



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 107 948.3**
 (22) Anmeldetag: **12.04.2017**
 (43) Offenlegungstag: **18.10.2018**

(51) Int Cl.: **E04C 5/07 (2006.01)**
E04C 5/03 (2006.01)

(71) Anmelder:
Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Canzler & Bergmeier Partnerschaft mbB, 85055 Ingolstadt, DE

(72) Erfinder:
Waldmann, Martin, 01324 Dresden, DE; Rittner, Steffen, 01219 Dresden, DE; Cherif, Chokri, 01219 Dresden, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

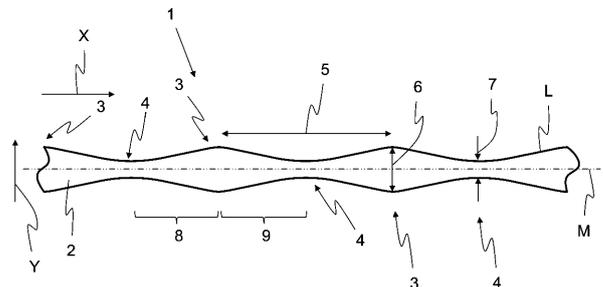
DE	10 2005 043 386	A1
DE	10 2014 105 795	A1
DE	694 26 777	T2
AT	60 104	E
US	6 612 085	B2
US	6 800 164	B2
US	2004 / 0 213 976	A1
US	2008 / 0 141 614	A1
US	5 567 374	A
EP	0 560 362	A2

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Bewehrungsstab zum Einbringen in eine Betonmatrix sowie dessen Herstellungsverfahren, ein Bewehrungssystem aus mehreren Bewehrungsstäben sowie ein Betonbauteil**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Bewehrungsstab (1) zum Einbringen in eine Betonmatrix, mit mindestens einer in seiner Längserstreckung (X) verlaufenden Filamentschar (2) aus einer Vielzahl von Filamenten (15), die zumindest abschnittsweise, vorzugsweise vollständig, in einer Kunststoffmatrix (16) eingebettet sind. Der erfindungsgemäße Bewehrungsstab (1) zeichnet sich dadurch aus, dass er entlang einer in besagter Längserstreckung (X) an der Staboberfläche verlaufenden Linie (L) mehrere voneinander beabstandete Erhebungen (3) und zwischen den Erhebungen (3) angeordnete Einbuchtungen (4) aufweist. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein Betonbauteil mit mehreren derartigen Bewehrungsstäben (1) sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Bewehrungsstabs (1).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Bewehrungsstab zum Einbringen in eine Betonmatrix. Der Bewehrungsstab umfasst mindestens eine in seiner Längserstreckung verlaufende Filamentschar aus einer Vielzahl von Filamenten, die zumindest abschnittsweise, vorzugsweise vollständig, in einer Kunststoffmatrix eingebettet sind.

[0002] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Bewehrungssystem, ein Betonbauteil mit mehreren Bewehrungsstäben und/oder mindestens einem solchen Bewehrungssystem sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Bewehrungsstabs aus zumindest einer in einer Kunststoffmatrix eingebetteten Filamentschar.

[0003] Bewehrungsstäbe werden bereits seit langer Zeit zur Verstärkung von Betonbauteilen eingesetzt. Da Beton zwar recht gut auf Druck belastet werden kann, aber unter anderem durch seine Sprödigkeit eine eher schlechte Belastbarkeit auf Zug aufweist, sind zur Zugkraftaufnahme die Bewehrungsstäbe in das Betonbauteil integriert. Das Betonbauteil weist dadurch die Vorteile des Betons sowie der Bewehrungsstäbe auf. Der Beton kann gut Druckkräfte aufnehmen, wohingegen die Bewehrungsstäbe gut Zugkräfte aufnehmen können.

[0004] Zur Verstärkung von Betonbauteilen sind seit langem Stahlbewehrungsstäbe bekannt. Zwar hat sich deren Einsatz in millionenfacher Zahl bewährt, sie weisen allerdings durch den Stahl ein hohes Gewicht auf. Zudem rostet Stahl mit der Zeit, worunter die Langlebigkeit des entsprechenden Betonbauteils leidet. Die Folge sind hohe Instandhaltungskosten bzw. Abriss- und Neubaurbeiten.

[0005] Bewehrungsstäbe zur Verstärkung von Betonbauteilen aus homogen strangförmigen Filamentscharen aus beispielsweise Kohlenstoff (Carbon), die in einer Kunststoffmatrix eingebettet sind, sind ebenfalls diskutiert und zum Teil schon in Bauwerken eingesetzt worden. Allerdings ist deren Verankerung in der Betonmatrix eines Betonbauteils nur unzureichend, weshalb sich derartige Bewehrungsstäbe bis jetzt nicht durchgesetzt haben.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Verankerung von Bewehrungsstäben in einem Betonbauteil zu verbessern.

[0007] Die Aufgabe wird gelöst durch einen Bewehrungsstab zum Einbringen in eine Betonmatrix sowie ein entsprechendes Herstellungsverfahren, außerdem durch ein Bewehrungssystem aus mehreren Bewehrungsstäben und ein Betonbauteil mit Bewehrungsstäben und/oder einem Bewehrungssystem mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche.

[0008] Vorgeschlagen wird ein Bewehrungsstab zum Einbringen in eine Betonmatrix, um ein Betonbauteil zu verstärken. Der Bewehrungsstab kann besonders gut Zugkräfte aufnehmen und auf ein Fundament des Betonbauteils übertragen. Der Bewehrungsstab umfasst mindestens eine in seiner Längserstreckung verlaufende Filamentschar aus einer Vielzahl von Filamenten, die zumindest abschnittsweise in einer Kunststoffmatrix eingebettet sind. Weiterführend können die Filamente auch vollständig in der Kunststoffmatrix eingebettet und miteinander verbunden sein. Die durch die Kunststoffmatrix verbundene Filamentschar weist beispielsweise gegenüber einem Stahlbewehrungsstab den Vorteil auf, dass das Gewicht des Bewehrungsstabs verringert ist.

[0009] Um eine Verankerung des Bewehrungsstabs in dem Betonbauteil zu verbessern, weist der Bewehrungsstab erfindungsgemäß entlang einer in oben besagter Längserstreckung an der Staboberfläche verlaufenden Linie mehrere voneinander beabstandete Erhebungen auf. Zwischen den Erhebungen sind Einbuchtungen angeordnet, so dass sich entlang dieser fiktiven Linie die Erhebungen und die Einbuchtungen abwechseln. Dabei erheben sich beispielsweise die Erhebungen in einer Radial- bzw. Querrichtung des Bewehrungsstabs (in Bezug auf dessen Querschnitt) über die Einbuchtungen hinweg.

[0010] Ist der Bewehrungsstab im Betonbauteil angeordnet und somit von der Betonmatrix vorzugsweise vollständig umschlossen, ist die Betonmatrix der Kontur der Erhebungen und der Einbuchtungen angepasst, wobei die Betonmatrix insbesondere ebenfalls die Einbuchtungen ausfüllt. Die Betonmatrix bildet sozusagen um den Bewehrungsstab eine Negativform der Erhebungen und Einbuchtungen. Nach dem Aushärten der Betonmatrix sind infolgedessen die Erhebungen und Einbuchtungen des Bewehrungsstabs mit der umgebenden Betonmatrix verzahnt, so dass eine Zugkraft in Längserstreckung des Bewehrungsstabs zwischen der Betonmatrix und dem Bewehrungsstab ausgetauscht werden kann. Insbesondere wird die Zugkraft von der Betonmatrix auf den Bewehrungsstab übertragen, der diese besser ableiten kann. Es resultiert eine Selbsthemmung des Bewehrungsstabs in der Betonmatrix, so dass Zugkräfte in Richtung des Bewehrungsstabs hervorgerufen aufgenommen werden können.

[0011] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist es, wenn die mindestens eine Filamentschar aus Kohlenstofffaser-Rovings (Carbon-Rovings), Glasfaser-Rovings und/oder anderen Hochleistungs-Rovings, wie beispielsweise Keramikfaser-Rovings, Quarzfaser-Rovings, Basaltfaser-Rovings, Borfaser-Rovings, Aramidfaser-Rovings und/oder Dyneemafaser-Rovings, ausgebildet ist. Die Rovings sind bereits mit einer Kunststoffmatrix vorgetränkte Filamentschare, so dass dadurch ein Herstellungspro-

zess des Bewehrungsstabs vereinfacht ist. Die Kohlenstofffasern und/oder die Glasfasern weisen des Weiteren ein gutes Zugfestigkeits-/Gewichtsverhältnis auf. Beispielsweise weisen die Kohlenstofffasern eine Dichte im Bereich von etwa $1,8 \text{ g/cm}^3$ auf, wobei die Zugfestigkeit der daraus gebildeten Filamentschar durchaus mit der von Stahl (Dichte je nach Art des Stahls etwa $7,5 \text{ g/cm}^3$) vergleichbar ist. Dadurch kann mit Hilfe der hier beschriebenen Materialien ein Gewicht des Bewehrungsstabs bei gleichbleibender Zugfestigkeit deutlich reduziert werden.

[0012] Die zumindest eine Filamentschar kann außerdem mindestens 24.000 oder mindestens 50.000 einzelne Filamente umfassen. Mittels einer höheren Filamentzahl wird die Zugfestigkeit der Filamentscharen und somit des Bewehrungsstabs erhöht.

[0013] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, dass der Bewehrungsstab mehrere regelmäßig voneinander in Längserstreckung des Bewehrungsstabs beabstandete Erhebungen aufweist. Alternativ können die Erhebungen voneinander auch unregelmäßig beabstandet angeordnet sein. In beiden Fällen können die höchsten Stellen der Erhebungen zueinander entlang der oben beschriebenen an der Staboberfläche verlaufenden Linie vorzugsweise in einem Abstand zwischen 1 mm und 100 mm angeordnet sein. Der Abstand der höchsten Stellen der Erhebungen kann vorteilhafterweise zwischen 5 mm und 50 mm liegen. Durch einen derartigen Abstand ist eine vorteilhafte Verzahnung zwischen den Erhebungen und Einbuchtungen des Bewehrungsstabs und der umschließenden Betonmatrix gegeben. Durch den Abstand kann die Betonmatrix zwischen die Erhebungen in den Bereich der Einbuchtungen einfließen. Beispielsweise kann der Abstand auch derart gewählt werden, dass dieser einem mittleren Durchmesser von in der Betonmatrix angeordneten Kieskörner entspricht. Dadurch können sich die Kieskörner zwischen den Erhebungen verhaken, so dass die Kraftübertragung von der Betonmatrix mittels der Kieskörner auf den Bewehrungsstab verbessert ist.

[0014] Besonders vorteilhaft ist es, wenn sich die Querschnittsfläche des Bewehrungsstabs entlang seiner Längserstreckung ändert. Die Querschnittsfläche kann sich hierbei periodisch entlang der Längserstreckung ändern. Zwei voneinander in seiner Längserstreckung zueinander beabstandete Abschnitte des Bewehrungsstabs weisen somit einen ungleichen Querschnitt auf. Die Querschnittsfläche ändert sich dadurch, vorzugsweise kontinuierlich, entlang seiner Längserstreckung. Dadurch können auf einfache Weise die Erhebungen und Einbuchtungen ausgebildet werden. Bereiche mit einer größeren Querschnittsfläche entsprechen den Erhebungen, wohingegen Bereiche mit einer geringeren Querschnittsfläche den Einbuchtungen entsprechen.

[0015] Ferner ist es von Vorteil, wenn die besagten Erhebungen und Einbuchtungen auf einer ungleichmäßigen Dichteverteilung der Filamente in der Kunststoffmatrix beruhen. Bei einer geringeren Dichte, insbesondere Raumdichte, der Filamente sind diese insgesamt weiter voneinander beabstandet, so dass diese ein größeres Raumvolumen beanspruchen. Infolgedessen sind in diesen Bereichen die Erhebungen ausgebildet. Der Raum zwischen den locker angeordneten Filamenten ist zur Verfestigung des Bewehrungsstabs mit der Kunststoffmatrix ausgefüllt, die die Filamente fixiert.

[0016] Sind dagegen die Filamente in einem Bereich des Bewehrungsstabs in einer höheren Dichte, insbesondere Raumdichte, angeordnet, beanspruchen diese entsprechend ein geringeres Raumvolumen. In diesen Bereichen des Bewehrungsstabs sind somit die Einbuchtungen ausgebildet. Ein Zwischenraum zwischen den Filamenten ist dabei wieder zur Stabilisierung des Bewehrungsstabs mit der Kunststoffmatrix ausgefüllt, wobei natürlich im Gegensatz zu den Bereichen der Erhebungen weniger Kunststoffmatrix zwischen den Filamenten angeordnet ist. Dadurch können die Erhebungen und die Einbuchtungen über die interne Struktur, d.h. den Abständen der Filamente untereinander, ausgebildet werden.

[0017] Vorteilhaft ist es des Weiteren, wenn ein erfindungsgemäßer Bewehrungsstab im Wesentlichen aus entlang der Längserstreckung des Bewehrungsstabs aufeinander folgenden Keilen ausgebildet ist. Die Keile werden hierbei durch die Form des Bewehrungsstabs, d.h. dessen sich in Längsrichtung vorzugsweise periodisch ändernden Querschnitts, ausgebildet. Alternativ oder zusätzlich kann der Bewehrungsstab eine Vielzahl von in Längserstreckung - unmittelbar oder mit Abstand - aufeinander folgenden Tetraedern bestehen. Die Keile bzw. Tetraeder sind hierbei vorzugsweise in wechselnder Richtung angeordnet. Beispielsweise können jeweils zwei aufeinander folgende Keile bzw. Tetraeder entgegengesetzt zueinander orientiert sein, wobei dann im Falle von Tetraedern die Spitzen zweier benachbarter Tetraeder aufeinander stehen. Zu beiden Seiten entlang der aneinanderstoßenden Kanten zweier Keile bzw. Tetraeder ist jeweils eine Einbuchtung vorhanden. An den beiden stirnseitigen Kantenenden, wo auch die beiden Grundflächen zweier benachbarter Tetraeder aneinander stoßen, ist jeweils eine Erhebung ausgebildet ist. Durch die Keile bzw. Tetraeder ist somit eine definierte Form des Bewehrungsstabs gegeben, so dass die Betonbauteileigenschaften, insbesondere der Bewehrungsstäbe in der Betonmatrix, hinsichtlich ihrer Statik berechenbar sind. Anstelle der Tetraeder und/oder der Keile kann der Bewehrungsstab auch eine Pyramidenform und/oder eine Kegelform aufweisen. Die konkrete Form, insbesondere die Form der Grundfläche des geometrischen Körpers, hängt im Wesentlichen von dem gewünschten Kon-

turverlauf des Bewehrungsstabs in dessen Längserstreckung ab.

[0018] Aufgrund der Keile bzw. Tetraeder kommt es zu einer fächerförmigen bzw. keilförmigen Anordnung der Filamente und zu einer in Längsrichtung des Stabes schwankenden Masseverteilung der Kunststoffmatrix.

[0019] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist es, wenn der Bewehrungsstab zumindest eine erste und eine zweite Filamentschar umfasst. Die erste und die zweite Filamentschar verlaufen vorzugsweise abschnittsweise parallel zueinander und sind zumindest abschnittsweise miteinander verbunden. Beispielsweise ist die zweite Filamentschar auf die erste Filamentschar aufgelegt.

[0020] Bei einer solchen Ausführungsform der Erfindung sind die Erhebungen des Bewehrungsstabs gemäß einer bevorzugten Ausführungsform derart ausgebildet, dass zwischen der ersten und der zweiten Filamentschar in Längserstreckung des Bewehrungsstabs beabstandet mehrere Rippenbildner angeordnet sind. Die Rippenbildner vergrößern jeweils lokal den Querschnitt des Bewehrungsstabs, um die Erhebungen auszubilden. In den Bereichen zwischen den Rippenbildner - lässt man Übergangsbereiche außer Acht - wird dagegen der Querschnitt bleibt der Querschnitt des Bewehrungsstabs unverändert, um die Einbuchtungen auszubilden.

[0021] Um den Querschnitt des Bewehrungsstabs auf eine definierte Weise zu vergrößern, ist es vorteilhaft, wenn die Rippenbildner inkompressibel sind. Die Rippenbildner können beispielsweise aus einem Metall, beispielsweise Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, oder einem Kunststoff ausgebildet sein.

[0022] Mit Hilfe der Rippenbildner können die Erhebungen in einem einfachen Verfahren und auf eine definierte Weise hergestellt werden. Um die Erhebungen auszubilden, müssen lediglich die Rippenbildner zwischen die mindestens zwei Filamentschare eingebracht werden. Außerdem können damit auf einfache Weise beispielsweise die Abstände durch definierte Platzierung der Rippenbildner eingestellt werden. Ebenso können beispielsweise die Höhen der Erhebungen im Vergleich zu den Einbuchtungen durch entsprechende Wahl der Größe der Rippenbildner variiert werden. Durch die Rippenbildner ist somit eine hohe Flexibilität in der Gestaltung des Bewehrungsstabs ermöglicht.

[0023] Weiterführend ist es von Vorteil, wenn zumindest einige der Rippenbildner jeweils als insbesondere keilförmige Körper ausgebildet sind. Die Rippenbildner weisen durch die Keilform eine Keilspitze auf, die in Längserstreckung des Bewehrungsstabs ausgerichtet sein kann, wobei sich die erste und zweite

Filamentschar entlang des Keils anlegen. Durch den Keilverlauf ist ein relativ hoher Reibungswiderstand zwischen Rippenbildnern und Filamentscharen vorhanden, so dass die Filamentschare zurück gehalten werden, entlang des Keils zu gleiten. Durch die Keilform der Rippenbildner ist der Bewehrungsstab bei Einbettung in einer Betonmatrix in der Lage, hohe Zugkräfte in dessen Längserstreckung aufzunehmen, ohne dass die Filamentschare gegenüber der umgebenden Betonmatrix und gegenüber den Rippenbildnern in deren Längsrichtung verschoben werden. Diese Selbsthemmung führt zu einer Verankerung des Bewehrungsstabs in der Betonmatrix.

[0024] Zusätzlich oder alternativ können zumindest einige Rippenbildner als nicht-parallel zur ersten und/oder zweiten Filamentschar verlaufende dritte Filamentschar ausgebildet sein. Der Bewehrungsstab kann in diesem Fall aus einem einzigen Material hergestellt sein. Bevorzugt verlaufen die dritten Filamentschare senkrecht zu den mindestens zwei parallel laufenden Parallelscharen.

[0025] Es ist von Vorteil, wenn zumindest einige benachbarte Rippenbildner mittels einem oder mehreren Verbindungselementen miteinander verbunden sind, wobei die Rippenbildner und die Verbindungselemente ein Rippenbildnerband ausbilden können. Das Rippenbildnerband liegt somit ebenfalls mindestens zwischen der ersten und zweiten Filamentschar. Durch die Zusammenfassung zumindest einiger einzelner Rippenbildner zum Rippenbildnerband wird das Einlegen der Rippenbildner beschleunigt. Es muss nur noch das Rippenbildnerband zwischen die Filamentschare gelegt werden, so dass in einem Arbeitsschritt eine Vielzahl Rippenbildner angeordnet werden.

[0026] Außerdem erhöht das Rippenbildnerband eine Verschiebefestigkeit der einzelnen Rippenbildner im Bewehrungsstab. Eine auf einzelne Rippenbildner in Längserstreckung wirkende Zugkraft kann mittels der Verbindungselemente auch auf die benachbarten Rippenbildner übertragen werden. Vorteilhafterweise kann somit die auf einzelne Rippenbildner wirkende Zugkraft auf das ganze Rippenbildnerband übertragen werden, so dass eine Verschiebung der Filamentscharen gegenüber den Rippenbildnern erschwert ist.

[0027] Um eine ausreichende Verzahnung der Betonmatrix in den zwischen den Erhebungen angeordneten Einbuchtungen zu gewährleisten, ist es vorteilhaft, wenn die Dicke des Bewehrungsstabs im Bereich zumindest einiger Erhebungen mindestens 10% größer ist als im Bereich zumindest einiger Einbuchtungen (gemessen in der gleichen Querrichtung des Bewehrungsstabs). Die Dicke zumindest einiger Erhebungen kann gleichfalls um mindestens 20% oder um mindestens 30% oder noch größer sein als

im Bereich zumindest einiger Einbuchtungen. Bei einer Vergrößerung des Querschnitts erstrecken sich die Erhebungen in einer Radialrichtung des Bewehrungsstabs über die Einbuchtungen.

[0028] Gemäß der Erfindung verlaufen die Filamente in einem erfindungsgemäßen Bewehrungsstab nicht nur geradlinig und nicht nur parallel. Vielmehr sind durch die Filamente zumindest streckenweise insbesondere Keile in wechselnder Richtung ausgebildet, wobei die Zwischenräume zwischen den Filamenten entweder nur durch die Kunststoffmatrix oder durch die Kunststoffmatrix und einen zusätzlichen Festkörper ausgefüllt sind.

[0029] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Bewehrungssystem aus mehreren Bewehrungsstäben vorgeschlagen. Die Bewehrungsstäbe weisen dabei ein oder mehrere Merkmale der vorangegangenen und/oder nachfolgenden Beschreibung auf.

[0030] Die Bewehrungsstäbe sind mittels Koppellementen zum Bewehrungssystem verbunden. Die Koppellemente können hierbei vorteilhafterweise ebenfalls zum Übertragen von Zugkräften zwischen der Betonmatrix und den Bewehrungsstäben und/oder dem Bewehrungssystem beitragen. Außerdem können die Koppellemente die Zugkraft unter den Bewehrungsstäben des Bewehrungssystems verteilen, so dass eine punktuell auf das Betonbauteil einwirkende Zugkraft großflächig verteilt wird.

[0031] Das Bewehrungssystem kann beispielsweise als Bewehrungsmatte und/oder als Bewehrungsverbund ausgebildet sein, wobei die Bewehrungsstäbe zueinander in ihrer Längsrichtung und/oder Querrichtung versetzt sind. Durch die in Längsrichtung zueinander versetzten Bewehrungsstäbe kann ein Bewehrungsstabverbund ausgebildet werden, der länger als ein einzelner Bewehrungsstab ist. Dadurch können vorteilhafterweise lange gestreckte Betonbauteile verstärkt werden.

[0032] Zusätzlich oder alternativ kann durch einen Versatz der Bewehrungsstäbe und/oder der Bewehrungsstabverbünde in ihrer Querrichtung eine flächige Bewehrungsmatte ausgebildet werden, so dass flächige Betonbauteile, wie beispielsweise Gebäudedecken und/oder -wände verstärkt werden können.

[0033] Zusätzlich oder alternativ können die Bewehrungsstäbe und/oder die Bewehrungsverbünde auch in eine weitere, zur gerade genannten Querrichtung senkrechte Querrichtung versetzt angeordnet werden. D.h., dass das Bewehrungssystem nicht nur flächig, sondern auch räumlich ausgebildet sein kann. Beispielsweise kann das Bewehrungssystem zur Verstärkung einer Gebäudeecke zwei senkrecht oder winklig zueinander stehende Bewehrungsmatten umfassen, so dass das Bewehrungssystem zwei

in der Gebäudeecke zusammenlaufende Gebäudewände (oder bspw. eine Gebäudewand und eine Gebäudedecke) miteinander verbindet und/oder verstärkt.

[0034] Die Koppellemente können vorteilhafterweise Metall- und/oder Kunststoffdrähte, Nähfäden und/oder ein Klebemittel umfassen. Die Metalldrähte können beispielsweise Aluminium- oder Stahldrähte umfassen und dann eingesetzt werden, wenn die Koppellemente große Zugkräfte zwischen den einzelnen Bewehrungsstäben verteilen sollen. Kunststoffdrähte können dann eingesetzt werden, wenn das Gewicht des Bewehrungssystems gering gehalten werden soll.

[0035] Duroplastische, thermoplastische und/oder elastomere Materialien können als Klebemittel zu einer kontaktierenden Verbindung zwischen den Bewehrungsstäben benutzt werden.

[0036] Als die Erfindung umfassend wird ebenfalls ein Betonbauteil mit mehreren Bewehrungsstäben und/oder mindestens einem Bewehrungssystem vorgeschlagen. Die Bewehrungsstäbe und/oder das Bewehrungssystem können gemäß einem oder mehreren der vorangegangenen und/oder nachfolgenden beschriebenen Merkmale ausgebildet sein.

[0037] Das Betonbauteil umfasst eine die Bewehrungsstäbe und/oder das mindestens eine Bewehrungssystem umgebende Betonmatrix, wobei die Bewehrungsstäbe und/oder das mindestens eine Bewehrungssystem formschlüssig unter Ausbildung einer Selbsthemmung in der Betonmatrix verankert sind. Die Verankerung wird dadurch ausgebildet, dass die Betonmatrix den Bewehrungsstab umschließt und in die zwischen den Erhebungen angeordneten Einbuchtungen eingreift. Die ausgehärtete Betonmatrix verzahnt sich infolgedessen mit den Erhebungen und Einbuchtungen, so dass die Bewehrungsstäbe und/oder das mindestens eine Bewehrungssystem in der Betonmatrix verankert sind.

[0038] Zusätzlich kann zwischen der Betonmatrix und den Bewehrungsstäben und/oder dem mindestens einen Bewehrungssystem ein Kraft- und/oder Stoffschluss ausgebildet sein. Dadurch ist die Verankerung der Bewehrungsstäbe und/oder dem mindestens einen Bewehrungssystem in der Betonmatrix weiter erhöht.

[0039] Die mindestens eine Filamentschar der Bewehrungsstäbe und/oder des mindestens einen Bewehrungssystems verlaufen vorzugsweise in Hauptbelastungsrichtung des Betonbauteils. Dadurch können die auf die Bewehrungsstäbe und/oder das mindestens eine Bewehrungssystem wirkenden Zugkräfte optimal auf die Längserstreckung der Fil-

amentschar abgeleitet werden, um die hohe Zugbelastbarkeit der Filamentschar auszunutzen.

[0040] Vorgeschlagen wird in einem weiteren Aspekt der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Bewehrungsstabs mit zumindest einer in einer Kunststoffmatrix eingebetteten Filamentschar. Der Bewehrungsstab kann gemäß einem oder mehreren der vorangegangenen und/oder nachfolgenden Merkmale ausgebildet sein.

[0041] Bei dem Verfahren wird zuerst mindestens eine Filamentschar in ein die Erhebungen und Einbuchtungen erzeugendes Formwerkzeug eingelegt. Zusätzlich oder alternativ kann die mindestens eine Filamentschar auch durch ein Formwerkzeug hindurchgeführt werden, so dass eine endlose Herstellung des Bewehrungsstabs erfolgen kann. Des Weiteren kann die mindestens eine Filamentschar bereits mit einer Kunststoffmatrix vorimprägniert sein, wobei die Filamentschar mit der Kunststoffmatrix als sogenanntes Prepreg bezeichnet wird.

[0042] Alternativ kann auch die Kunststoffmatrix gesondert von der Filamentschar in das Formwerkzeug eingebracht werden. Dies kann vor oder nach dem Einbringen der Filamentschar in das Formwerkzeug geschehen. Beispielsweise ist es auch möglich, dass in einem ersten Teilschritt zuerst eine Teilmenge Kunststoffmatrix in das Formwerkzeug eingebracht wird, dann die zumindest eine Filamentschar auf die in dem Formwerkzeug angeordnete Kunststoffmatrix aufgelegt wird und anschließend auf die Filamentschar eine weitere Teilmenge Kunststoffmatrix in das Formwerkzeug eingebracht wird. Die Kunststoffmatrix kann beispielsweise von einer (zäh-)flüssigen Konsistenz sein, so dass die Kunststoffmatrix von alleine oder durch Verstreichen in dem Formwerkzeug und/oder auf der Filamentschar verteilt wird.

[0043] In einem weiteren Schritt werden die Filamente der mindestens einen Filamentschar unter Aufbringen von Druck und Wärme in dem besagten Formwerkzeug unter Ausbildung von sich abwechselnden Erhebungen und Einbuchtungen entlang einer in Längserstreckung an der Staboberfläche verlaufenden Linie zum besagten Bewehrungsstab verbunden. Unter dem Aufbringen des Drucks werden beispielsweise die Filamente in im Formwerkzeug angeordnete Vertiefungen eingepresst, so dass sich die Erhebungen des Bewehrungsstabs ausbilden.

[0044] Durch die Wärmezufuhr vernetzt sich die Kunststoffmatrix und erstarrt, so dass die Form und insbesondere die Erhebungen und Einbuchtungen des Bewehrungsstabs erhalten bleiben.

[0045] In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens werden in

das Formwerkzeug und/oder durch das Formwerkzeug zumindest eine erste und eine zweite Filamentschar derart zusammengeführt, dass die erste und die zweite Filamentschar zumindest abschnittsweise parallel zueinander angeordnet sind. Zusätzlich werden zwischen die Filamentschare Rippenbildner angeordnet, welche die Erhebungen ausbilden.

[0046] Weitere Vorteile der Erfindung sind in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht eines Ausschnitts eines Bewehrungsstabs mit Erhebungen und Einbuchtungen;

Fig. 2a-b ein alternatives Ausführungsbeispiel eines Bewehrungsstabs in zwei zueinander senkrechten Längsschnitten;

Fig. 2c-d perspektivische Ansichten (nicht transparent, halb-transparent) eines Ausschnitts des Bewehrungsstabs der **Fig. 2a-2b**;

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines Bewehrungsstabs, bei dem die Erhebungen mittels Rippenbildnern ausgebildet sind;

Fig. 4a-b eine Schnittansicht entlang der Längserstreckung bzw. Quererstreckung zweier Filamentschare mit dazwischen angeordneten Rippenbildnern in einem Formwerkzeug;

Fig. 5a-5b eine Schnittansicht entlang der Längserstreckung bzw. Quererstreckung eines hergestellten Bewehrungsstabs in einem Formwerkzeug, und

Fig. 6a-6b zwei Ausführungsbeispiele für ein Bewehrungssystem.

[0047] **Fig. 1** zeigt eine Schnittansicht eines Ausschnitts eines Bewehrungsstabs **1** zum Einbringen in eine Betonmatrix, um ein Betonbauteil zu verstärken. Eine wesentliche allgemeine Eigenschaft von Beton ist es, dass er zwar eine recht hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Druckkräften aufweist, jedoch nur relativ eingeschränkt Zugkräfte aufnehmen kann. Daher wird der Beton bzw. das Betonbauteil mit einer Vielzahl von Zugkräfte aufnehmenden Bewehrungsstäben **1** verstärkt. Der Beton nimmt dabei immer noch im Wesentlichen die Druckkräfte auf, wohingegen die Bewehrungsstäbe **1** im Wesentlichen die Zugkräfte aufnehmen. Dadurch stehen die Vorteile beider Bauelemente zur Verfügung und das Betonbauteil kann hohen Druck- und Zugkräften standhalten.

[0048] Der Bewehrungsstab **1** umfasst zumindest eine Filamentschar **2**, die aus einer Vielzahl hier nicht gezeigter in Längserstreckung **X** weitgehend parallel verlaufender Filamente ausgebildet ist, die mit Hilfe einer hier ebenfalls nicht gezeigten Kunststoffmatrix zum Bewehrungsstab **1** verbunden sind. Die

Kunststoffmatrix kann beispielsweise ein duroplastisches, ein thermoplastisches und/oder ein elastomeres Material sein, das die Filamente zusammenhält und zum Zwecke der Formbildung des Bewehrungsstabs **1** dauerhaft fixiert. Die Anzahl der Filamente der Filamentschar **2** kann beispielsweise im Bereich von mindestens 24.000 oder gar mindestens 50.000 liegen, wobei mit einer höheren Anzahl auch eine höhere Zugfestigkeit des Bewehrungsstabs **1** einhergeht.

[0049] Die Filamentschar **2** kann vorteilhafterweise Kohlenstofffaser-Rovings, Glasfaser-Rovings und/oder anderen Hochleistungs-Rovings, wie beispielsweise Keramikfaser-Rovings, Quarzfaser-Rovings, Basaltfaser-Rovings, Borfaser-Rovings, Aramidfaser-Rovings und/oder Dyneemafaser-Rovings, umfassen, wobei die besagten Rovings die in der Kunststoffmatrix eingebettete Endlosfasern bzw. Filamente umfassen. Derartige Fasern bzw. Filamente weisen bei einem geringen Gewicht eine hohe Zugfestigkeit auf. Das geringe Gewicht ist beispielsweise ein Vorteil gegenüber Bewehrungsstäben aus Stahl, die ein deutlich höheres Gewicht (bei vergleichbarer Zugfestigkeit) aufweisen sowie anfällig für Rost sind.

[0050] Aufgrund der Ausrichtung der Filamentschare in Längserstreckung **X** des Bewehrungsstabs **1** wird eine auf den Bewehrungsstab **1** in dessen Längserstreckung **X** wirkende Zugkraft somit im Wesentlichen auf eine Längserstreckung der einzelnen Filamente übertragen. Die Filamente sind daher im Wesentlichen für die Zugfestigkeit des Bewehrungsstabs **1** verantwortlich.

[0051] Des Bewehrungsstab **1** weist ferner eine zur Längserstreckung **X** senkrecht orientierte Quererstreckung **Y** auf. Die Längserstreckung **X** sowie die Quererstreckung **Y** definieren zugleich auch eine Längsrichtung **X** sowie eine Querrichtung **Y** des Bewehrungsstabs **1**.

[0052] Um eine Verankerung des Bewehrungsstabs **1** in der Betonmatrix zu erhöhen, weist der erfindungsgemäße Bewehrungsstab **1** entlang einer in Längserstreckung **X** des Bewehrungsstabs **1** an der Staboberfläche verlaufenden Linie **L** mehrere voneinander beabstandete Erhebungen **3** und zwischen den Erhebungen **3** angeordnete Einbuchtungen **4** auf. Die entlang der Staboberfläche verlaufende Linie **L** folgt hierbei den Erhebungen **3** und Einbuchtungen **4** und verläuft insgesamt in der gleichen Richtung wie die Mittellinie **M** des Bewehrungsstabs **1**.

[0053] Insbesondere umschließt bei der Anordnung des Bewehrungsstabs **1** in einem Betonbauteil deren Betonmatrix den Bewehrungsstab **1** vollständig und somit auch die Erhebungen **3** und die Einbuchtungen **4**. Insbesondere ist die Betonmatrix auch in den Einbuchtungen **4** angeordnet und bildet dadurch mit den Erhebungen **3** und den Einbuchtungen **4** ei-

ne formschlüssige Verbindung. Die ausgehärtete Betonmatrix verzahnt sich in den Einbuchtungen **4**, so dass der Bewehrungsstab **1** eine Widerstandsfähigkeit gegen Verschiebung gegenüber der Betonmatrix in Richtung der Längserstreckung **X** entwickelt. Insgesamt wird eine Selbsthemmung des erfindungsgemäßen Bewehrungsstabs **1** in der Betonmatrix erreicht.

[0054] Jeweils zwei benachbarte Erhebungen **3** können zueinander in Längserstreckung **X** einen Abstand **5** zwischen 1 mm und 100 mm aufweisen. Beispielsweise kann der Abstand **5** auch zwischen 5 mm und 50 mm betragen. Dadurch können sich beispielsweise in der Betonmatrix angeordnete Kieskörner in den Einbuchtungen **4** einlagern, so dass auch diese zur Verzahnung, d.h. Selbsthemmung, des Bewehrungsstabs **1** in der Betonmatrix beitragen.

[0055] In dem gemäß **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel wechseln sich die Erhebungen **3** und die Einbuchtungen **4** in periodisch gleichbleibenden Abständen **5** ab. Der Abstand **5** zwischen den Erhebungen **3** muss aber nicht über einen Teil oder über die komplette Längserstreckung **X** des Bewehrungsstabs **1** konstant sein. Der Bewehrungsstab **1** kann beispielsweise auch Abschnitte aufweisen, in denen der Abstand **5** zwischen den Erhebungen **3** verkleinert oder vergrößert ist und/oder beispielsweise variiert.

[0056] Ferner weisen die Erhebungen **3** eine Dicke **6** und die Einbuchtungen **4** eine Dicke **7** auf, wobei diese Dicken jeweils in der gleichen Richtung gemessen sind. Vorteilhaft ist, wenn die Dicke **6** der Erhebungen **3** um mindestens 10% größer ist als die Dicke **7** der Einbuchtungen **4**. Außerdem kann es vorteilhaft sein, wenn die Dicke **6** der Erhebungen **3** um mindestens 20% größer ist als die Dicke **7** der Einbuchtungen **4**. Ebenso kann es vorteilhaft sein, wenn die Dicke **6** der Erhebungen **3** um mindestens 30% größer ist als die Dicke **7** der Einbuchtungen **4**. Dadurch kann eine ausgezeichnete Verzahnung des Bewehrungsstabs **1** in der umgebenden Betonmatrix realisiert werden. Des Weiteren kann eine Teilmenge der Erhebungen **3** eine andere Dicke **6** aufweisen als die restlichen Erhebungen **3** des Bewehrungsstabs **1**. Die Erhebungen **3** können selbstverständlich auch alle eine voneinander unterschiedliche Dicke **6** aufweisen.

[0057] Der gemäß **Fig. 1** in Schnittansicht gezeigte Bewehrungsstab **1** kann in einer vorteilhaften Ausführung als ein symmetrischer Rotationskörper um die Mittellinie **M** ausgebildet sein. Durch eine solche Rotationssymmetrie des Bewehrungsstabs **1** weist dieser an jeder Stelle in Längserstreckung **X** einen im Wesentlichen runden Querschnitt auf. Dadurch, dass sich die Erhebungen **3** und die Einbuchtungen **4** in Längserstreckung **X** abwechseln, ändert sich die Querschnittsfläche des Bewehrungsstabs **1** entlang seiner Längserstreckung **X** ständig. Gemäß der dargestellten Ausführungsform ist die Querschnittsflä-

che des Bewehrungsstabs bei den Erhebungen **3** jeweils gleich; auch die Einbuchtungen **4** weisen vor-teilhafterweise jeweils eine gleich große die Quer-schnittsfläche auf.

[0058] Bevorzugt beruhen die Erhebungen **3** und die Einbuchtungen **4** auf einer ungleichmäßigen Dichte-verteilung der Filamente in der Kunststoffmatrix. In den Bereichen der Erhebungen **3** sind beispielswei-se die Filamente der Filamentschar **2** lockerer ange-ordnet, wobei der zwischen ihnen ausgebildete Zwi-schenraum mit der Kunststoffmatrix ausgefüllt ist. Da-gegen sind in den Bereichen der Einbuchtungen **4** die Filamente dichter angeordnet, so dass sie näher bei-einander liegen und somit weniger Raum beanspru-chen. In Bereichen der Einbuchtungen **4** ist weniger Kunststoffmatrix vorhanden als in Bereichen der Er-hebungen **3**.

[0059] Außerdem kann der Bewehrungsstab **1** aus mehreren Keilen, Tetraedern und/oder Kegeln besteh-en, wobei sich vorzugsweise jeweils zwei Keile bzw. Tetraeder bzw. Kegel jeweils mit ihren spitzen bzw. schmaleren Enden gegenüberliegen und sich dieses Muster dann entlang des Bewehrungsstabs wieder-holt. Die konkrete Form ist dabei insbesondere von der Form der gewünschten Querschnittsfläche ent-lang des Bewehrungsstabs **1** abhängig. Wenn der Bewehrungsstab **1** beispielsweise als ein Rotations-körper um die Mittellinie **M** ausgebildet ist, weist die Querschnittsfläche eine Kreisform auf, wobei in die-sem Fall der Bewehrungsstab **1** insbesondere eine Kegelform aufweisen kann.

[0060] Im Ausführungsbeispiel gemäß der **Fig. 1** weist der Bewehrungsstab **1** beispielsweise einen ersten Bereich **8** und einen daran anschließenden zweiten Bereich **9** auf, in denen der Bewehrungsstab **1** jeweils im Wesentlichen eine Kegelform aufweisen kann. Die beiden Kegel des ersten und zweiten Be-reichs **8, 9** sind zueinander entgegengesetzt orien-tiert. Die beiden Grundflächen der beiden Kegel der beiden Bereiche **8, 9** berühren sich im Bereich der Er-hebung **3**, wohingegen die Spitzen der Kegel in den Bereichen der Einbuchtungen **4** angeordnet sind.

[0061] Wenn der Bewehrungsstab hingegen bei-spielsweise einen rechteckigen Querschnitt aufweist, weisen die Bereiche **8, 9** die Form einer Pyramide oder eines Tetraeders auf. Die beiden Bereiche **8, 9** können auch eine Keilform aufweisen, wobei die Kei-le insbesondere abwechselnd entgegengesetzt ori-entiert sein können.

[0062] Die **Fig. 2a-d** zeigen ein weiteres Ausführ-ungsbeispiel des Bewehrungsstabs **1** mit Erhebun-gen **3** und Einbuchtungen **4**. Der Bewehrungsstab **1** weist hier eine Vielzahl von in Längsrichtung endlos hintereinander angeordneten Tetraeder auf. Diese können auch als Doppelkeile bezeichnet werden, wo-

bei die Keilspitzen eines Doppelkeils bzw. Tetraeders voneinander wegzeigen (in und gegen die Längsrich-tung **X**) und zueinander um 90° gedreht sind. Die-se Doppelkeile bzw. Tetraeder wechseln sich gemäß der **Fig. 2a-2d** in Längserstreckung **X** des Beweh-rungsstabs **1** ab.

[0063] Die beiden **Fig. 2a, Fig. 2b** zeigen zwei Längsschnitte durch einen entsprechenden Beweh-rungsstab **1**, bei dem die Längsschnitte um 90° in Umfangsrichtung zueinander versetzt sind. Wenn al-so in einer Querrichtung eine Einbuchtung **4** vorhan-den ist, ist im gleichen Längenabschnitt des Beweh-rungsstabs **1** in der dazu senkrechten Querrichtung eine Erhebung **3** vorhanden. Mit anderen Worten sind die Konturen des Bewehrungsstabs **1** entlang zweier an der Staboberfläche durch die Erhebungen **3** und Einbuchtungen **4** verlaufenden und zueinander um 90° in Umfangsrichtung versetzten Linien identisch, aber um 180° in Längsrichtung des Bewehrungsstabs **1** phasenverschoben (durch die beiden senkrechten gestrichelten Linien angedeutet).

[0064] Die **Fig. 2c, Fig. 2d** zeigen denselben Be-wehrungsstab **1** aus aneinander gereihter Tetraeder bzw. Doppelkeile, jedoch in leicht perspektivischer Ansicht. Außerdem ist in **Fig. 2d** der eigentlich nicht sichtbare Verlauf der hinteren und unteren Kanten der Tetraeder zur Veranschaulichung gestrichelt dar-gestellt.

[0065] **Fig. 3** zeigt eine perspektivische Ansicht ei-nes weiteren Ausführungsbeispiels des Bewehrungs-stabs **1**, bei dem die Erhebungen **3** mittels Rippen-bildnern **10** ausgebildet sind. Der Einfachheit halber ist nur ein einziger Rippenbildner **10** mit einem Be-zugszeichen versehen.

[0066] Der Bewehrungsstab **1** weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel zwei Filamentschare **2a, 2b** auf, die abschnittsweise parallel zueinander angeordnet sind und in diesen Bereichen direkt miteinander ver-bunden sind.

[0067] Zwischen den beiden Filamentscharen **2a, 2b** sind mehrere, in Längsrichtung **X** voneinander be-abstandete Rippenbildner **10** angeordnet. Die Rip-penbildner **10** vergrößern lokal den Querschnitt des Bewehrungsstabs **1**, um die Erhebungen **3** auszubil-den. In den Bereichen, in denen keine Rippenbildner **10** angeordnet sind, sind dementsprechend die Ein-buchtungen **4** angeordnet.

[0068] Die Rippenbildner **10** sind vorzugsweise aus einem inkompressiblen Material ausgebildet. Bei-spielsweise können die Rippenbildner **10** aus einem Kunststoff und/oder aus einer Aluminiumlegierung ausgebildet sein.

[0069] Zusätzlich oder alternativ können ein oder mehrere Rippenbildner **10** jeweils als eine dritte Filamentschar ausgebildet sein. Diese kann beispielsweise aus dem gleichen Material wie die erste und zweite Filamentschar **2a**, **2b** bestehen, also beispielsweise aus Carbon-Filamenten. Die dritten Filamentscharen können ferner schräg zu den ersten und zweiten Filamentscharen **2a**, **2b** angeordnet sein. Gemäß einer bevorzugten Variante (entspricht der **Fig. 3**) sind die dritten Filamentscharen jeweils senkrecht zur ersten und zweiten Filamentschar **2a**, **2b** ausgerichtet.

[0070] Die Rippenbildner **10** sind gemäß der **Fig. 3** als keilförmige Körper ausgebildet, wobei sie jeweils an ihren beiden in Richtung der Längserstreckung **X** orientierten Enden eine Keilspitze aufweisen. Entlang der Keilspitze schmiegen sich die Filamentscharen **2a**, **2b** an, so dass zwischen den Rippenbildnern **10** und den beiden Filamentscharen **2a**, **2b** keine Hohlräume ausgebildet sind. Dadurch wird eine Kontaktfläche zwischen einem Rippenbildner **10** und den anliegenden Filamentscharen **2a**, **2b** erhöht, so dass sich der Reibungswiderstand zwischen den Rippenbildnern **10** und den Filamentscharen **2a**, **2b** in Richtung der Längserstreckung **X** erhöht. Auf diese Weise wird ein Verschieben der Rippenbildner **10** gegenüber den Filamentscharen **2a**, **2b** vermieden. Insgesamt wird durch die Ausbildung des Bewehrungsstabs **1** gemäß der **Fig. 3** verhindert, dass bei seiner Anordnung in einer Betonmatrix eine auf die Filamentscharen **2a**, **2b** wirkende Zugkraft die Filamentscharen **2a**, **2b** gegenüber der Betonmatrix und gegenüber den Rippenbildnern **10** verschiebt. Es resultiert die gewünschte Selbsthemmung des Bewehrungsstabs **1** in der Betonmatrix.

[0071] Die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** zeigen jeweils eine Schnittansicht entlang der Längserstreckung **X** und entlang der Quererstreckung **Y** zweier Filamentscharen **2a**, **2b** mit dazwischen angeordneten Rippenbildnern **10** in einem Formwerkzeug **11**. Das Formwerkzeug **11** umfasst eine erste Formwerkzeughälfte **12** und eine zweite Formwerkzeughälfte **13**.

[0072] Gemäß der **Fig. 4b** umfassen die Filamentscharen **2a**, **2b** eine Vielzahl an Filamenten **15** (nur beispielhaft und nicht maßstabsgetreu dargestellt), die von einer Kunststoffmatrix **16** umgeben sind. Die Filamentscharen **2a**, **2b** können bereits mittels der Kunststoffmatrix **16** vorimprägniert sein. Zusätzlich oder alternativ kann die Kunststoffmatrix **16** auch erst während des Herstellungsverfahrens zu den Filamentscharen **2a**, **2b** zugegeben werden.

[0073] In einem ersten Schritt kann zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Bewehrungsstabs **1** die erste Filamentschar **2a** in die erste Formwerkzeughälfte **12** eingelegt werden. Die erste Filamentschar **2a** kann bereits mit der Kunststoffmatrix **16** getränkt

sein oder die Kunststoffmatrix **16** kann erst nach Einlegen der ersten Filamentschar **2a** eingebracht werden.

[0074] In einem anschließenden Schritt werden die Rippenbildner **10** auf die erste Filamentschar **2a** aufgelegt. Um in einem einzigen Schritt mehrere Rippenbildner **10** auf die erste Filamentschar **2a** aufzulegen, können die Rippenbildner **10** mit hier nicht gezeigten Verbindungselementen zusammengefügt sein, so dass ein Rippenbildnerband ausgebildet ist. Das Rippenbildnerband umfasst somit einen Strang aus Rippenbildnern **10**, der mittels der Verbindungselemente zusammengehalten wird.

[0075] Um die Rippenbildner **10** bzw. das Rippenbildnerband mit der ersten Filamentschar **2a** oder der danach aufzulegenden zweiten Filamentschar **2b** zu verbinden, kann in diesem Schritt ebenfalls eine Teilmenge der Kunststoffmatrix **16** in das Formwerkzeug **11** eingebracht werden.

[0076] Danach wird die zweite Filamentschar **2b** auf die Rippenbildner **10** und die erste Filamentschar **2a** aufgelegt. Die zweite Filamentschar **2b** kann ebenfalls bereits mit der Kunststoffmatrix **16** getränkt sein oder wird während dieses Herstellungsschritts mit der Kunststoffmatrix **16** versehen.

[0077] Nun wird die zweite Formwerkzeughälfte auf die zweite Filamentschar **2b** aufgesetzt. Mit Hilfe von Druck und Wärme verbinden sich die einzelnen Filamente **15** der Filamentscharen **2a**, **2b** zum Bewehrungsstab **1**, wobei sich währenddessen die Kunststoffmatrix **16** vernetzt und erstarrt, so dass die Form des Bewehrungsstabs **1** fixiert ist.

[0078] Um die Erhebungen **3** in Bewehrungsstab **1** auszubilden, weisen die erste und die zweite Formwerkzeughälfte **12**, **13** Vertiefungen **14** auf, in welche die Filamente **15** bei der Druckaufbringung hineingepresst werden. Nach dem Erstarren und Vernetzen der Kunststoffmatrix **16** weist der Bewehrungsstab **1** komplementäre Erhebungen **3** auf, welche durch Einbuchtungen **4** voneinander getrennt sind.

[0079] Wird eine wässrige Dispersion als Matrix verwendet, wird dieses durch den Druck entfernt. Dadurch werden Lufteinschlüsse vermieden.

[0080] Die **Fig. 5a** und **Fig. 5b** zeigen den hergestellten Bewehrungsstab **1** in dem Formwerkzeug **11**. In den Bereichen der Rippenbildner **10** sind die Erhebungen **3** mit den dazwischenliegenden Einbuchtungen **4** ausgebildet.

[0081] **Fig. 6a** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Bewehrungssystems **17**. Das Bewehrungssystem **17** umfasst mehrere Bewehrungsstäbe **1a-1c**, die mittels Koppellementen **18a-18d** miteinander verbun-

den sind. Die Bewehrungsstäbe 1a-1c weisen die oben beschriebenen Erhebungen **3** und Einbuchtungen **4** auf, sind aber hier der Einfachheit halber zylindrisch dargestellt. Im hier gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Bewehrungssystem **17** aus drei Bewehrungsstäben 1a-1c ausgebildet, die in deren Längserstreckung bzw. einer Längsrichtung **X** zueinander versetzt angeordnet sind. Das hier gezeigte Bewehrungssystem **17** ist beispielsweise ein Bewehrungsstabverbund. Der Bewehrungsstab 1b ist ferner gegenüber den anderen beiden Bewehrungsstäben 1a, 1c in Quererstreckung bzw. Querrichtung **Y** versetzt angeordnet, so dass die Bewehrungsstäbe 1a-1c mit Hilfe der Koppelemente 18a-18d verbunden werden können. Die Koppelemente 18a-18d können in diesem Ausführungsbeispiel beispielsweise als Metall- und/oder Kunststoffdrähte und/oder Nähfäden ausgebildet sein, die die Bewehrungsstäbe 1a und 1b sowie die Bewehrungsstäbe 1b und 1c kontaktierend verbinden.

[0082] Zusätzlich oder alternativ können die Koppelemente **18** auch als Klebemittel ausgebildet sein, welches die Bewehrungsstäbe 1a-1c ebenfalls kontaktierend verbindet.

[0083] Ein Vorteil des Bewehrungssystems **17** besteht darin, dass die Längserstreckung **X** des Bewehrungssystems **17** größer ist als die Längserstreckung **X** eines einzigen Bewehrungsstabs **1**. Dadurch kann ein Bewehrungsstab **1** im Wesentlichen beliebig verlängert werden, um längere Betonbauteile zu verstärken.

[0084] Fig. **6b** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Bewehrungssystems **17**. Das hier gezeigte Ausführungsbeispiel ist ein Beispiel für eine Bewehrungsmatte. Das Bewehrungssystem **17** weist wieder mehrere Bewehrungsstäbe 1a-1d auf, die mittels Koppelemente **18** verbunden sind. Der Einfachheit halber ist hier nur ein einziges Koppelement **18** mit einem Bezugszeichen versehen. Im hier gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Bewehrungssystem **17** vier Bewehrungsstäbe 1a-1d auf, die parallel zueinander ausgerichtet sind und in Quererstreckung **Y** zueinander versetzt angeordnet sind.

[0085] Zusätzlich oder alternativ kann auch ein Teil der Bewehrungsstäbe 1a-1d schräg zu den anderen Bewehrungsstäben 1a-1d verlaufen.

[0086] Die Koppelemente **18** können in Ausführungsbeispiel der Fig. **6d** beispielsweise wiederum als Metall- und/oder Kunststoffdrähte und/oder Nähfäden ausgebildet sein, die die einzelnen Bewehrungsstäbe 1a-1d verbinden. Zusätzlich können die Metall- und/oder Kunststoffdrähte und/oder Nähfäden beispielsweise mit Hilfe der Kunststoffmatrix versteift werden, so dass die Koppelemente **18** die

Bewehrungsstäbe 1a-1d zu einer formfesten Bewehrungsmatte verbinden.

[0087] Mit Hilfe des hier flächigen Bewehrungssystems **17** kann beispielsweise eine Gebäudewand oder eine Gebäudedecke aus Beton verstärkt werden.

[0088] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Abwandlungen im Rahmen der Patentansprüche sind ebenso möglich wie eine Kombination der Merkmale, auch wenn diese in unterschiedlichen Ausführungsbeispielen dargestellt und beschrieben sind.

Bezugszeichenliste

1	Bewehrungsstab
2	Filamentschar
3	Erhebung
4	Einbuchtung
5	Abstand der Erhebungen
6	Dicke der Erhebungen
7	Dicke der Einbuchtung
8	erster Bereich
9	zweiter Bereich
10	Rippenbildner
11	Formwerkzeug
12	erste Formwerkzeughälfte
13	zweite Formwerkzeughälfte
14	Vertiefung
15	Filament
16	Kunststoffmatrix
17	Bewehrungssystem
18	Koppelement
X	Längserstreckung/Längsrichtung
Y	Quererstreckung/Querrichtung
M	Mittellinie
L	Linie entlang der Staboberfläche

Patentansprüche

1. Bewehrungsstab (1) zum Einbringen in eine Betonmatrix, mit mindestens einer in seiner Längserstreckung (X) verlaufenden Filamentschar (2) aus einer Vielzahl von Filamenten (15), die zumindest abschnittsweise, vorzugsweise vollständig, in einer Kunststoffmatrix (16) eingebettet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bewehrungsstab (1) entlang

einer in besagter Längserstreckung (X) an der Staboberfläche verlaufenden Linie (L) mehrere voneinander beabstandete Erhebungen (3) und zwischen den Erhebungen (3) angeordnete Einbuchtungen (4) aufweist.

2. Bewehrungsstab (1) nach dem vorherigen Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Filamentschar (2) aus Kohlenstofffaser-Rovings, Glasfaser-Rovings und/oder anderen Hochleistungs-Rovings, vorzugsweise mit einer Filamentanzahl von mindestens 24.000, besonders bevorzugt von mindestens 50.000, besteht.

3. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bewehrungsstab (1) mehrere regelmäßig oder unregelmäßig voneinander beabstandete Erhebungen (3) aufweist, deren höchste Stellen zueinander entlang der besagten an der Staboberfläche verlaufenden Linie (L) in einem Abstand (5) zwischen 1 mm und 100 mm, besonders bevorzugt zwischen 5 mm und 50 mm angeordnet sind.

4. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die Querschnittsfläche des Bewehrungsstabs (1) entlang seiner Längserstreckung (X) ändert, vorzugsweise periodisch.

5. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die besagten Erhebungen (3) und Einbuchtungen (4) auf einer ungleichmäßigen Dichteverteilung der Filamente (15) in der Kunststoffmatrix (16) beruhen.

6. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige der besagten Erhebungen (3) und Einbuchtungen (4) von Keilen, Tetraedern, Kegeln und/oder Pyramiden, vorzugsweise in wechselnden Richtungen ausgerichtet, entlang der Längserstreckung (X) des Bewehrungsstabs (1) ausgebildet sind.

7. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bewehrungsstab (1) zumindest eine erste und eine zweite Filamentschar (2a, 2b) umfasst, wobei die erste und die zweite Filamentschar (2a, 2b) zumindest abschnittsweise parallel zueinander verlaufen und zumindest abschnittsweise miteinander verbunden sind, wobei zwischen der ersten und zweiten Filamentschar (2a, 2b) in Längserstreckung (X) beabstandet mehrere, insbesondere inkompressible, Rippenbildner (10) angeordnet sind, welche die besagten Erhebungen (3) erzeugen und den Querschnitt des Bewehrungsstabs (1) im Bereich der besagten Rippenbildner (10) vergrößern.

8. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige der Rippenbildner (10) jeweils als insbesondere keilförmige, vorzugsweise mit der Keilspitze in Längsrichtung (X) des Bewehrungsstabs ausgerichtete, Körper ausgebildet sind, vorzugsweise aus einem Metall oder einem Kunststoff, oder dass sie als nicht-parallel zur ersten und/oder zweiten Filamentschar (2a, 2b) verlaufende dritte Filamentschar ausgebildet sind.

9. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige benachbarte Rippenbildner (10) mittels einem oder mehreren Verbindungselementen miteinander verbunden sind, wobei die Rippenbildner (10) und die Verbindungselemente vorzugsweise ein Rippenbildnerband ausbilden.

10. Bewehrungsstab (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dicke des Bewehrungsstabs (1) im Bereich zumindest einiger Erhebungen (3) mindestens 10%, vorzugsweise mindestens 20%, besonders bevorzugt mindestens 30%, größer ist als im Bereich zumindest einiger Einbuchtungen (4), jeweils gemessen in der gleichen Richtung.

11. Bewehrungssystem (17), wobei mehrere Bewehrungsstäbe (1), die nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche ausgebildet sind, mittels Koppelementen (18) verbunden sind und hierbei vorzugsweise Bewehrungsmatten und/oder Bewehrungsstabverbünde mit zueinander in ihrer Längsrichtung (X) und/oder Querrichtung (Y) versetzten Bewehrungsstäben (1) ausgebildet sind, wobei die Koppelemente (18) vorzugsweise Metall- und/oder Kunststoffdrähte, Nähfäden und/oder Klebmittel, insbesondere aus einem duroplastischen, thermoplastischen und/oder elastomeren Material, umfassen.

12. Betonbauteil mit mehreren Bewehrungsstäben (1) und/oder mindestens einem Bewehrungssystem (17), jeweils nach einem der vorherigen Ansprüche, sowie einer die Bewehrungsstäbe (1) und/oder das mindestens eine Bewehrungssystem (17) umgebenden Betonmatrix, wobei die Bewehrungsstäbe (1) und/oder das mindestens eine Bewehrungssystem (17) formschlüssig unter Ausbildung einer Selbsthemmung in der Betonmatrix verankert sind, vorzugsweise zusätzlich zu einem Kraft- und/oder Stoffschluss zwischen der Betonmatrix und den Bewehrungsstäben (1) und/oder dem mindestens einen Bewehrungssystem (17), wobei bevorzugt die mindestens eine Filamentschar (2) der Bewehrungsstäbe (1) und/oder des mindestens einen Bewehrungssystems (17) in Hauptbelastungsrichtung des Betonbauteils verlaufen.

13. Verfahren zur Herstellung eines Bewehrungsstabs (1), insbesondere eines Bewehrungsstabs (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, aus zumindest einer in einer Kunststoffmatrix (16) eingebetteten Filamentschar (2), wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- die mindestens eine Filamentschar (2) wird in ein die Erhebungen (3) und Einbuchtungen (4) erzeugendes Formwerkzeug (11) eingelegt und/oder durch ein solches Formwerkzeug hindurchgeführt, wobei die mindestens eine Filamentschar (2) bereits in einer Kunststoffmatrix (16) vorliegt oder erst vor oder nach der Kunststoffmatrix (16) in das Formwerkzeug (11) eingebracht wird;

- die Filamente (15) der mindestens einen Filamentschar (2) werden unter Aufbringen von Druck und Wärme in dem besagten Formwerkzeug (11) unter Ausbildung von sich abwechselnden Erhebungen (3) und Einbuchtungen (4) entlang einer in Längserstreckung (X) an der Staboberfläche verlaufenden Linie (L) zum besagten Bewehrungsstab (1) verbunden, wobei die Kunststoffmatrix (16) durch die Wärmezufuhr vernetzt und erstarrt.

14. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass in das Formwerkzeug (11) und/oder durch das Formwerkzeug zumindest eine erste und eine zweite Filamentschar (2a, 2b) eingelegt bzw. durchgeführt wird, wobei die beiden Filamentscharen (2a, 2b) derart zusammengeführt werden, dass die erste und die zweite Filamentschar (2a, 2b) zumindest abschnittsweise parallel zueinander angeordnet sind und wobei zwischen die Filamentscharen (2a, 2b) Rippenbildner (10) angeordnet werden, welche die Erhebungen (3) ausbilden.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

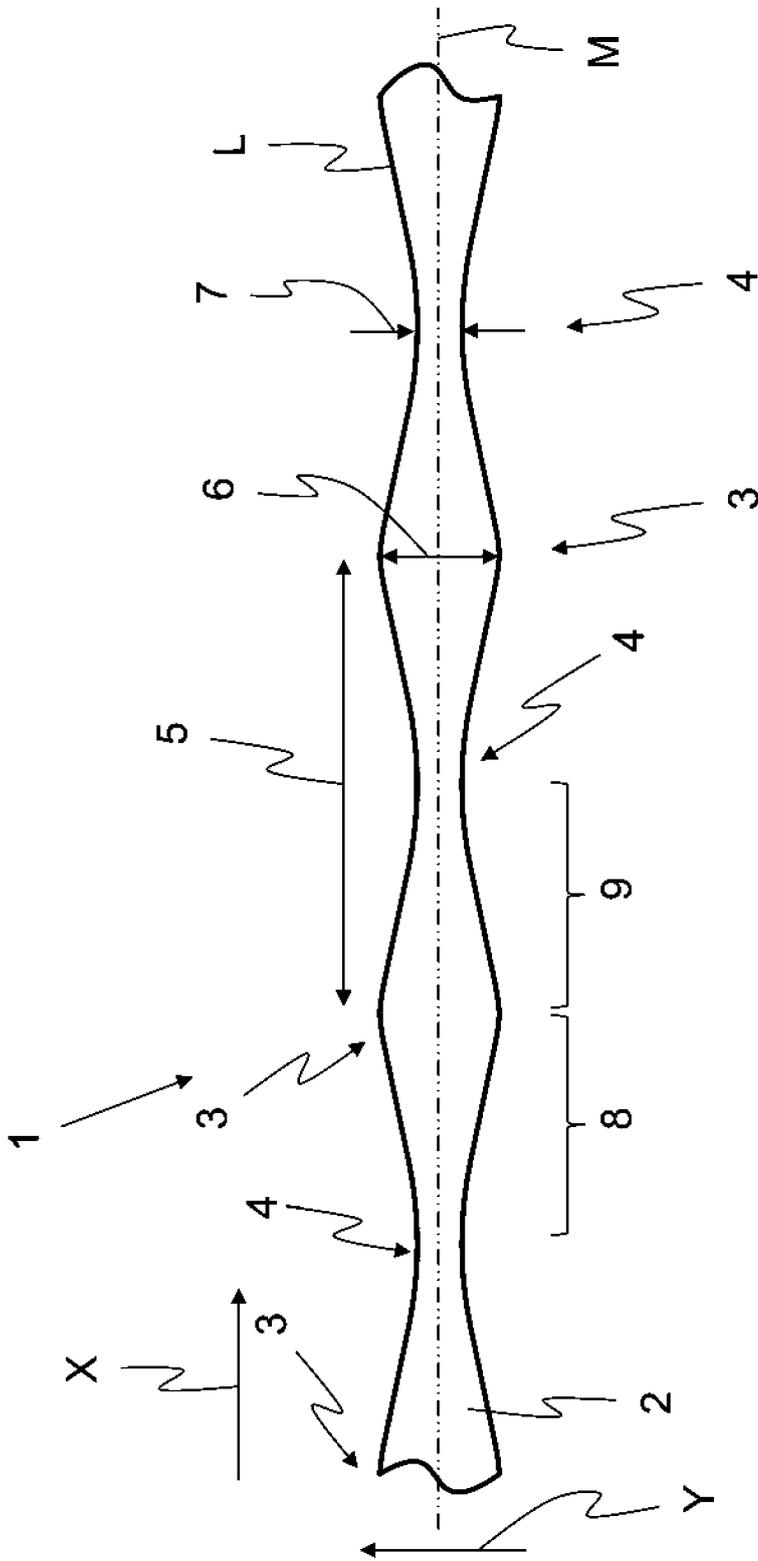


Fig. 1

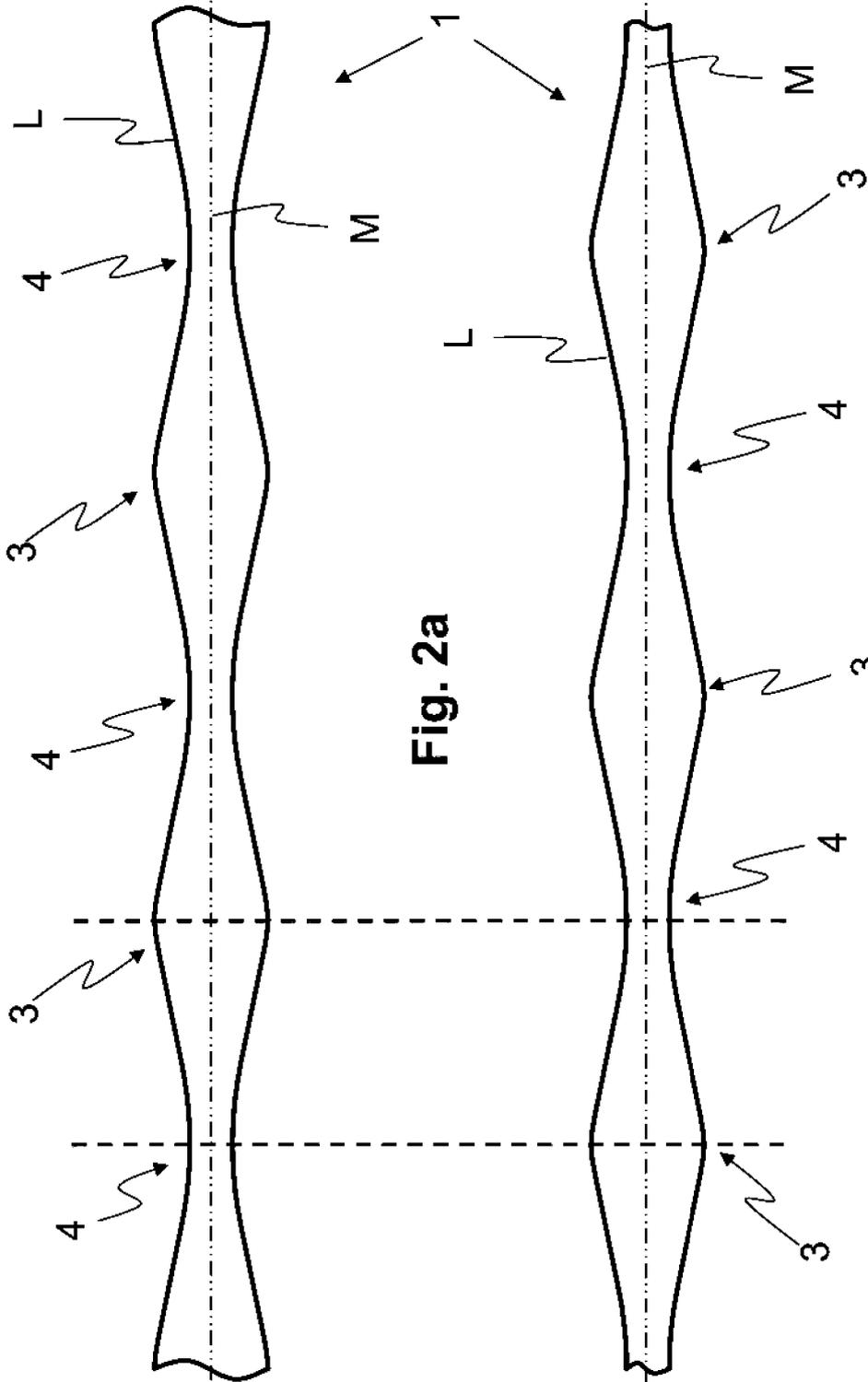


Fig. 2a

Fig. 2b

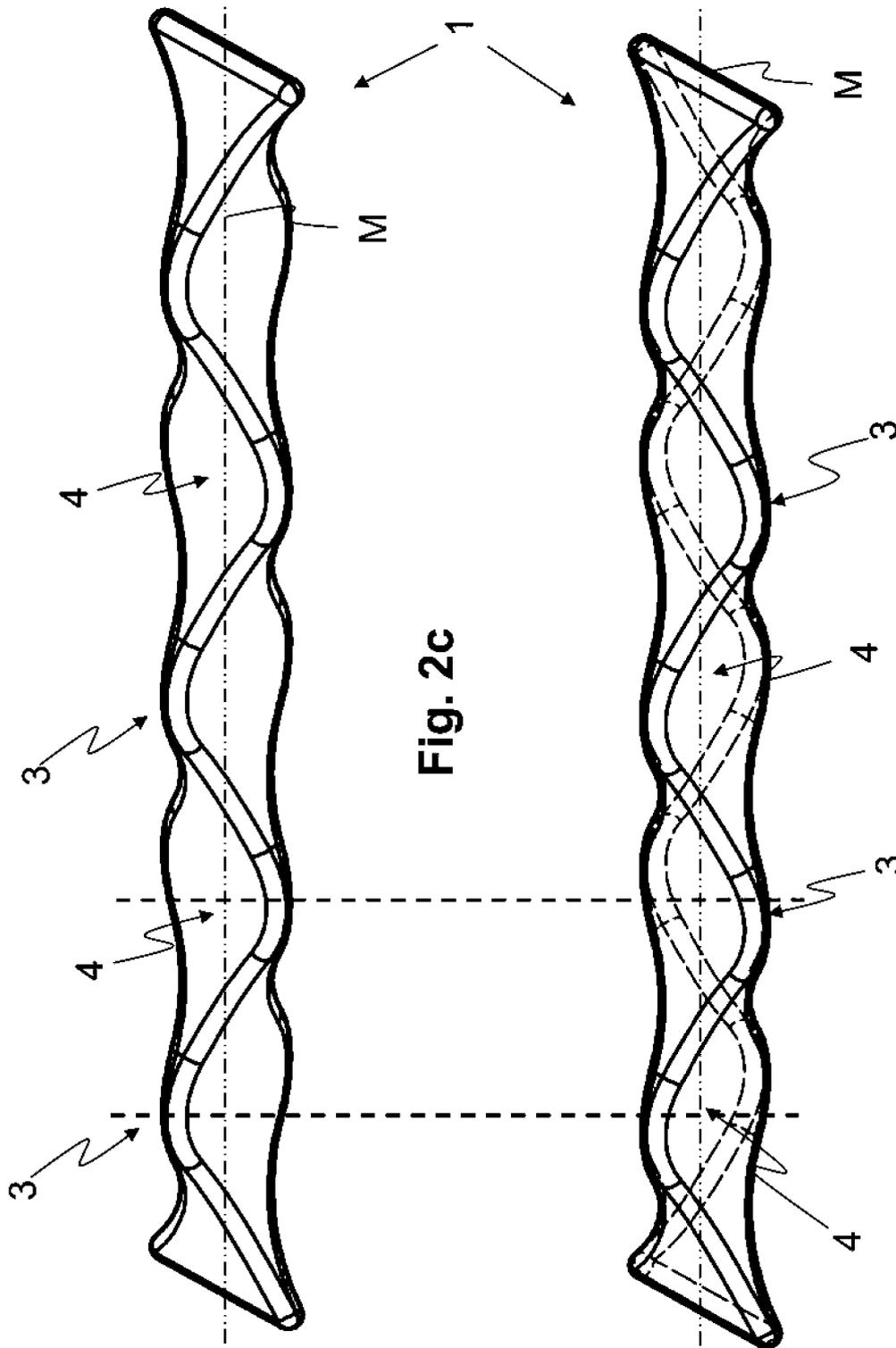


Fig. 2c

Fig. 2d

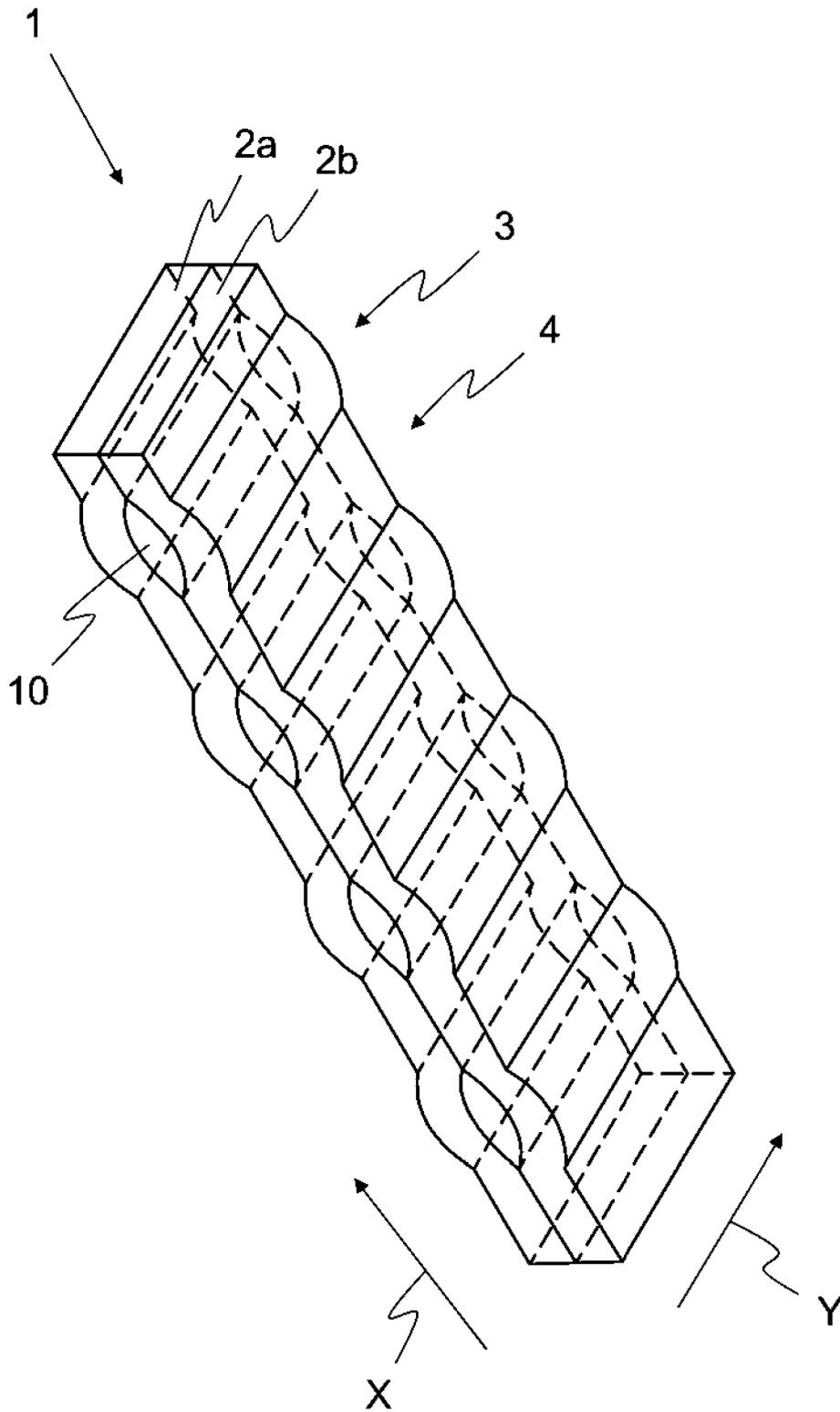


Fig. 3

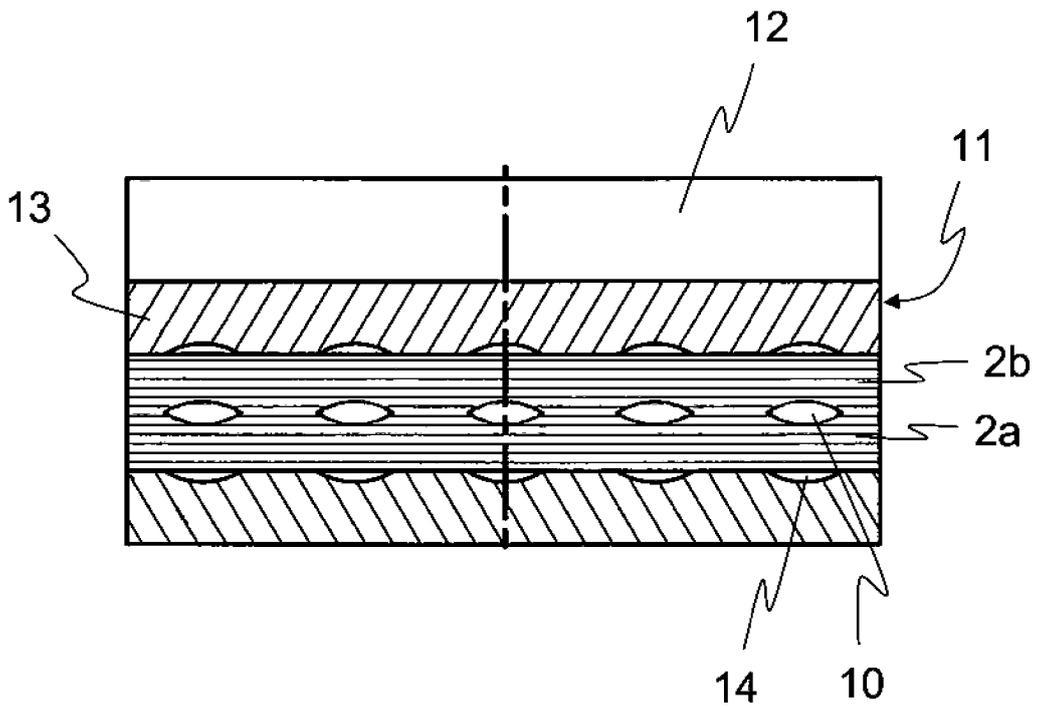


Fig. 4a

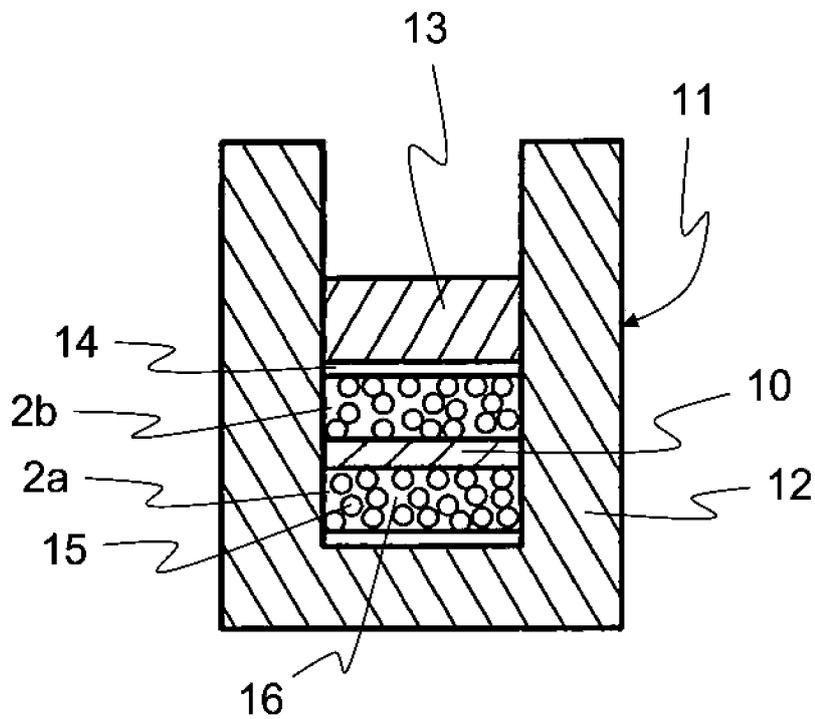


Fig. 4b

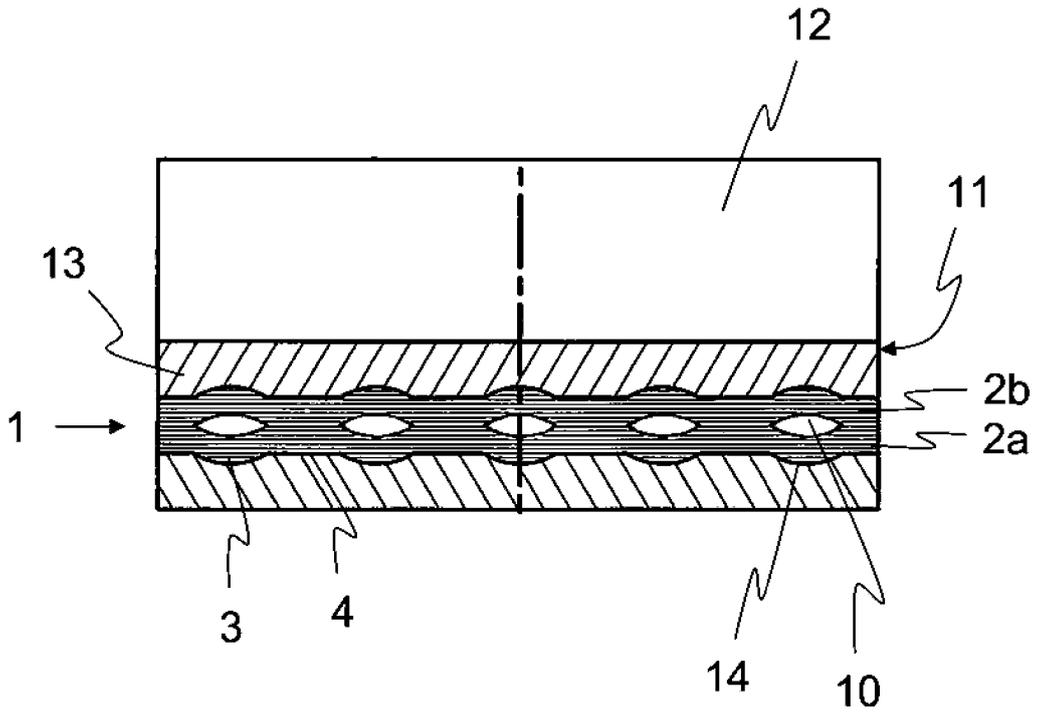


Fig. 5a

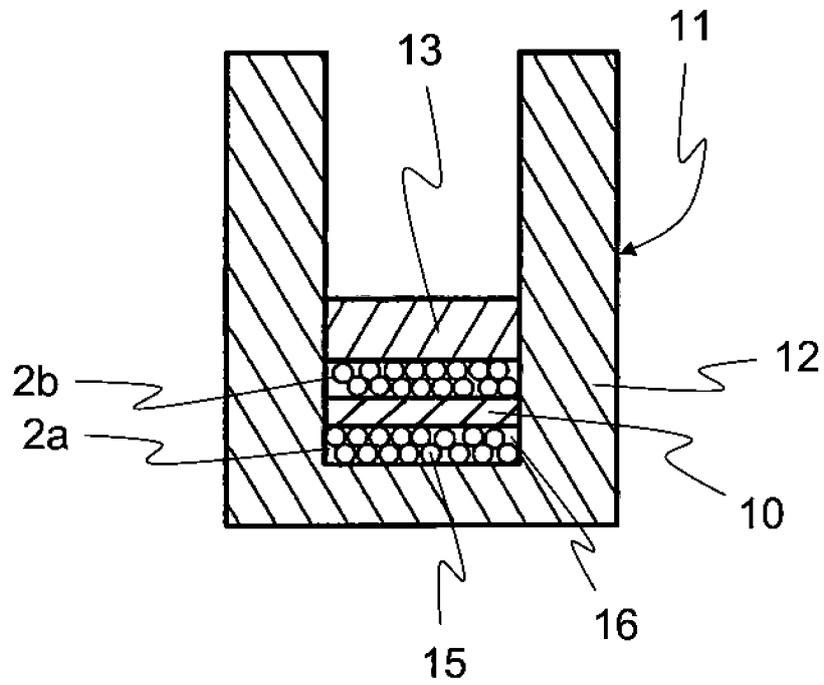


Fig. 5b

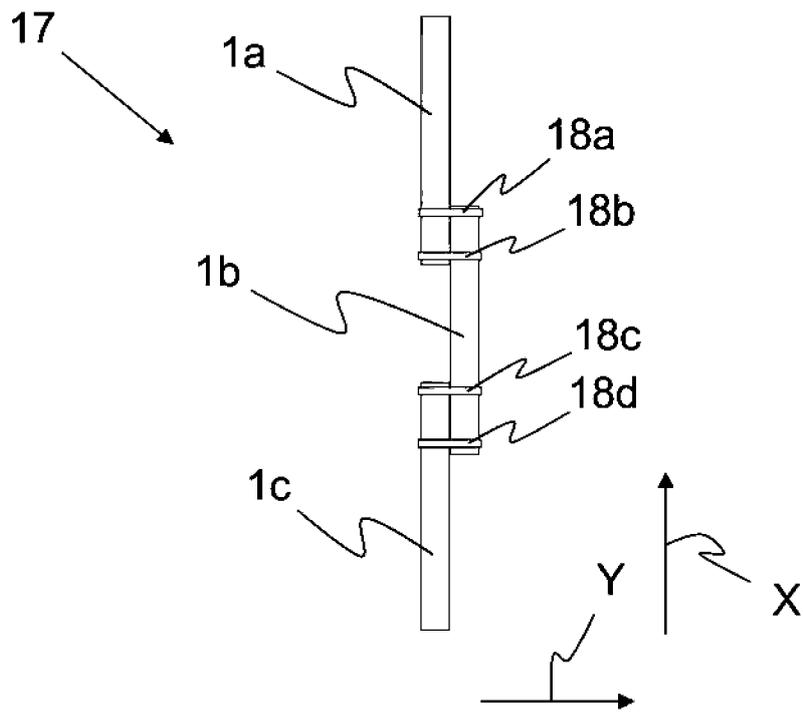


Fig. 6a

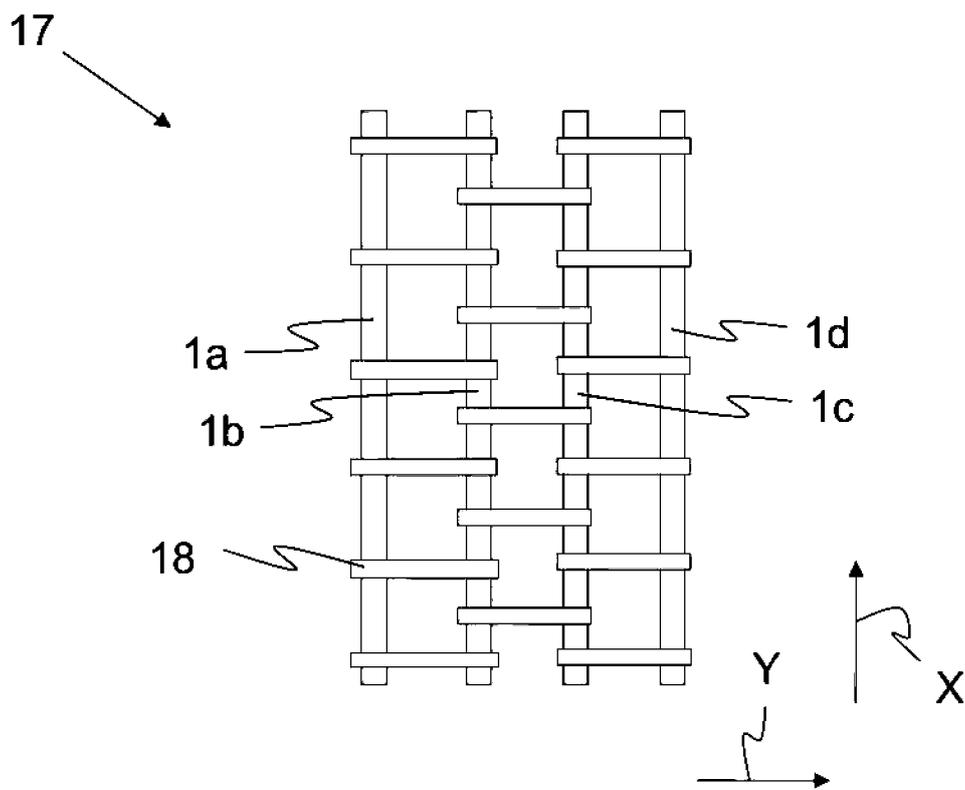


Fig. 6b