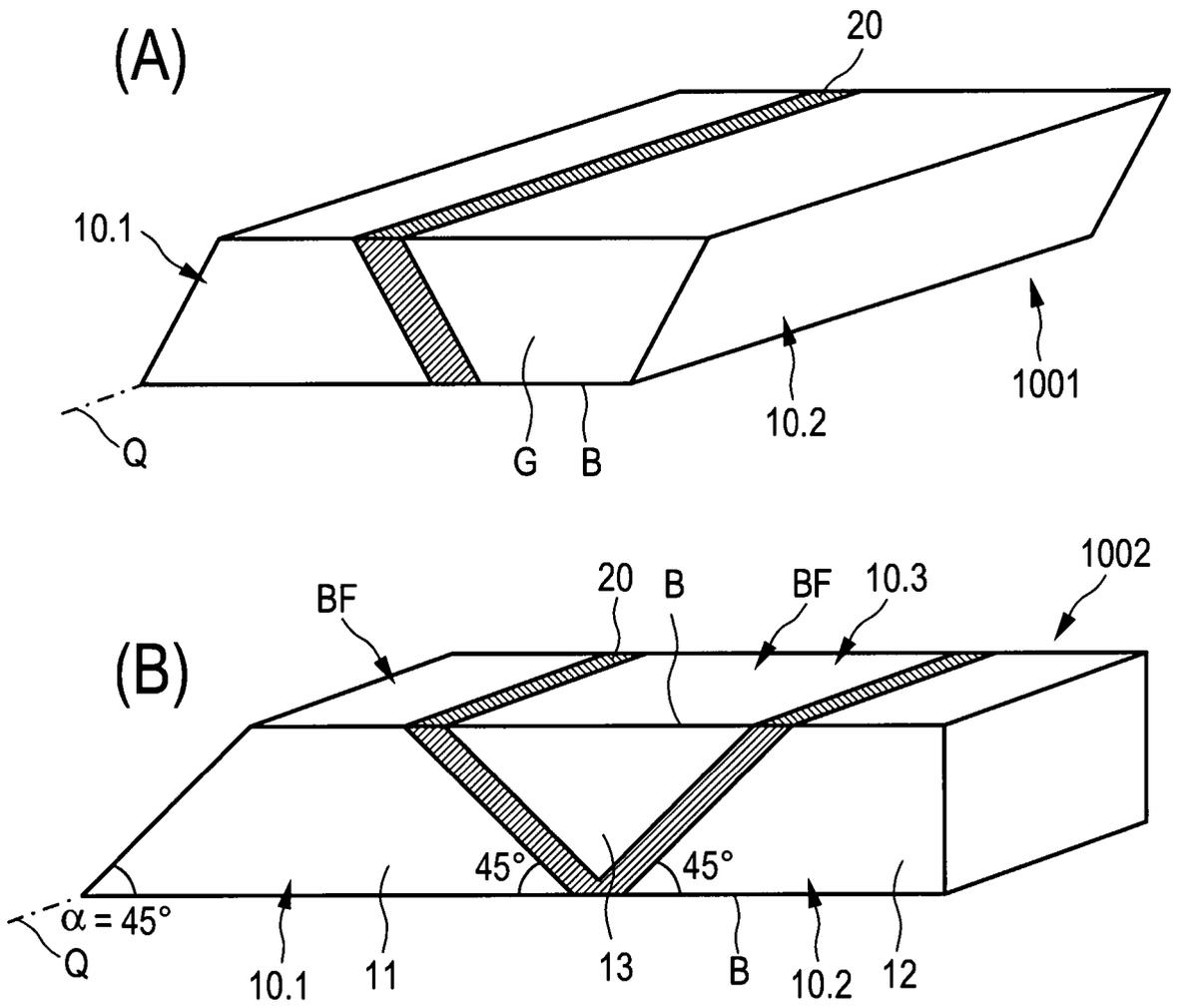


FIG. 1

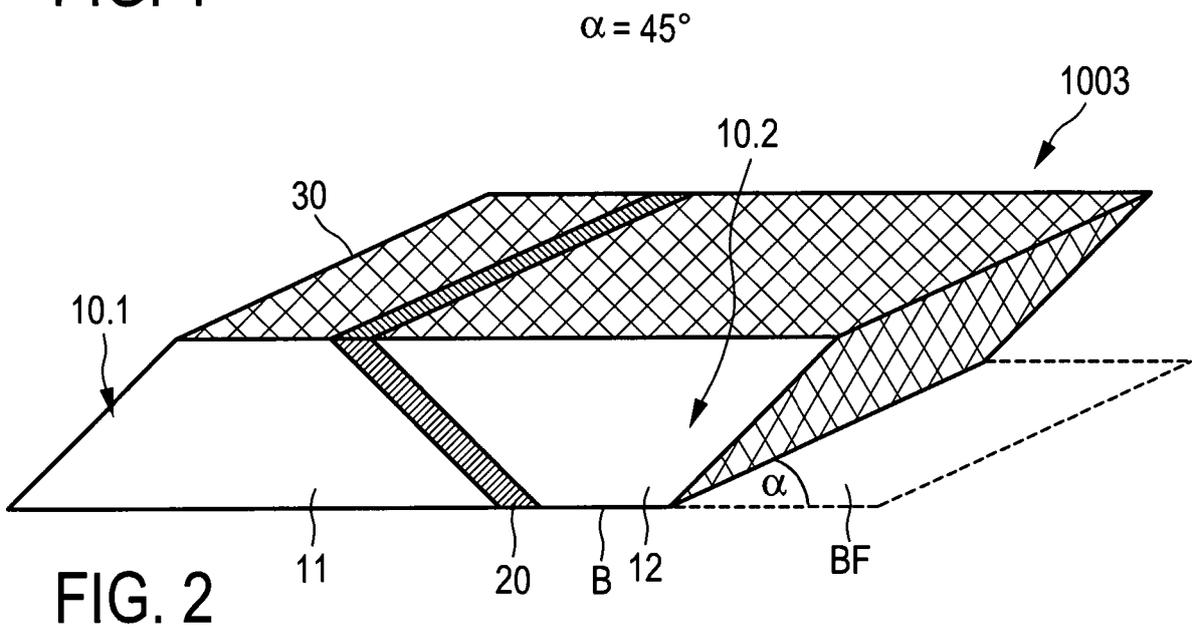
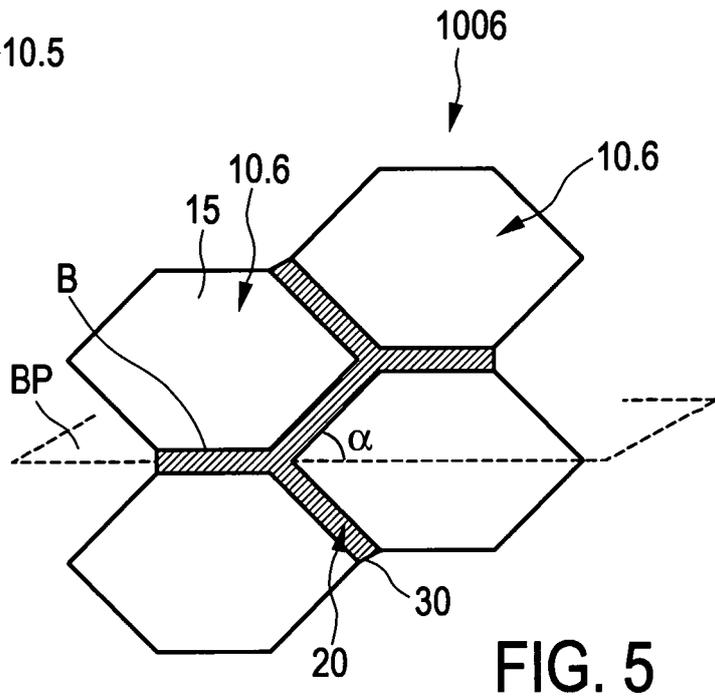
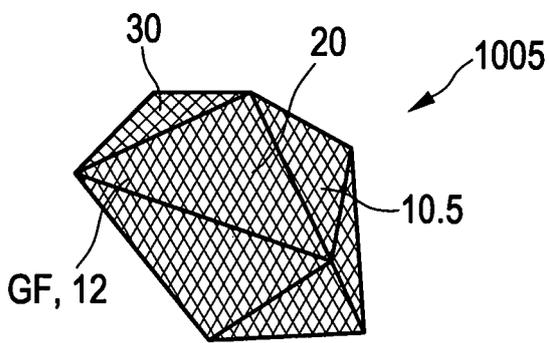
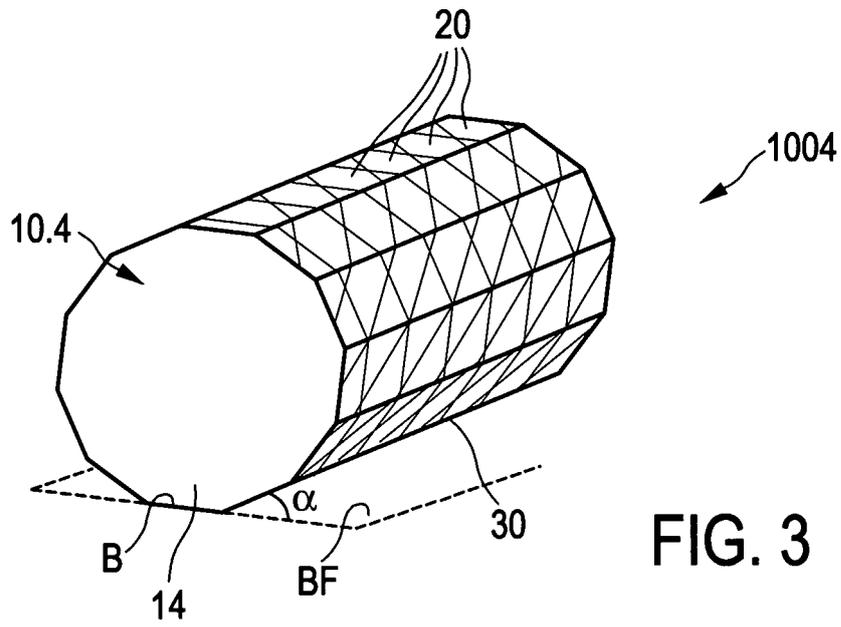


FIG. 2



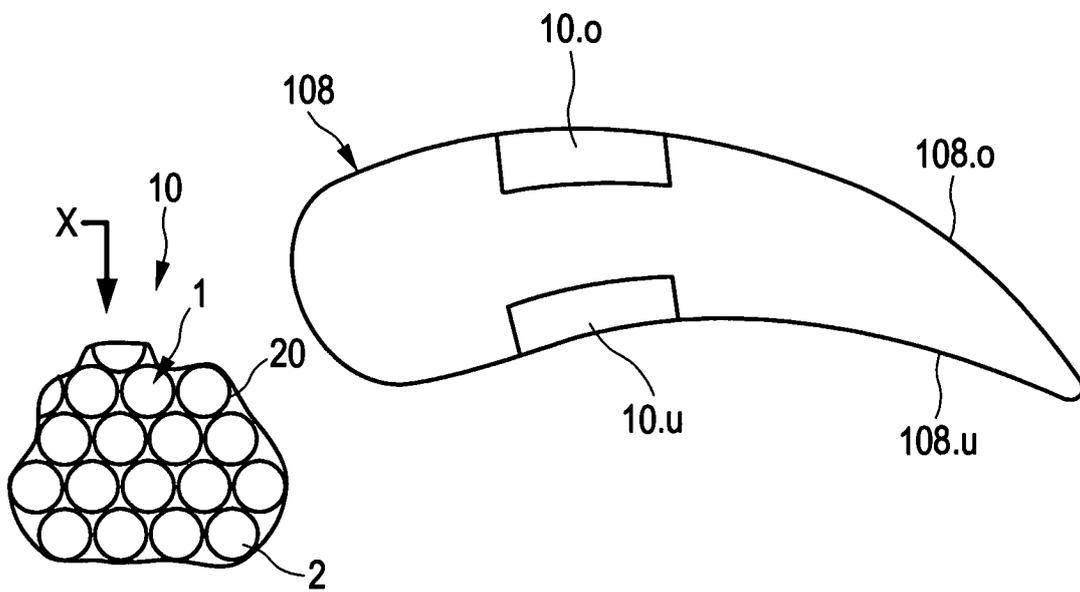


FIG. 6

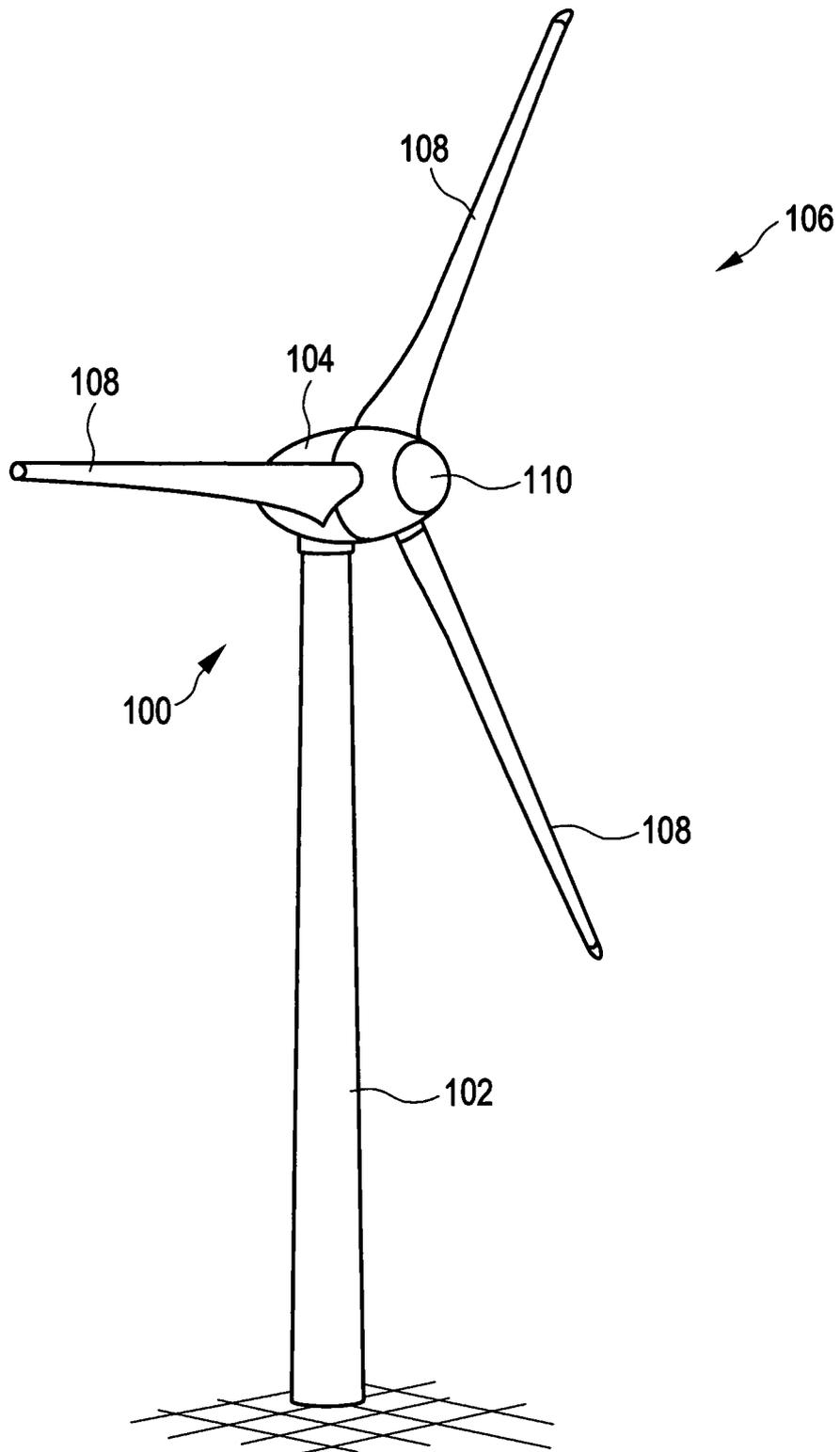


FIG. 7

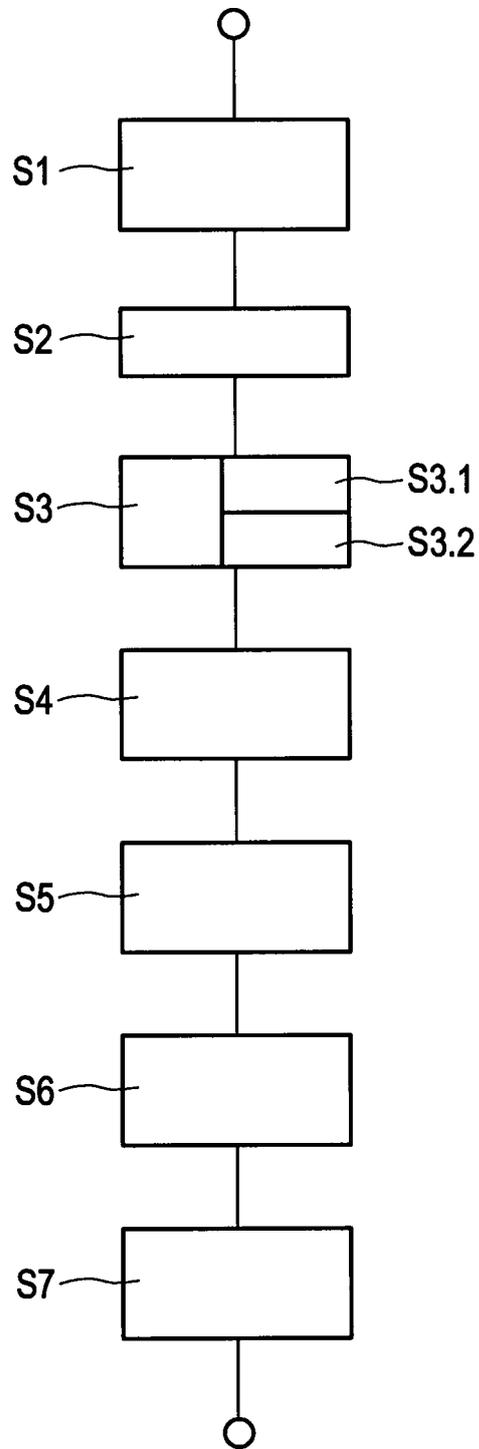


FIG. 8