



(10) **DE 10 2019 007 891 A1** 2021.05.06

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 007 891.8**

(22) Anmeldetag: **14.11.2019**

(43) Offenlegungstag: **06.05.2021**

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

**E04C 5/01 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:

**10 2019 007 651.6 05.11.2019**

(71) Anmelder:

**OKE Group GmbH, 48477 Hörstel, DE**

(74) Vertreter:

**von Rohr Patentanwälte Partnerschaft mbB,  
45130 Essen, DE**

(72) Erfinder:

**Tillner, Thomas, 49076 Osnabrück, DE; Schäfer,  
Jens, Dr., 49082 Osnabrück, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

|           |                   |           |
|-----------|-------------------|-----------|
| <b>DE</b> | <b>690 08 803</b> | <b>T2</b> |
| <b>DD</b> | <b>2 86 014</b>   | <b>A5</b> |
| <b>FR</b> | <b>2 963 369</b>  | <b>A1</b> |
| <b>US</b> | <b>6 800 164</b>  | <b>B2</b> |

|           |                      |           |
|-----------|----------------------|-----------|
| <b>WO</b> | <b>2005/ 035 892</b> | <b>A1</b> |
| <b>EA</b> | <b>018026</b>        | <b>B1</b> |
| <b>JP</b> | <b>2013- 011 162</b> | <b>A</b>  |
| <b>JP</b> | <b>2017- 078 267</b> | <b>A</b>  |
| <b>JP</b> | <b>H07217628</b>     | <b>A</b>  |

**EA 018026 B1 - Maschinenübersetzung [ online  
abgerufen über GooglePatents am 22.09.2020 ]**

**JP 2013- 011 162 A - Maschinenübersetzung  
[ online abgerufen über EPO am 22.09.2020 ]**

**JP 2017- 078 267 A - Maschinenübersetzung  
[ online abgerufen über EPO am 23.09.2020 ]**

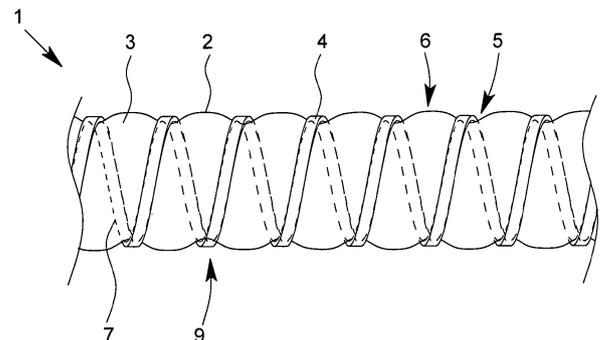
**JP H07217628 A - Maschinenübersetzung  
[ online abgerufen über EPO am 22.09.2020 ]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verstärkungsstab mit Vertiefung und Verfahren zur Herstellung eines Verstärkungsstabes mit Vertiefung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Verstärkungsstab (1), insbesondere zur Verwendung als Bewehrungsstab für Beton im Bauwesen, mit einem eine Mantelaußenfläche (2) aufweisenden Mantel (3), wobei der Mantel (3) einen faserverstärkten Kunststoff aufweist und wobei um die Mantelaußenfläche (2) wenigstens ein Faden (4) gewunden ist. Die Erfindung betrifft darüber hinaus ein Verfahren zur Herstellung eines Verstärkungsstabes (1), der einen Mantel (3) aus faserverstärktem Kunststoff aufweist, wobei um die Mantelaußenfläche (2) des Mantels (3) wenigstens ein Faden (4) gewunden wird. Erfindungsgemäß ist die Mantelaußenfläche (2) im Bereich des Fadens (4) derart eingeschnürt, dass sich im Bereich des Fadens (4) wenigstens eine Vertiefung (5) ergibt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Verstärkungsstab, insbesondere zur Verwendung als Bewehrungsstab für Beton im Bauwesen, mit einem eine Mantelaußenfläche aufweisenden Mantel, wobei der Mantel einen faserverstärkten Kunststoff aufweist und wobei um die Mantelaußenfläche wenigstens ein Faden gewunden bzw. gewickelt ist. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung die Verwendung eines derartigen Verstärkungsstabes als Bewehrungsstab im Bauwesen, insbesondere für Beton. Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Verstärkungsstabes, der einen Mantel aus faserverstärktem Kunststoff aufweist, wobei um die Mantelaußenfläche des Mantels wenigstens ein Faden gewunden bzw. gewickelt wird.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind Verstärkungsstäbe, insbesondere zur Verwendung als Bewehrungsstäbe im Bauwesen, bekannt. Bewehrungsstäbe im Bauwesen werden unter anderem zur Bewehrung von Beton verwendet. Bei der Bewehrung von Beton werden die Stäbe insbesondere mechanischen Beanspruchungen bzw. Belastungen, insbesondere Zug- und/oder Druckbeanspruchungen oder auch Momenten ausgesetzt. Derartige Beanspruchungen setzen voraus, dass eine optimale Krafteinleitung von Beton in den Stab sichergestellt ist. Bei den bekannten Verstärkungsstäben besteht der Mantel aus faserverstärktem Kunststoff und wenigstens ein Faden ist um die Mantelaußenfläche gewunden.

**[0003]** Die bekannte Konstruktion weist nachteilig auf, dass nur begrenzte Festigkeitswerte erreicht werden. Ferner ist die Herstellung eines aus dem Stand der Technik bekannten Verstärkungsstabes sehr zeitaufwendig und darüber hinaus teuer.

**[0004]** Ein gattungsgemäßer Verstärkungsstab der eingangs genannten Art ist aus einem Bündel aus verdrehten Fasern hergestellt, die von einer Matrix, die bevorzugt aus einem Duroplast-Kunststoff besteht, zusammengehalten ist. Ferner ist diese Matrix mit enthaltenen Fasern von mindestens einem Faden umwunden. Nachteilig an dem bekannten Verstärkungsstab ist, dass der Stab eine vergleichsweise niedrige Festigkeit aufweist und zudem, dass er ein vergleichsweise hohes Gewicht aufweist und hohe Produktionskosten mit sich bringt.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Verstärkungsstab zur Verfügung zu stellen, der eine verbesserte mechanische Festigkeit und eine verbesserte Kraftaufnahme ermöglicht, insbesondere wobei geringere Produktionskosten realisiert werden sollen. Darüber hinaus ist es auch eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein darauf abge-

stimmtes Verfahren zur Herstellung eines solchen Verstärkungsstabes zur Verfügung zu stellen.

**[0006]** Die vorgenannten Aufgaben werden erfindungsgemäß durch einen Verstärkungsstab gemäß Patentanspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Herstellung eines Verstärkungsstabes gemäß Patentanspruch 21 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0007]** Die vorgenannten Aufgaben werden bei einem Verstärkungsstab der eingangs genannten Art zumindest im Wesentlichen dadurch gelöst, dass die Mantelaußenfläche im Bereich des Fadens eingeschnürt ist, so dass sich im Bereich des Fadens wenigstens eine bevorzugt spiralförmige Vertiefung ergibt. Eine insbesondere spiralförmige Umwindung mit dem Faden verbessert vorteilhafterweise die mechanische Verhakung des Verstärkungsstabes in seiner Umgebung bei der bevorzugten Verwendung, vorzugsweise in Beton eingegossen.

**[0008]** Die Einschnürung durch die Umwindung ist insbesondere derart vorgesehen, dass der Mantel in Umfangsrichtung und/oder Längsrichtung des Verstärkungsstabes mit einer Riffelung bzw. Profilierung versehen ist, die insbesondere für eine bessere Krafteinleitung in den Verstärkungsstab vorteilig ist. Anders als im Stand der Technik erfolgt die Krafteinleitung bei der Erfindung unmittelbar in den Mantel und nicht in den äußeren Faden. Dabei kann die Faserverstärkung im Mantel im Wesentlichen durchgängig im Wesentlichen unbeschädigt bestehen bleiben und zudem eine Krafteinleitung in den Mantel unbeschädigt bis hin zu vergleichsweise hohen Kräften überstehen.

**[0009]** Untersuchungen haben gezeigt, dass erst durch die Erfindung ermöglicht worden ist, die Festigkeit eines Verstärkungsstabes zu steigern und zudem Herstellkosten zu verringern. Denn erst durch die Einschnürung mit einem Faden wird ermöglicht, dass die Krafteinleitung in den Verstärkungsstab vorwiegend über den Mantel in einer mechanisch deutlich verbesserten Weise geschieht. Eine Krafteinleitung direkt am bzw. über den Faden ist letztlich nicht mehr vorgesehen, wodurch die Verbindung des Fadens am Mantel im Einsatz des Stabes keiner großen Last mehr unterliegt. Folglich kann die Verbindung zwischen Faden und Mantel weniger aufwendig, zudem kann der Faden an sich mit einer geringeren Festigkeit ausgelegt werden.

**[0010]** Weiter vorteilhaft an der Erfindung ist, dass die Krafteinleitung vorwiegend in den eingeschnürten Mantel geschieht. Gegenüber dem Stand der Technik werden damit Scherkräfte am Mantelmaterial verringert, die schließlich sehr kritisch für die Festigkeit von faserverstärkten Kunststoffen anzusehen ist, da Fasern bei Scherbeanspruchung typischerweise rasch

versagen. Somit kann - je nach Anwendungsfall - letztlich eine kostengünstigere Konstruktion vorgesehen sein, da durch geringere Scherkräfte nur ein geringerer Materialaufwand betrieben werden muss.

**[0011]** Erst in Kenntnis der Erfindung ist festgestellt worden, dass Kräfte insbesondere zumindest im Wesentlichen und/oder vollständig über den Mantel in den Verstärkungsstab eingebracht werden können, wodurch die Befestigung des Fadens durch Umwindung oder Umwicklung auf der Mantelaußenfläche nicht wesentlich zur Festigkeit des Gesamtstabs beiträgt. Hierdurch können vergleichsweise hohe Stabfestigkeiten erreicht werden.

**[0012]** Die Umwindung des Mantels mit dem Faden, die auch eine Umwicklung umfasst, stabilisiert den Mantel bereits bei der Herstellung, insbesondere dann, wenn während der Herstellung noch keine vollständige Durchhärtung des Mantelmaterials eingetreten ist. Hierdurch kann die Produktion in vorteilhafter Weise beschleunigt und folglich kostengünstiger werden, da die abschließende Aushärtung bis hin zur Weiterverarbeitung und/oder Verwendbarkeit des Verstärkungsstabes in den inhärent auftretenden, d.h. zumeist unvermeidlichen, Transportzeiten passieren kann.

**[0013]** Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens ist vorgesehen, dass das Material des Mantels ein mit Kohlenstoff-, Carbon-, Glas-, Quarz-, Metall-, und/oder Polymerfasern, vorzugsweise Aramidfasern und/oder Textilfasern, verstärktes Kunststoffmaterial, insbesondere duroplastische und/oder thermoplastische Kunststoffe, bevorzugt Polyamid (PA) und/oder Polyamidharz und/oder Epoxidharz und/oder Polyurethan (PU) und/oder Polyurethanharz und/oder Polyesterharz und/oder Vinylesterharz, aufweist. Besonders bevorzugt ist es, wenn das Material des Mantels Glasfasern und als Kunststoffmaterial Polyesterharz aufweist. Auch besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der faserverstärkte Kunststoff des Mantels im Wesentlichen aus Carbonfasern in einer Vinylesterharzmatrix besteht.

**[0014]** Diese Materialmischungen des Mantels ergeben ein Faser-Matrix-Verbundmaterial, wobei die Fasern mit einem Harzsystem kombiniert werden, so dass sich ein äußerst festes und/oder steifes Material ergibt. Die Fasern ermöglichen dabei insbesondere eine hohe Festigkeit des Verstärkungsstabes bei Zugbeanspruchung. Das Harz hingegen überträgt im Wesentlichen die Druck- und/oder Scherbeanspruchungen auf den gesamten Querschnitt. Die spezifischen Eigenschaften des Mantels können dabei insbesondere so konstruiert werden, dass sich eine sehr gute chemische Beständigkeit und/oder ein geringes Gewicht und/oder eine thermische und/oder elektrische Isolation ergibt.

**[0015]** Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sieht vor, dass die durch den einschnürenden Faden erzeugte Vertiefung im Mantel eine parabelförmige Form aufweist. Dabei bedeutet parabelförmig vorzugsweise, dass ein näherungsweise symmetrischer sowie insbesondere stetiger Verlauf der Querschnittsform der Vertiefung vorliegt. Parabelförmig bedeutet bevorzugt auch, dass ein Verlauf näherungsweise mit mathematischen Funktionen dargestellt werden kann. Besonders bevorzugt bedeutet parabelförmig, dass ein Verlauf einer Oberflächenform zumindest im Wesentlichen knickfrei oder kantenfrei ist.

**[0016]** Vorteilhaft an der Ausführungsform mit einer parabelförmigen Vertiefung ist, dass die Krafteinleitung in einen Verstärkungsstab nahezu frei von Kerbwirkung stattfinden kann.

**[0017]** Kerbwirkung führt nämlich insbesondere zu Spannungsspitzen in oberflächennahen Bereichen, die bei zyklischer Beanspruchung zu Schäden in oberflächennahen Bereichen und schließlich bei Überschreiten einer zum Versagen notwendigen Anzahl an Zyklen letztlich zum Versagen des Verstärkungsstabes führen kann.

**[0018]** Dadurch dass der Mantel aus faserverstärktem Kunststoff besteht oder selbigen zumindest im Wesentlichen aufweist, und dadurch dass die Faserverstärkung zumindest hauptsächlich eine Orientierung in die Richtung der Längserstreckung des Verstärkungsstabes aufweist, werden die Fasern bei Umschlingung mit einem Faden zumindest im Wesentlichen quer zu ihrem hauptsächlichsten Verlauf verformt, jedoch nicht geknickt bzw. nahezu nicht geknickt.

**[0019]** Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass der Faden um die Mantelaußenfläche in mindestens einer, bevorzugt zwei und insbesondere einer Mehrzahl von Windungen gewunden ist. Hierdurch ergibt sich, dass eine höhere Produktivität bei der Herstellung eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes erreicht werden kann. Ferner kann hierdurch die spezifische Topographie der Profilierung der Mantelaußenfläche angepasst werden, so dass die Krafteinleitung in den Verstärkungsstab weiter verbessert werden kann.

**[0020]** Eine Windung eines Fadens ist vorzugsweise gleichzusetzen mit einer Wicklung eines Fadens und vice versa. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass eine Windung mit einer konstanten Steigung entlang eines Verstärkungsstabes gewunden ist. Die Steigung beschreibt hierbei vorzugsweise den Abstand des Anfangs- und Endpunktes von einer vollen Umschlingung eines einzelnen Fadens.

**[0021]** Eine weitere Ausführungsform weist zwei Fäden bzw. zwei Windungen auf, die gegenseitig ge-

richtet sein können. Hierdurch wird eine bevorzugte Riffelstruktur erzeugt, die ein gekreuztes Muster aufweist. Auch hierdurch können erfindungsgemäß verbesserte Kraftübertragungen in den Verstärkungsstab realisiert werden. Insbesondere kann auch vorgesehen sein, dass gegensinnig gewundene Fäden mit jeweils einer unterschiedlichen Steigung gewunden sind. Hierdurch ist ermöglicht, dass eine weitere Festigkeitssteigerung hervorgerufen werden kann.

**[0022]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Verstärkungsstab mindestens einen Faden auf, der mit einer vorzugsweise gleichbleibenden Steigung zwischen 2 und 20 mm, vorzugsweise zwischen 5 und 15 mm, besonders bevorzugt zwischen 7 und 13 mm und insbesondere  $10 \pm 1$  mm gewunden ist. Eine vorzugsweise gleichbleibende Steigung stellt sicher, dass an jeder Stelle des Verstärkungsstabes eine Krafteinleitung in einer konstanten Höhe möglich ist. Eine gleichbleibende Steigung stellt insbesondere auch sicher, dass ein Verstärkungsstab an jeder Stelle getrennt werden kann, ohne die Festigkeit des Verstärkungsstabes zu verändern.

**[0023]** Die Auswahl einer vorzugsweise gleichbleibenden Steigung ermöglicht ebenfalls die einfache Optimierung der erreichten Festigkeit des Verstärkungsstabes im Einsatz. Bei bestimmten Anwendungsfällen kann bevorzugt eine hohe Steigung erforderlich bzw. sinnvoll sein, wenn nur geringe Kräfte übertragen bzw. eingeleitet werden müssen. Insbesondere ist es möglich, dass in weiteren Anwendungsfällen bei einer hohen zu übertragenden Kraft eine niedrige Steigung auszuwählen ist, damit eine ausreichende Kraftübertragung erreicht wird. Grundsätzlich ist daher eine bevorzugte Auslegunggrundlage, dass, je höher die zu übertragenden Kräfte sind, umso niedriger die Steigung des umwickelten Fadens ist.

**[0024]** Insbesondere hat sich herausgestellt, dass die vorzugsweise gleichbleibende Steigung von  $10 \pm 1$  mm einen optimalen Kompromiss aus kostengünstiger Produktion des Verstärkungsstabes und hoher Festigkeit des Verstärkungsstabes darstellt. In den durchgeführten Versuchen hat sich gezeigt, dass insbesondere eine spiralförmige Windung mit einer bevorzugten Steigung von  $10 \pm 1$  mm sehr gute formgebende Eigenschaften aufweist, um eine gute Festigkeit des Verstärkungsstabes hervorzurufen und zugleich eine schnelle Produktionszeit zu erreichen, ohne dass unnötig viel Material des Fadens verwendet wird.

**[0025]** Beim Einschnüren der Mantelaußenfläche bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ergibt sich, dass der Mantel zwischen zwei Windungen eine Erhöhung mit insbesondere gegenüber dem Ursprungsdurchmesser des noch nicht umwickelten Stabes vergrößertem Außendurchmesser

aufweist. Dabei wird während der Herstellung der Fäden derart aufgebracht, dass sich im Bereich des Fadens eine Einschnürung ergibt, und vorzugsweise im Bereich zwischen den Umwindungen des Fadens eine Erhöhung, die insbesondere gegenüber dem Ursprungsdurchmesser des Mantels einen vergrößerten Außendurchmesser aufweist.

**[0026]** Bei einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Vertiefung ausgehend von einer benachbarten Erhöhung eine maximale Tiefe im Bereich zwischen 0,10 und 3 mm, bevorzugt zwischen 0,15 und 2,5 mm, weiter bevorzugt zwischen 0,25 und 2 mm, weiter bevorzugt zwischen 0,40 und 1,5 mm, besonders bevorzugt zwischen 0,75 und 1,25 mm und insbesondere eine Tiefe von  $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  aufweist. Insbesondere haben Untersuchungen gezeigt, dass eine bevorzugte Tiefe einer Vertiefung ausgehend von einer benachbarten Erhöhung insbesondere  $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  ist. Eine Tiefe von  $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  stellt einen optimalen Wert zur Sicherstellung der mechanischen Festigkeit des Verstärkungsstabes sowie zur optimalen Krafteinleitung in den Verstärkungsstab dar. Vorzugsweise kann der Verstärkungsstab mit einer Vertiefung von  $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  einen vollwertigen und kostengünstigen Ersatz für einen Verstärkungsstab aus Stahl darstellen. Letztlich stellt eine Tiefe einer Vertiefung von  $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  einen optimalen Kompromiss aus kostengünstiger Produktion und hoher Festigkeit des Verstärkungsstabes dar.

**[0027]** Ferner ist erfindungsgemäß bevorzugt vorgesehen, dass der Faden um wenigstens 80 % der Länge des Verstärkungsstabes gewunden ist und dass sich bevorzugt im umwundenen Bereich eine Riffelung und/oder Profilierung mit alternierend vorgesehenen Vertiefungen und Erhöhungen, die bevorzugt alternierend gleich ausgebildet sind, ergeben kann. So kann vorgesehen sein, nicht die ganze Länge eines Verstärkungsstabes mit einem Faden zu umwinden, um Bereiche vorzusehen, die andere Eigenschaften als umwundene Bereiche aufweisen. Diese Bereiche können beispielsweise bei der Produktion des Verstärkungsstabes vorgesehen sein, um die Handhabung zu vereinfachen. Weiter können nicht umwundene Bereiche vorgesehen sein, um die Handhabung in der Anwendung zu vereinfachen. Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der Faden um wenigstens 85 % der Länge des Verstärkungsstabes gewunden ist, weiter vorzugsweise um wenigstens 90 % der Länge des Verstärkungsstabes gewunden ist. Bevorzugt ist vorgesehen, dass der Faden um wenigstens 95 % der Länge des Verstärkungsstabes gewunden ist und besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der Faden um die gesamte Länge des Verstärkungsstabes gewunden ist.

**[0028]** Erfindungsgemäß ist ferner bevorzugt vorgesehen, dass benachbarte Vertiefungen die glei-

che Tiefe und/oder benachbarte Erhöhungen die gleiche Höhe mit einer Varianz von  $\pm 10\%$  aufweisen. Hierdurch werden produktionsbedingte Abweichungen ausgenutzt, um einen kostengünstigen und produktiven Prozess trotz auftretender Fertigungsungenauigkeiten zu realisieren. Außerdem sollen erfindungsgemäß durch Wahl gleicher Tiefe von Vertiefungen bzw. gleicher Höhe von Erhöhungen ermöglicht werden, dass die Krafteinleitung möglichst symmetrisch, das heißt gleichmäßig, über die Länge des Stabes stattfinden kann. Eine gleichmäßige bzw. symmetrische Krafteinleitung kann hierbei dazu führen, dass die mechanische Festigkeit eines Verstärkungsstabes in besonderem Maße erhöht wird.

**[0029]** Ferner ist bevorzugt vorgesehen, dass die Profilierung des Mantels im Längsquerschnitt einen zumindest im Wesentlichen sinusförmigen und insbesondere regelmäßigen Verlauf vorzugsweise mit gleichen Abmaßen der Vertiefungen und/oder Erhöhungen aufweist.

**[0030]** Unter sinusförmigem Verlauf ist zu verstehen, dass in der Längsquerschnittsansicht eines bevorzugt ausgeführten Verstärkungsstabes die geschnitten dargestellte Mantelaußenfläche durch eine regelmäßige Wellenform zur Umgebung hin abgegrenzt ist. Die Wellenform kann dabei näherungsweise als sinusförmig beschrieben werden. In den Vertiefungen der sinusförmigen Profilierung ist dabei bevorzugt vorgesehen, dass sich dort ein Faden befindet.

**[0031]** Der Faden ist insbesondere zumindest teilweise im tiefsten Punkt der Vertiefung angeordnet. Es ist jedoch auch möglich, dass der Faden zumindest teilweise auch auf anderen Bereichen der Mantelaußenfläche aufliegt, beispielsweise im Bereich zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt.

**[0032]** Insbesondere kann vorgesehen sein, dass ein derart breiter Faden verwendet wird, der wenigstens  $50\%$  der Mantelaußenfläche bedeckt, dass er die Mantelaußenfläche im Bereich des Fadens zwar einschnürt und sich dort eine Vertiefung bildet, der Faden jedoch auch im Bereich der Erhöhung vorliegt. Diese Ausbildung lässt sich beispielsweise dadurch erzielen, dass bestimmte Bereiche des Fadens beim Umwickeln spezifisch kraftbeaufschlagt werden.

**[0033]** Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass wenigstens zwei Fäden um den Mantel gewunden sind. Dabei wird ein Faden zur Einschnürung der Mantelaußenfläche gewunden, so dass sich im Bereich dieses Fadens eine Vertiefung ergibt. Dabei wird ein weiterer Faden vorzugsweise in einer beliebigen weiteren Anordnung derart gewunden, dass weitere Bereiche der Mantelaußenfläche von dem Faden bedeckt sind. Vorzugsweise können auch beliebig viele weitere Fäden gewunden werden.

**[0034]** Weiter vorzugsweise ist vorgesehen, dass der Faden ein Garn, bevorzugt ein Multifilamentgarn, ist, welches im gewundenen Zustand flachbandartig im Bereich der Vertiefung vorgesehen ist. So hat sich als eine bevorzugte Ausführungsform herausgestellt, dass der Faden aus einer Vielzahl einzelner Filamente, d. h. wenige Mikrometer im Durchmesser aufweisenden Einzelfäden, besteht. Auch bevorzugt ist, dass der Faden zumindest im Wesentlichen rund ist.

**[0035]** Weiter bevorzugt ist vorgesehen, dass das Filament insbesondere nicht oder nur geringfügig verdreht ist, so dass beim Umwinden der Mantelaußenfläche sich Einzelfilamente zumindest im Wesentlichen nebeneinander und nur unwesentlich aufeinander anordnen. Hierdurch ergibt sich die bevorzugte flachbandartige Anordnung im Bereich der Vertiefung im gewundenen Zustand. Diese flachbandartige Anordnung kann bewirken, dass die durch die Einschnürung des Fadens auf dem Mantel hervorgerufenen Kräfte auf einer breiteren Fläche verteilt werden, als es bei einer zylindrischen Fadenform der Fall wäre. Die flachbandartige Anordnung ruft somit bevorzugt hervor, dass eine homogenere Kraftverteilung eines bevorzugt mit einer Zugspannung um den Mantel gewundenen Fadens auf den Mantel kommt.

**[0036]** Flachbandartig bedeutet erfindungsgemäß, dass keine etwa runde Querschnittsform, sondern eine zumindest näherungsweise ellipsenförmige und/oder angeflachte und/oder geplättete Form des Fadens vorgesehen ist, die darüber hinaus an weitere Formen, insbesondere an eine parabelförmige Vertiefung, angepasst sein kann.

**[0037]** Eine bevorzugte flachbandartige Anordnung des Fadens in der Vertiefung führt dazu, dass die Vertiefung einen gleichmäßigen, bevorzugt auch verrundeten, Verlauf bekommt. Hierdurch werden zumindest im wesentlichen un stetige Verläufe der Mantelaußenfläche vermieden. Der flachbandartige Verlauf führt letztlich bevorzugt dazu, dass eine homogene Kraftverteilung im Verstärkungsstab ermöglicht wird.

**[0038]** Bei einer weiteren Ausführungsform ist ein Faden vorgesehen, der aus einem einzelnen Filament oder auch aus verdrehten Filamenten besteht. Hierzu kann sich bevorzugt ergeben, dass der Faden nicht oder zumindest nicht im Wesentlichen flachbandartig in der Vertiefung vorliegt. Beispielsweise ist dann ein insbesondere kreisförmiger Querschnitt des Fadens vorgesehen.

**[0039]** In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Faden ein synthetisches Polymer, bevorzugt Polyester aufweist und/oder daraus besteht. Dabei sind die Polyesterfäden bzw. die Polyesterfilamente und/oder die Polyesterfasern im Vergleich zu Glasfasern kostengünstig. In durchgeführ-

ten Versuchen hat sich gezeigt, dass die Verwendung eines Polyesterfadens zu ausgezeichneten formgebenden Eigenschaften des Verstärkungsstabes führt. Darüber hinaus ist die Polyesterfaser vorzugsweise extrem reiß- und scheuerfest, so dass sie bevorzugt mittels einer Wickeleinrichtung bzw. (Um-)Windungseinrichtung aufgewunden werden kann.

**[0040]** Darüber hinaus ist auch die Verwendung von Aramiden als Material für den Faden möglich. Aramide zeichnen sich aufgrund ihrer Zähigkeit, Zugfestigkeit und ihrer geringen Masse aus.

**[0041]** Auch möglich ist insbesondere, dass der Faden aus organischen und/oder anorganischen Stoffen besteht. Beispielsweise könnte der Faden aus natürlich vorkommenden Rohstoffen, wie z. B. pflanzlichen Stoffen, hergestellt sein. Auch möglich ist, dass der Faden metallische Bestandteile aufweist.

**[0042]** Die Wahl des Fadenmaterials trägt dazu bei, welche Produktivität bei der Herstellung eines Verstärkungsstabes zu erreichen ist. Ferner trägt die Wahl des Fadenmaterials dazu bei, welche Festigkeit der Verstärkungsstab schließlich erreichen kann.

**[0043]** Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der Faden insbesondere im Bereich der Vertiefung in den Mantel zumindest teilweise eingebracht ist. Unter Einbringen ist insbesondere zu verstehen, dass der Faden zumindest teilweise im Mantel versinkt und/oder den Mantel eindrückt, komprimiert und/oder einschnürt. Bevorzugt steht der Faden als eingebrachter Faden nicht oder zumindest nicht Wesentlich über die Mantelaußenfläche hinaus. Letztlich kann insbesondere unter Einbringung des Fadens in den Mantel verstanden werden, dass der Faden die Mantelaußenfläche zumindest nur teilweise berührt und/oder nicht berührt und/oder unterbricht, indem der Faden zumindest teilweise und/oder vollständig von der Mantelaußenfläche bzw. der äußeren Schicht des Mantels überdeckt ist. Es ist hierbei insbesondere zu erwähnen, dass durch das zumindest teilweise Einbringen des Fadens die Vertiefung rein äußerlich als nicht mehr parabelförmig bzw. knickfrei auftreten kann, während jedoch die Fasern innerhalb des Mantelmaterials weiterhin zumindest teilweise parabelförmig bzw. knickfrei im Bereich der Vertiefung verlaufen können. Es gilt deshalb insbesondere im Sinne der Erfindung, dass die Vertiefung auch als gedachte Fortführung der Mantelaußenfläche im Bereich des Fadens näherungsweise quer durch den Faden hindurch angesehen werden kann.

**[0044]** Vorteilhaft an dem Einbringen des Fadens ist, dass sichergestellt werden kann, dass eine Krafteinleitung in einen Verstärkungsstab zumindest im Wesentlichen über den Mantel geschehen kann und/oder allenfalls in untergeordnetem Maße über den

Faden. Hierdurch kann die Festigkeit des Verstärkungsstabes erhöht werden.

**[0045]** Weiterhin ist bevorzugt vorgesehen, dass ein Faden einen erhöhten Schrumpf, insbesondere einem Schrumpf zwischen 3 und 10 %, bevorzugt zwischen 5 und 8 %, besonders bevorzugt von  $6,8 \% \pm 0,5 \%$  aufweist.

**[0046]** In der Textiltechnik bedeutet Schrumpf, dass ein Faden sich bei Erhitzung verkürzt bzw. sich zu verkürzen versucht. Ursächlich hierfür ist insbesondere, dass der Kunststoff bei erhöhter Temperatur kristallisiert, wodurch es zu einer unter Umständen erheblichen Abnahme des spezifischen Volumens kommen kann.

**[0047]** Der Schrumpf, auch Heißluftschumpf oder Hot Air Shrinkage gemäß BISFA (International Bureau for the Standardization of Man-made Fibres), wird beschrieben als die Verkürzung nach einer Heißluftbehandlung mit definierten Randbedingungen, ausgedrückt als relativer Prozentanteil der Länge gegenüber der unverkürzten Länge. Dabei werden die Längen vor und nach der Heißluftbehandlung unter genau definierten Randbedingungen bzw. Kräften gemessen.

**[0048]** Der Heißluftschumpf beschreibt dabei die Abnahme der Länge eines Testfadens nach einer Behandlung in heißer Luft unter bestimmten Bedingungen, nämlich Temperatur und Zeit, ausgedrückt als Prozentanteil der Längenreduktion gegenüber der ursprünglichen Fadenlänge.

**[0049]** Die Verwendung eines Fadens mit einem bevorzugten Heißluftschumpf von einem Wert größer Null bedeutet folglich, dass der Faden sich nach der Umwindung im Herstellungsprozess eines Verstärkungsstabes unter Hitzeeinwirkung versucht zusammenzuziehen, wodurch vorzugsweise die Vertiefungen charakteristisch ausgebildet werden und/oder insbesondere eine weitere Stabilisierung des Mantels hervorgerufen wird.

**[0050]** Auch möglich ist, dass neben der Zugspannung auf dem Faden eine Druckeigenspannung im Mantel vorherrschen kann, die im Wesentlichen durch den Faden hervorgerufen worden ist. Eine bevorzugt vorgesehene Druckeigenspannung im Bereich des Mantels führt dabei wesentliche Vorteile herbei. Letztlich müssen insbesondere bei einer Zugbelastung des Verstärkungsstabes zunächst die Druckeigenspannungen im Mantel überwunden werden, bevor die ursprünglich mit Druckeigenspannungen belasteten Volumenelemente die maximal erträglichen Zugeigenspannungen überhaupt erreichen. Insbesondere bei zyklischer Zug- und/oder Druckbeanspruchung des Verstärkungsstabes sinken die maximal erreichten Zugspannungen im Man-

tel des Verstärkungsstabes, wodurch die maximal erträgliche Last- bzw. Zyklanzahl wesentlich gesteigert werden kann.

**[0051]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform hat sich herausgestellt, dass die Verwendung eines Fadens, insbesondere eines Fadens aus einem Polyester, mit einem Schrumpf von  $6,8 \% \pm 0,5 \%$  zu einer optimalen Steigerung der Festigkeit des Stabes führt. Weiterhin konnte bei einem Schrumpf von  $6,8 \% \pm 0,5 \%$  des Fadens eine optimale Verbesserung der Produktivität in der Herstellung sowie in der möglichst regelmäßigen Ausbildung der Vertiefungen hervorgerufen werden.

**[0052]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass der Mantel einen maximalen Außendurchmesser zwischen 10 und 18 mm, vorzugsweise zwischen 12 und 16 mm und insbesondere  $14 \pm 1$  mm aufweist oder dass der Mantel einen maximalen Außendurchmesser zwischen 20 und 50 mm, vorzugsweise zwischen 25 und 40 mm und insbesondere von  $32 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  aufweist.

**[0053]** Insbesondere hat sich herausgestellt, dass ein bevorzugt ausgewählter maximaler Außendurchmesser von etwa 14 mm oder etwa 32 mm zu einem optimalen Ergebnis hinsichtlich der Festigkeit des Verstärkungsstabes sowie der Krafterleitung in den Verstärkungsstab ohne Beschädigung desselben ermöglicht. So können Verstärkungsstäbe mit einem Außendurchmesser von etwa 14 mm bevorzugt in dünnen Betonkonstruktionen, wie z. B. in Zwischendecken oder dünnen Wänden verwendet werden. Bevorzugt können Verstärkungsstäbe mit einem maximalen Außendurchmesser von etwa 32 mm auch für massive Betonkonstruktionen verwendet werden, in denen eine hohe Zugfestigkeit der Verstärkungsstäbe gefordert ist.

**[0054]** Diese vorzugsweise vorgesehenen Abmessungen des Verstärkungsstabes sind zur Herstellung von verschiedenen Verstärkungsstäben geeignet, wobei dickere Verstärkungsstäbe eine höhere Festigkeit aufweisen können, aber nicht müssen. Das hängt damit zusammen, dass die Festigkeit maßgeblich von der Dicke des Mantels und/oder dem vorgegebenen Außendurchmesser bestimmt wird. Bei der Verwendung von geringeren Durchmessern ergibt sich vorzugsweise zumeist jedoch eine Materialeinsparung und somit insbesondere eine Senkung der Produktionskosten.

**[0055]** Besonders vorteilhaft ist, dass durch eine Variation der Mantelstärke bzw. Dicke oder auch Materialzusammensetzung des Mantels unterschiedliche Eigenschaften hervorgerufen werden können, insbesondere mechanische und/oder chemische und/oder geometrische Eigenschaften. So können insbesondere entsprechend feste und/oder widerstandsfähige und/oder passend dimensionierte Verstärkungsstäbe

bereitgestellt werden, welche bevorzugt zur Herstellung von unterschiedlichen Baustrukturen insbesondere aus bewehrtem bzw. mit einem Verstärkungsstab verstärktem Beton verwendbar sind.

**[0056]** Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass ein vom Mantel umgebener Kern vorgesehen ist. Insbesondere besteht der Kern aus einem vom Mantelmaterial abweichenden Material, bevorzugt mit gegenüber dem Mantelmaterial verringerter Dichte, besonders bevorzugt verringertem Raumvolumen und/oder verringerter Festigkeit. Erfindungsgemäß ist überraschenderweise festgestellt worden, dass durch einen Stab mit Kern letztlich die gleichen Festigkeitseigenschaften erzielt werden können, wie bei einem Vollstab, wobei jedoch der Stab mit einem Kern deutlich günstiger ist.

**[0057]** Gegenüber einer Ausführung ohne Kern kann insbesondere der Vorteil einer wirtschaftlicheren Produktion ermöglicht werden, da das Kernmaterial günstiger als das Mantelmaterial ist. Das hierdurch eingesparte Material führt unter anderem zu einer Senkung der gesamten Produktionskosten, insbesondere um bis zu 30 %.

**[0058]** In durchgeführten Versuchen wurde festgestellt, dass bei einem erfindungsgemäß eingesetzten Verstärkungsstab die mechanische Beanspruchung im Wesentlichen vollständig auf den Mantel des Verstärkungsstabes oder auf mantelaußenflächennahe Bereiche übertragen wird. Der vorzugsweise vorgesehene Kern dient insbesondere nur unwesentlich - wenn überhaupt - zur Aufnahme der Beanspruchungen und kann damit in vielfältiger Weise verändert werden, beispielsweise um Kosten zu reduzieren oder die Wirkungsweise des Verstärkungsstabes zu verbessern.

**[0059]** Letztlich wird aufgrund einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vermieden, dass ein hochfester Kern aus faserverstärktem Kunststoff verwendet wird, der letztlich gar keinen signifikanten Kräften ausgesetzt ist und damit eine überschüssige Festigkeit aufweist. Denn typischerweise können für einen Verstärkungsstab aus rein baulichen, geometrischen und/oder technischen Gründen vergleichsweise hohe Durchmesser erforderlich sein. Eine Verwendung von faserverstärktem Kunststoff über den gesamten Querschnitt des Stabes ist schließlich kostenintensiv, umweltschädlich und führt zu überschüssiger Festigkeit des Kerns. Erst mit der Erfindung wurde erkannt, dass ein Kern aus einem kostengünstigen Werkstoff für signifikante Kostensenkung bei ausgezeichneter Stabfestigkeit sorgen kann.

**[0060]** Somit kann erst durch die Erfindung vermieden werden, dass bei Erforderlichkeit eines großen Stabquerschnitts ein hoher Materialaufwand betrieben werden muss.

**[0061]** Insbesondere kann die innenseitige Oberfläche des Mantels bzw. Mantelinnenfläche durch eine mechanische Verhakung mit der Oberfläche des Kerns verbunden sein. Erfindungsgemäß muss eine mechanische Verhakung bzw. Verbindung nicht zwingend vorgesehen sein, da der vorzugsweise vorgesehene innenseitige Kern insbesondere nicht oder zumindest nur teilweise zur Festigkeit des Verstärkungsstabes beiträgt. Der vorzugsweise vorgesehene Kern kann durch das Umwinden des Mantels mit einem Faden auch Vertiefungen aufweisen, die zu den Vertiefungen des Mantels korrespondieren. Diese Vertiefungen können dabei zur Festigkeit des Verstärkungsstabes in vorteilhafter Weise beitragen.

**[0062]** Bevorzugt steht bei einem vergleichsweise großen Durchmesser des Verstärkungsstabes, beispielsweise von etwa 32 mm, eine vergleichsweise große Oberfläche auf seiner Mantelaußenfläche zur Verfügung, die zur Krafteinleitung in vorteilhafter Weise dienlich sein kann. Der große Durchmesser kann dabei vorzugsweise durch eine Veränderung des Durchmessers des bevorzugt vorgesehenen Kerns aus einem kostengünstigen Material in einfacher Weise realisiert werden, ohne dass nicht benötigte, überschüssige Festigkeit eines Verstärkungsstabes bereitgestellt wird.

**[0063]** Der vorzugsweise vorgesehene Kern weist ein vernetzbares und/oder ein vernetztes Material, vorzugsweise ein Elastomer und/oder ein duroplastisches und/oder thermoplastisches Material, auf. Besonders bevorzugt weist der Kern ein thermoplastisches Material, insbesondere ein teilkristallines und/oder amorphes thermoplastisches Material, auf. Beispielsweise kann als Material des Kerns Polyethylen (PE) vorgesehen sein.

**[0064]** So liegt ein bevorzugtes Merkmal der vorliegenden Erfindung darin, dass der Kern eine geringere Dichte und/oder ein geringeres Raumgewicht und/oder eine geringere Steifigkeit und/oder Biegesteifigkeit und/oder Festigkeit als der Mantel aufweist. Möglich ist dies, da die mechanischen Beanspruchungen vorzugsweise ausschließlich durch den Mantel aufgenommen werden, wobei der Kern insbesondere nur eine Stützfunktion für den Mantel aufweist. Damit können folglich ein geringeres Gewicht, ein geringerer Anteil an umweltschädlichen Bestandteilen und geringere Herstellkosten eines Verstärkungsstabes bewirkt werden.

**[0065]** Die Dichte ist dabei der Quotient aus seiner Masse und seinem Volumen. Sie unterscheidet sich vom Raumgewicht, auch Rohdichte und/oder scheinbare und/oder geometrische Dichte genannt, da das Raumgewicht die Dichte eines porösen Festkörpers basierend auf dem Volumen einschließlich der Porenräume angibt. Die Porosität eines Materials kann dabei beispielsweise in relativer Weise durch den

Quotienten aus Raumgewicht und Dichte des Materials angegeben bzw. bemessen werden.

**[0066]** Die Steifigkeit bezieht sich auf den Widerstand eines Körpers gegen die elastische Verformung durch eine Kraft und/oder durch ein Moment. Aufgrund der verschiedenen angreifenden Kräfte und/oder Momente an einem Körper sind auch verschiedene Formen der Steifigkeit bekannt, unter anderem die Dehn-, Biege- und Torsionssteifigkeit. Die Biegesteifigkeit gibt dabei an, wie stark die absolute Durchbiegung bzw. Absenkung eines biegebeanspruchten Körpers bei einer gegebenen Last ist.

**[0067]** Die Festigkeit gibt an, wie hoch die maximal aufbringbare Spannung ist, so dass insbesondere eine Materialschädigung vermieden wird. Beispielsweise kann mit Festigkeit die Zugfestigkeit, die Dehngrenze oder auch die Streckgrenze eines Materials gemeint sein. Die Festigkeit ist dabei jedoch nicht beschränkt auf diese Kenngrößen und beschreibt im Wesentlichen den Widerstand eines Körpers gegen Krafteinwirkung in Form von dessen Formänderungsverhalten und/oder Schädigungsverhalten.

**[0068]** Die Biegefestigkeit gibt an, wie hoch die erträglichen mechanischen Spannungen innerhalb des mit einem Biegemoment belasteten Körpers sind, so dass insbesondere Schädigung und/oder plastische Verformung gerade nicht auftritt.

**[0069]** Die bevorzugte Verwendung eines Kernmaterials mit einer verringerten Dichte und/oder verringertem Raumgewicht gegenüber dem Mantelmaterial kann die Reduktion des Gewichts eines sogenannten Hybrid-Verstärkungsstabes gegenüber einem Stab aus Vollmaterial ermöglichen. Das verringerte Gewicht birgt insbesondere Vorteile bei Handhabung, Lagerung, Verarbeitung und/oder Transport des Verstärkungsstabes. Darüber hinaus ermöglicht die bevorzugte Verwendung eines Kernmaterials aus einem vom Mantelmaterial abweichenden Material eine Reduktion der Fertigungskosten, ohne dass die Festigkeit zwangsläufig zu stark oder gar überhaupt herabgesetzt werden muss.

**[0070]** So ermöglicht die bevorzugte Verwendung eines Kerns mit einem Material der vom Mantel abweicht, insbesondere die Verwendung eines nicht faserverstärkten Kerns gegenüber einem faserverstärkten Mantel, dass auf die Verwendung von teuren Materialien im Kern verzichtet werden kann. Hierdurch lässt sich insbesondere eine optimale Anpassung der Gesamtfestigkeit des Verstärkungsstabes an die geforderte Anwendung erzielen, ohne eine überschüssige Festigkeit bereitzustellen. Es werden Kosten reduziert und Ressourcen können auch zudem bedarfsweise gespart werden.

**[0071]** Insbesondere ermöglicht die bevorzugte Verwendung eines Kerns aufweisend ein Material, das vom Material des Mantels abweicht, die Bereitstellung eines Hybridstabes. So kann für den Kern ein Durchmesser vorgesehen sein, der lediglich zumindest im Wesentlichen die groben Abmaße des Verstärkungsstabes vorzugsweise formgebend vorgibt. Im Mantel ist ferner ein Material vorgesehen, dass letztlich aufgrund der Materialeigenschaften sowie auch auf Basis der Form der Profilierung die Festigkeit des Verstärkungsstabes bestimmt, und nur von untergeordneter Bedeutung den resultierenden Durchmesser des Verstärkungsstabes bestimmt. So können die zwei Zwecke - Abmaße und Festigkeit - von insbesondere zwei wesentlichen Bestandteilen der Erfindung maßgeblich und nahezu unabhängig voneinander beeinflusst werden. Dabei werden Wechselwirkungen bei der Erreichung der zwei genannten Zielparameter zumindest im Wesentlichen vermieden oder reduziert. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform werden folglich in besonders hohem Maße Kosten eingespart und/oder erreichbare Festigkeiten gesteigert.

**[0072]** Weiter kann vorgesehen sein, dass der Kern porös ist und/oder Schaum, insbesondere thermoplastischen Schaum, bevorzugt Polyethylen (PE), aufweist. So ermöglicht die bevorzugte, erfindungsgemäße Ausführung mit einem geschäumten Kern einen kostengünstig zu fertigenden, hochwirksamen und einen vergleichsweise leichten Verstärkungsstab. Letztlich kann hierdurch auch eine umweltfreundlichere Produktion ermöglicht werden, da der Anteil an umweltschädlichen Stoffen reduziert werden kann. Die bevorzugte Ausgestaltung des Kerns als Schaum bietet insbesondere herstellungstechnische Vorteile, da so erhöhte Produktionsgeschwindigkeiten erreicht werden können. Darüber hinaus werden bevorzugt Materialkosten eingespart, da das Material des den Kern umgebenden Mantels nicht den gesamten Verstärkungsstab ausfüllt. Durch die bevorzugte Aufteilung des Verstärkungsstabes in einen porösen Kern und einen faserverstärkten Mantel reduzieren sich weiter bevorzugt die Rüstzeiten der Produktion, da weniger Faser eingesetzt werden muss.

**[0073]** Die bevorzugte Verwendung eines thermoplastischen Schaums, insbesondere teilkristallin und/oder amorph, für den Kern bietet den Vorteil, dass der Herstellungsprozess vereinfacht wird, da insbesondere thermoplastische Materialien geringeren Umweltauflagen als beispielsweise duroplastische Materialien unterliegen.

**[0074]** Polyethylenschaum ist dabei insbesondere ein geschlossenzelliger Material mit herausragenden Eigenschaften. Es werden ein geringes Raumgewicht, eine geringe Dichte, ein geringer Rohstoffverbrauch, ausgezeichnete Witterungs- und Alterungs-

beständigkeit und/oder eine gute Hitzebeständigkeit erreicht. Eine ausreichend hohe Hitzebeständigkeit ist zur Pultrusion des Verstärkungsstabes notwendig. Darüber hinaus ist ein Kern aus Polyethylen verformbar und kann dem kontinuierlichen Pultrusionsprozess zugeführt werden. Zusätzlich wird vorteilhafterweise eine gute Schalldämmung und Wärmeisolierung gewährleistet. Außerdem weist PE-Schaum eine gute mechanische Dämpfung, sehr gute Beständigkeit gegen Säuren, Laugen und sonstige Chemikalien und eine geringe Wasserdampfdurchlässigkeit auf. Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit ergibt sich insbesondere eine reduzierte Feuchtigkeitsaufnahme. Im Vergleich zu duroplastischen Schäumen ist PE-Schaum umweltfreundlicher und weist geringere Materialkosten auf.

**[0075]** Dabei versteht es sich, dass auch andere Materialien zur Herstellung des Kerns verwendet werden können, vorzugsweise insbesondere Polystyrol (PS) und/oder Polyethylenterephthalat (PET) und/oder Polyvinylchlorid (PVC) und/oder Polypropylen (PP). Als duroplastische Schäume sind insbesondere Polyurethane (PU) aufweisende Harzschaume und/oder Phenoplaste (PF) aufweisende Schäume möglich.

**[0076]** Ebenfalls sind auch elastomere Materialien denkbar, wobei das Material sowohl weitmaschig als auch engmaschig ausgebildet sein kann. Darüber hinaus können auch thermoplastische Materialien mit einer höheren Schmelztemperatur, beispielsweise Polyamid (PA) und/oder Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS), vorgesehen sein, welche insbesondere extrudiert jedoch nicht geschäumt sind.

**[0077]** In durchgeführten Versuchen hat sich gezeigt, dass der Kern ein Raumgewicht von mindestens größer  $0,18 \text{ g/cm}^3$ , bevorzugt größer  $0,22 \text{ g/cm}^3$ , insbesondere größer oder gleich  $0,25 \text{ g/cm}^3$  aufweist. Diese Raumgewichte ergeben insbesondere eine sehr gute Porosität des Kerns, so dass verbesserte Herstellungseigenschaften und/oder Stützeigenschaften des Kerns erreicht werden. Das maximale Raumgewicht des bevorzugten Kerns ohne Faserverstärkung liegt im Bereich der Dichte eines nicht-porösen Kunststoffes, beispielsweise bei PE im Bereich zwischen  $0,9$  und  $1,0 \text{ g/cm}^3$ .

**[0078]** Die genannten Materialien zur Herstellung des Kerns und/oder des Mantels sind vorzugsweise in dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen.

**[0079]** Unter Porosität bzw. einem porösen Kern ist zu verstehen, dass der Kern nicht zwangsläufig als Vollmaterial ausgebildet sein muss, sondern insbesondere mindestens einen Hohlraum und/oder Durchgang aufweisen kann. Hierdurch kann Material im Vergleich zu einem Vollkörper eingespart wer-

den, wodurch insbesondere die Produktionskosten gesenkt werden können.

**[0080]** Porosität bedeutet erfindungsgemäß insbesondere ferner, dass in einem eigentlich starren Material bzw. Material Hohlräume befindlich sein können, die das Gewicht des Körpers zwangsläufig herabsetzen, und damit das für ein gewünschtes Volumen erforderliche Gewicht reduzieren, wodurch eine Art der Leichtbauweise ermöglicht wird.

**[0081]** Ein poröser Kern könnte daher beispielsweise durch einen mit wenigstens einem Durchgang versehenen Körper ausgebildet sein. Bevorzugt sind mehrere Durchgänge und/oder Hohlräume vorgesehen, die getrennt voneinander vorliegen können oder aber auch miteinander verbunden sein können.

**[0082]** So ist insbesondere eine Porosität des Kerns vorgesehen, die in Form einer zumindest im Wesentlichen gleichmäßigen Verteilung von einer Vielzahl an Hohlräumen verkörpert ist. Eine Ausführungsform stellt dabei ein Kunststoff mit Hohlräumen dar, insbesondere ein geschäumter Kunststoff.

**[0083]** Beim Schäumen wird der Kunststoff im flüssigen Zustand mit einem passenden Treibmittel zu kleinen gasgefüllten Zellen aufgeschäumt und unter Zugabe eines oberflächenaktiven Zusatzes und der vom Treibmittel erzeugten Oberflächenarbeit wird die Oberflächenspannung reduziert und der Schaumzustand stabilisiert. Die anschließende chemische Reaktion, insbesondere die Polyreaktion, bewirkt dann ein nachhaltiges Erstarren der Zellwände.

**[0084]** Die eingesetzten Treibmittel können dabei entweder einen physikalischen oder chemischen Charakter haben. Die physikalischen Treibmittel haben die Eigenschaft, dass sie aus niedrig-siedenden Flüssigkeiten bestehen und bei Erwärmungen um 100 °C oder infolge von Druckentlastungen verdampfen. Chemische Treibmittel hingegen bestehen zu meist aus stickstoffhaltigen organischen Verbindungen, die sich durch Temperatureinflüsse von bis zu 300 °C unter Abspaltung von Stickstoff zersetzen.

**[0085]** Insbesondere sind zum Schäumen von Kunststoff erfindungsgemäß physikalische und/oder chemische Treibmittel vorgesehen.

**[0086]** Der insbesondere mittels Extrusion hergestellte, vorzugsweise nahtlose, Kern kann einen konstanten Querschnitt mit einer beliebigen Länge aufweisen. Die verfahrensgemäße Möglichkeit der Bereitstellung eines konstanten Querschnitts ist für die Herstellung eines Verstärkungsstabes mit näherungsweise konstantem Querschnitt geeignet, so dass vorzugsweise garantiert werden kann, dass der Kern stets dieselben Maße aufweist.

**[0087]** Die Herstellung des Schaums für den bevorzugt vorgesehenen Kern mittels eines Extruders bietet insbesondere im Vergleich zur Verwendung eines bereits vorab geschäumten Materials den Vorteil, dass der Kern und letztlich der Verstärkungsstab endlos bereitgestellt werden können. Würde der Kern bereits vorab aus beispielsweise einem Schaumblock ausgeschnitten werden, so würde sich insbesondere ein zusätzlicher Verfahrensschritt der Bereitstellung der Kernform ergeben. Bei der Schaumextrusion mittels eines Extruders wird bereits die bevorzugte Ausführungsform des Kerns in Form einer Stange oder eines Stabes bzw. zumindest im Wesentlichen in zylindrischer Form gewährleistet. Bei der kontinuierlichen Herstellung des Kerns entfällt eine Fugestelle bzw. eine Verklebung einzelner Kernstücke, so dass hier auch eine Sollbruchstelle vermieden wird.

**[0088]** Das für die bevorzugt vorgesehene Schaumextrusion benötigte Treibmittel ist vorteilhafterweise mengenmäßig individuell einstellbar, so dass die Erzeugung der zelligen Struktur des Kerns erreicht werden kann. Dabei weist der Kern bevorzugt eine geschlossenzellige Oberfläche auf, wobei die Oberflächenstruktur bzw. die zellige Struktur des Kerns vorzugsweise durch das Treibmittel gesteuert werden kann. Das Treibmittel sorgt insbesondere dafür, dass die hohen Anforderungen an die Schaumhomogenität, bevorzugt speziell bei niedrigen Dichten, erfüllt werden können. Dabei ermöglicht das Treibmittel eine bessere Prozessstabilität und bei der Verwendung von physikalischen Treibmitteln im Vergleich zu chemischen Treibmitteln werden bevorzugt wesentlich geringere Treibmittelmaterialekosten erreicht. Darüber hinaus ist insbesondere ein physikalisches Treibmittel umweltverträglicher, so dass sich ein umweltfreundlicher Aspekt des Verfahrens ergibt.

**[0089]** Bei physikalischen Schäumen wird das Material durch einen physikalischen Vorgang geschäumt. Beim chemischen Schäumen hingegen wird dem Kunststoffgranulat ein Treibmittel, vorzugsweise in Form eines sogenannten Masterbatchgranulates, zugegeben. Durch die Wärmezufuhr spaltet sich ein flüchtiger Bestandteil des Treibmittels ab, was zum Aufschäumen der Schmelze führt. Mit dem physikalischen Schäumen kann insbesondere ein Kern mit kompakter Außenhaut und ein sogenannter mikrozellulärer Schaum mit integraler Dichteverteilung, auch Integralschaum genannt, entstehen.

**[0090]** Vorzugsweise weist das Treibmittel Kohlenwasserstoffe, insbesondere Isobutan, Pentan und Inertgase, vorzugsweise Kohlenstoffdioxid und/oder Stickstoff, auf. Bei der Verwendung von Inertgasen als Treibmittel ergibt sich eine gute Umweltverträglichkeit, da sie nur ein minimales GWP (Global Warming Potential) und bevorzugt kein ODP (Ozonzerstörungspotential) besitzen. Die Inertgase weisen einen hohen Aufschäumungsgrad auf, so dass insbe-

sondere ein niedriger Gasverbrauch vorliegt. Sie sind sowohl wirtschaftlich als auch kostengünstig. Chemisch gesehen ergibt sich der Vorteil, dass sie unbrennbar und/oder ungiftig und/oder chemisch inert sind. In dem geschäumten Kern selber bleiben insbesondere keine Rückstände dieses Inertgases zurück. Die Treibmittel werden in das Material des Kerns, insbesondere in die Kunststoffschmelze, eindosiert. Dabei versteht es sich, dass für das Extrusions-schäumen eine geeignete Extrusionsanlage benötigt wird, die sich erheblich von den bekannten Standardanlagen unterscheidet.

**[0091]** Je nach Produkt und/oder Verfahrensausgestaltung wird wenigstens ein Extruder verwendet. Bei der Verwendung von zwei Extrudern ist es denkbar, dass der erste zur Treibmitteleinspeisung und zur Homogenisierung des Schaums dient, während der zweite Extruder zur gezielten Kühlung der mit dem Treibmittel beladenen Schmelze vorgesehen ist. Das Treibmittel wird dabei bevorzugt mittels einer Dosierpumpe unter hohem Druck über ein Einspritzventil in den Extruder injiziert. Die Treibgasmenge lässt sich dabei insbesondere direkt einstellen und vorzugsweise auf das verwendete Kernmaterial und/oder auf die zu erzielende Schaumdichte anpassen. Durch die Diffusion homogenisiert das Kernmaterial-Treibmittel-Gemisch. Der Druck im Extruder muss dabei insbesondere bis zum Austritt aus der Extruderdüse konstant gehalten werden, so dass vorzugsweise ein vorzeitiges Aufschäumen des Kernmaterials mit dem Treibmittel vermieden wird. Innerhalb des Aufschäumens wachsen die bereits vorhandenen Keime und bilden dabei Schaumblasen.

**[0092]** Bei einer bevorzugten Verfahrensausgestaltung wird das Kohlenstoffdioxid, welches als Treibmittel verwendet wird, aus dem Produktionsprozess rückgewonnen und insbesondere nach der Gewinnung gereinigt, getrocknet und unter Druck verflüssigt. Diese Aufbereitung des Kohlenstoffdioxids wird insbesondere so durchgeführt, dass die zu erreichende Schaumhomogenität des Kernmaterials gewährleistet wird. Zur Erzeugung einer besonders hohen Schaumhomogenität werden vorzugsweise dem physikalischen Treibmittel Nukleierungsmittel, insbesondere zur Keimbildung, und/oder Stabilisatoren zugeführt. Die Nukleierungsmittel wirken dabei als Keimbilder, wobei sie insbesondere eine große Anzahl kleiner Blasen bilden. Der mittels einer Extrusion erzeugte Kern ist somit ein Vorprodukt und liegt insbesondere endlos vor.

**[0093]** Vorteilhaft an einem porösen, insbesondere einem geschäumten, Kern ist, dass - obwohl eine eigentlich mit höheren Kosten verbundene Leichtbauweise ermöglicht wird - auch eine Kostenersparnis durch Einsparung von Ressourcen, insbesondere auch durch Wahl eines vom Mantel unterschiedlichen Materials, ermöglicht wird.

**[0094]** Es zeigte sich, dass bei einem ausreichenden Anteil an faserverstärktem Mantelmaterial in einem Verstärkungsstab ein eigentlich zu dünner Querschnitt des Verstärkungsstabes ergeben würde, um insbesondere eine ausreichende Festigkeit und/oder gute Krafteinleitung sicherzustellen, da auch nur unzureichende Krafteinleitungsfläche über die Profilierung gegeben wäre. Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, insbesondere einen porösen Kern vorzusehen, um den Querschnitt eines Verstärkungsstabes zu erhöhen, obgleich die Gesamtfestigkeit des Verstärkungsstabes zumindest nur unwesentlich hierdurch verändert wird. Die Erhöhung des Stabquerschnitts sorgt für eine einhergehende Erhöhung des wirksamen Querschnitts zur Krafteinleitung, wodurch der Verstärkungsstab in vielfältiger Weise gegenüber einem Verstärkungsstab mit identischen Materialien bei Kern und Mantel vorteilig wirken kann.

**[0095]** Weiter bevorzugt ist vorgesehen, dass der Kern einen maximalen Außendurchmesser zwischen 5 und 20 mm, vorzugsweise zwischen 8 und 14 mm und insbesondere 10 mm  $\pm$  1 mm aufweist oder dass der Kern einen maximalen Außendurchmesser zwischen 10 und 45 mm, vorzugsweise zwischen 20 und 30 mm und insbesondere von 25 mm  $\pm$  2 mm aufweist.

**[0096]** Die bevorzugte Verwendung eines Kerns mit einem maximalen Außendurchmesser von 10 mm  $\pm$  1 mm führt zu einem besonders kostengünstig herzustellenden und darüber hinaus auch leichten Verstärkungsstab. Der erfindungsgemäße Verstärkungsstab mit einem bevorzugten Kerndurchmesser von 10 mm  $\pm$  1 mm kann insbesondere vielfältig im Baubereich zur Bewehrung von Beton angewendet werden. Zudem ist der genannte Verstärkungsstab leicht zu transportieren.

**[0097]** Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass der Kern einen maximalen Außendurchmesser von 25 mm  $\pm$  2 mm aufweist. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, da sie ebenfalls kostengünstig herzustellen ist, leicht ist und eine vergleichsweise hohe Festigkeit aufweist.

**[0098]** Die Wahl des Kerndurchmessers und/oder des Kernmaterials und/oder der Porosität des Kerns bestimmt dabei maßgeblich das Gesamtgewicht des Verstärkungsstabes und zudem den herstellungstechnischen Aufwand und damit letztendlich die Kosten des Verstärkungsstabes.

**[0099]** Bei einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass am Mantel wenigstens ein Krafteinleitungselement angebracht ist, das zur Krafteinleitung in den Mantel dient. So kann vorgesehen sein, dass das Krafteinleitungselement als Kunststoffspritzgussteil ausgebildet ist, insbesondere wobei das Krafteinleitungselement reibschlüssig und/

oder formschlüssig und/oder kraftschlüssig und/oder stoffschlüssig am Mantel angebracht ist, bevorzugt unmittelbar an den Mantel mittels Spritzguss angespritzt ist.

**[0100]** Das Kraffteinleitungselement ist bevorzugt dazu ausgebildet, Kräfte in den Verstärkungsstab einzuleiten, um eine Beschädigung des Stabes möglichst auszuschließen. Hierbei kann in sehr effektiver Weise ein Formschluss vorgesehen sein, der den Verstärkungsstab derart mit Kräften beaufschlagt, dass eine möglichst geringe Querkraft auf Fasern wirkt, die letztlich zum Bruch einer Faser führen könnten.

**[0101]** Aufgrund des Kraffteinleitungselements wird bevorzugt ermöglicht, dass die Faserverstärkung des Mantels zumindest im Wesentlichen in ihre Längserstreckungsrichtung mit Zugkräften und/oder Druckkräften belastet wird.

**[0102]** Auch hat es sich als Vorteil erwiesen, wenn bevorzugt ein Kunststoffverarbeitungsverfahren, insbesondere Kunststoffspritzguss, dazu verwendet wird, das Kraffteinleitungselement anzubringen, da hierdurch eine hohe Produktivität erreicht werden kann. Auch kann damit erreicht werden, dass sich eine möglichst gute Verbindung zwischen Verstärkungsstab und Kraffteinleitungselement ergibt, insbesondere eine formschlüssige, kraftschlüssige, reibschlüssige und/oder stoffschlüssige Verbindung. Eine gute Verbindung zeichnet in diesem Sinne aus, dass sowohl hohe Kräfte übertragen werden können, als auch dass eine hohe Dauerfestigkeit besteht.

**[0103]** Es ist insbesondere möglich, dass das Kraffteinleitungselement und/oder der Verstärkungsstab zur Verwendung mit insbesondere einem Verbindungsmittel, beispielsweise einer Schraube, vorgesehen ist. Insbesondere ist ein Kraftschluss und/oder ein Formschluss zwischen dem Kraffteinleitungselement und/oder dem Verstärkungsstab und dem Verbindungsmittel vorgesehen, so dass eine feste und gleichzeitig wieder lösbare Verbindung vorhanden ist.

**[0104]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass das Kraffteinleitungselement und/oder der Verstärkungsstab mechanisch mit weiteren Körpern verbunden wird, beispielsweise bei der Bewehrung von Beton, insbesondere bei der Bereitstellung von Spannbeton.

**[0105]** Insbesondere ist vorgesehen, dass unmittelbar am Verstärkungsstab Befestigungsmittel und/oder Befestigungsmöglichkeiten neben der Profilierung vorgesehen sein können. Beispielsweise können vorzugsweise Gewinde und/oder Klebstellen am Verstärkungsstab vorgesehen sein.

**[0106]** Es versteht sich für bevorzugte weitere Ausführungsformen und/oder Verwendungen eines Verstärkungsstabes, dass eine Mehrzahl an Verstärkungsstäben aneinander und/oder miteinander und/oder zueinander angeordnet werden können und/oder über Verbindungsmittel miteinander verbunden werden.

**[0107]** Die Verstärkungsstäbe können über weitere Verbindungsmittel, insbesondere Abzweigungsmittel, vorzugsweise mit einer Mehrzahl an Gewinden und/oder Öffnungen zur Anordnung des Verbundprofils und/oder des Verstärkungsstabes und/oder des Verstärkungselementes, beispielsweise ein T-Stück, aneinander angeordnet werden.

**[0108]** Erfindungsgemäß ist auch eine Verwendung eines Verstärkungsstabes als Bewehrungsstab im Bauwesen vorgesehen, insbesondere zur Bewehrung für bzw. von Beton.

**[0109]** Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines einen Mantel aus faserverstärktem Kunststoff aufweisenden Verstärkungsstabes, insbesondere der vorgenannten Art, bei dem um die Mantelaußenfläche des Mantels wenigstens ein Faden gewunden wird, wobei die Umwindung des Mantels mit dem Faden mit einer solchen Vorspannkraft vorgenommen wird, dass die Mantelaußenfläche im Bereich des Fadens eingeschnürt wird, so dass sich im Bereich des Fadens eine Vertiefung ergibt.

**[0110]** Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass ein Kern bereitgestellt wird, der aus einem von Mantelmaterial abweichenden Kernmaterial, insbesondere mit gegenüber dem Mantelmaterial verringerter Dichte, bevorzugt in Form eines porösen Kunststoffes, besonders bevorzugt in Form eines geschäumten Polyethylens, bereitgestellt wird.

**[0111]** Es werden diverse Vorteile durch eine bevorzugt vorgesehene Schaumextrusion des Kerns erreicht, die zuvor bereits beschrieben worden sind. Durch die Extrusion und die kontinuierliche Herstellung des Kerns wird die Einhaltung einer hohen Produktionsgeschwindigkeit gewährleistet. Vor allem im Hinblick auf die Produktionsgeschwindigkeit ist die Verbindung der Extrusion mit der Umwindung des Mantels mit einem Faden besonders vorteilhaft. Durch die Extrusion wird jedoch nicht nur eine schnelle Geschwindigkeit des Produktionsablaufes realisiert, sondern auch geringere Produktionskosten des Verstärkungsstabes erreicht.

**[0112]** Ferner ist im erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere vorgesehen, dass ein Mantel auf den Kern aufgebracht wird. Insbesondere das Aufbringen des Mantels auf den kurz zuvor, insbesondere

kontinuierlich, hergestellten Kern kann einen hocheffektiven bzw. hochproduktiven Prozess ermöglichen. Das bevorzugt verwendete Fertigungsverfahren zur Herstellung eines Verstärkungsstabes ist Pulwinding bzw. Pullwinding und stellt eine Modifikation der Pultrusion mit einem Umwinden dar und kann sehr hohe Prozessgeschwindigkeiten ermöglichen.

**[0113]** Grundsätzlich ist es auch bevorzugt möglich, dass bei einer Ausführungsform des Verfahrens die Aufschäumung des Kerns nach Aufbringung des Mantels erfolgt, insbesondere unter Verwendung eines Nukleierungsmittels. Dabei kann vorgesehen sein, dass der geschäumte Kern erst während der Herstellung des Verstärkungsstabes erzeugt wird, insbesondere nach dem Aufbringen bzw. Anordnen des Mantels auf dem Kern.

**[0114]** Als besonders bevorzugt hat sich herausgestellt, dass der Mantel in einer Härtungseinrichtung ausgehärtet wird. Insbesondere hat es sich als bevorzugt ergeben, dass der Mantel in einer Härtungseinrichtung ausgehärtet wird, bevor und/oder während der Faden umwunden wird und/oder nachdem der Faden umwunden worden ist. Auch sieht eine Ausführungsform vor, dass die Härtungseinrichtung kein vollständiges Aushärten des Mantels hervorruft. So kann weiter vorgesehen sein, dass ein weiteres Härten bzw. Nachhärten bzw. Aushärten des Mantels und/oder des Kerns und/oder des Fadens in weiteren Prozessschritten vorgesehen ist. Von besonderem Vorteil ist es, dass eine vollständige Aushärtung des Verstärkungsstabes nicht gewährleistet sein muss, bevor der Verstärkungsstab der Weiterverarbeitung zugeführt wird. Durch diese bevorzugten Ausführungsformen kann eine weitere Produktivitätssteigerung herbeigeführt werden.

**[0115]** Zusätzlich ist vorteilhafterweise die Aushärtung des Mantels schneller abgeschlossen, wenn der bevorzugt vorgesehene Kern aus insbesondere geschäumtem Kunststoff verwendet wird gegenüber der Herstellung eines Verstärkungsstabes, der zumindest im Wesentlichen vollständig aus faserverstärktem Kunststoff besteht und folglich nahezu im gesamten Querschnitt aushärten muss.

**[0116]** Weiter bevorzugt wird der Faden aufgrund seiner insbesondere hohen Schrumpfung durch Wärmebehandlung geschrumpft. Erfindungsgemäß erzeugt der Schrumpf des Fadens eine besonders vorteilhafte Ausbildung der Vertiefung. Insbesondere vorteilhaft ist, dass der Schrumpf maßgeblich beim Härten derart wirkt, dass der Faden sich zusammenziehen versucht, und somit die Profilierung bzw. die Einschnürung zur Ausbildung der Vertiefungen weiter verstärkt. Die optimale Wahl des materialinhärenten Schrumpfs ist dabei vorteilhaft um eine definierte Profilierung, insbesondere eine parabelförmige Profilierung, hervorzurufen.

**[0117]** Erfindungsgemäß wird der Verstärkungsstab bevorzugt von einem kontinuierlich, endlos hergestellten Strang abgelängt. Das Ablängen kann hierbei bei definierten Längen eines Verstärkungsstabes erfolgen. Eine Vorauswahl einer definierten Länge eines Verstärkungsstabes kann hierbei auf den speziellen Anwendungsfall des Verstärkungsstabes vorteilhaft zugeschnitten sein. Wenn vom Produktionsstandort bis hin zum Einsatzstandort verschiedene Transportmedien genutzt werden, insbesondere auf dem Land und/oder auf dem Wasser und/oder in der Luft, kann für den jeweiligen Fall eine optimale Länge ausgewählt werden. Dies geschieht insbesondere durch Wahl der Länge des Verstärkungsstabes. Hierdurch können die Transportkosten wesentlich auf das gewählte Transportmittel hin optimiert werden. Insbesondere können Verstärkungsstäbe mit einer Länge von mehr als 10 m hergestellt werden, bevorzugt auch mehr als 15 m, weiter bevorzugt auch mehr als 20 m. Eine derart individuelle Wahl der Länge eines Verstärkungsstabes ermöglicht einen hochflexiblen Einsatz eines Verstärkungsstabes insbesondere im Bauwesen.

**[0118]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht insbesondere die spezifische Profilierung des Mantels derart, dass eine vergleichsweise hohe Kräfteinleitung in den Verstärkungsstab im Einsatz insbesondere als Betonbewehrung ermöglicht wird.

**[0119]** Durch das erfindungsgemäße, bevorzugte Wärmebehandeln des Fadens wird eine Verkürzung des Fadens erreicht bzw. alternativ eine Erhöhung der Zugspannung im Faden. Hierdurch wird der Mantel derart eingeschnürt, dass sich neben der weitergehenden Profilierung eine verbesserte Festigkeit ergeben kann.

**[0120]** Bei einer vorteilhaften bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass vor dem Aufbringen eines faserverstärkten Mantels auf den Kern die Fasern des Mantels aufgespreizt und mit einem Kunststoff, insbesondere Harz, umhüllt werden. Dabei versteht es sich, dass die Mantelfasern insbesondere in einer Tränkwanne bzw. einem Imprägnierungsbad umhüllt werden können.

**[0121]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, insbesondere getränkte Mantelfasern dem Kern zuzuführen, wobei eine Aufspreizung der Mantelfasern insbesondere dahingehend vorteilhaft vorgesehen ist, da sich die Fasern optimal um den Kern, insbesondere längs in Produktionsrichtung verlaufend, anlegen können und zugleich optimal mit dem Kunststoff, insbesondere dem Harz, umgeben sind. Die Aufspreizung der Mantelfasern ermöglicht dabei bevorzugt, dass die Mantelfasern in ausreichender Weise von dem Kunststoff, insbesondere dem Harz, benetzt werden, so dass insbesondere eine Umhüllung jeder Mantelfaser gewährleistet

wird. Letztlich kann die Tränkung der Mantelfasern auch erst direkt vor und/oder während der Ummantelung des Kerns erfolgen.

**[0122]** Die Einrichtung zur Aufspreizung ist dabei vorzugsweise derart ausgestaltet, dass an einem Spulengatter mehrere Spulen bereitgehalten werden, auf denen sich die aufgespulten Mantelfasern befinden. Bevorzugt ist ein Fasergatter vorgesehen, durch das die aufgespulten Mantelfasern in mehreren Einzelmantelfasern abgezogen werden können. Die einzelnen Mantelfasern werden anschließend durch das Tränkbad bzw. durch das Imprägnierungsbad gezogen. Vorzugsweise wird das Material in dem Imprägnierungsbad dauerhaft in seiner flüssigen und/oder schmelzflüssigen Form vorgehalten.

**[0123]** Bei einer weiteren Ausführungsform ist insbesondere vorgesehen, dass der Verstärkungsstab nach der Umwindung mit dem Faden einer Heizeinrichtung, vorzugsweise mit einer Durchlaufgeschwindigkeit zwischen 3 m/min bis 15 m/min, bevorzugt zwischen 4 m/min bis 10 m/min, weiter bevorzugt von 7 m/min bis 8 m/min, zugeführt wird, wobei aufgrund der Aufheizung des Verstärkungsstabes die endgültige Formgebung des Verstärkungsstabes erreicht werden kann, da das Material des Mantels aushärtet bzw. teilaushärtet und die angenommene Form aufgrund des Fadens behält.

**[0124]** Bei einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass sich an die Heizeinrichtung bedarfsweise eine Kühleinrichtung anschließt, bevorzugt zur Vermeidung der Verklebung und/oder Verunreinigung, wobei somit aufgrund der Aufheizung und/oder der Kühlung des Verstärkungsstabes die endgültige Formgebung des Verstärkungsstabes erreicht werden kann.

**[0125]** Aufgrund der Aushärtung des Mantels und/oder des Kerns werden viele Vorteile erreicht, wie beispielsweise die bereichsweise Stabilisierung des Mantels und/oder Kerns und die Steigerung der Druckfestigkeit senkrecht zur Mantelaußenfläche. Vorzugsweise muss jedoch nicht umgehend eine vollständige Aushärtung des Verstärkungsstabes im Anschluss an die Aufbringung des Fadens hervorgeufen werden, insbesondere auch nicht, wenn eine anschließende Anbringung eines Krafteinleitungselementes vorgesehen ist. Eine vollständige Aushärtung kann insbesondere auch nach Abschluss der eigentlichen Produktion bzw. Herstellung erfolgen. Auch hierdurch werden erfindungsgemäße Kostenvorteile erzielt, indem erst durch die vorliegende Erfindung Produktionszeit bzw. Produktionskosten von einem Verstärkungsstab verringert werden können.

**[0126]** Darüber hinaus ist bei einer weiteren Ausführungsform bevorzugt vorgesehen, dass eine Abstreifung von flüssigem bzw. nicht ausgehärteten

Kunststoff mittels einer Abstreifeinrichtung bzw. Abzugseinrichtung, vorzugsweise mittels Abstreifbuchsen, bevorzugt pneumatisch, erfolgt. Diese Abstreifung ist dabei insbesondere nach der Umwindung des Mantels mit einem Faden vorgesehen, so dass der Verstärkungsstab bevorzugt keinen Überschuss an flüssigem bzw. nicht ausgehärtetem Kunststoff aufweist. Wird dieses abgestreifte Material anschließend erneut im Produktionsprozess verwendet, so ergibt sich, insbesondere neben der Nachhaltigkeit, der Vorteil, dass die Herstellungskosten gesenkt werden können.

**[0127]** Die bevorzugte Herstellung eines Verstärkungsstabes mittels Pultrusion auf Basis eines erfindungsgemäß bevorzugt mittels Schaumextrusion hergestellten Kerns kann beispielsweise die Prozessgeschwindigkeit steigern, da das Material des Mantels um den Kern gelegt und von diesem bevorzugt formgebend gestützt wird. Dabei muss der Kern auch nicht, nachdem der Mantel ausgehärtet ist, aus dem Verbundprofil entfernt werden, sondern kann darin verbleiben.

**[0128]** Gemäß einem erfindungsgemäßen Verfahren wird bevorzugt ein Krafteinleitungselement am Verstärkungsstab angebracht, beispielsweise mittels Kunststoffspritzguss oder anderen Fertigungsverfahren, insbesondere Kunststoffverarbeitungsverfahren. Aufgrund des bevorzugt vorgesehenen Formschlusses zwischen dem Verstärkungsstab und dem Krafteinleitungselement wird eine hochfeste Verbindung erreicht, wobei insbesondere eine nachträgliche Formänderung sowohl während des Aushärtungsprozesses als auch während der Lagerung und/oder beim Transport durch gezielte Härtung zumindest im Wesentlichen verhindert werden kann.

**[0129]** Bevorzugt kann das Krafteinleitungselement bereits unmittelbar nach der Herstellung des Verstärkungsstabes erfolgen bzw. bevorzugt ohne eine vollständige Aushärtung des Mantels erfolgen.

**[0130]** Die bevorzugte Anbringung wenigstens eines Krafteinleitungselements ermöglicht eine kontrolliertere Krafteinleitung in den Verstärkungsstab, insbesondere wenn beispielsweise Schraubverbindungen zur Bewährung von Beton, beispielsweise auch wenn die Bereitstellung von Spannbeton vorgesehen ist. Eine bevorzugte, mögliche Verwendung eines Verstärkungsstabes für Spannbeton kann insbesondere auch ohne die Verwendung von, bevorzugt jedoch unter Verwendung von, einem Krafteinleitungselement erfolgen.

**[0131]** Die Verbindung des Verbundprofils mit dem Krafteinleitungselement ist vorteilhaft, da sich eine Verzahnung des Krafteinleitungselements mit dem profilierten Verstärkungsstab ergibt. Folglich erfolgt bevorzugt eine sichere Verbindung zwischen

dem Krafteinleitungselement und dem Verstärkungsstab, die verhindert, dass sich die beiden Komponenten während eines Abkühlvorganges bzw. eines Schrumpfvorganges voneinander trennen. Erneut weist der Faden in vorteilhafter Weise eine formgebende Wirkung auf, da er eine nachträgliche Formänderung, auch während des restlichen Aushärteprozesses nach Anbringen eines Krafteinleitungselements, verhindert.

**[0132]** Vorzugsweise erfolgt eine Nachhärtung des Verstärkungsstabes, vorzugsweise auch noch nach dem Anbringen eines nicht zwangsläufig vorgesehenen Krafteinleitungselements, bevorzugt bis in die Lagerzeit der äußerlich bereits fertiggestellten und insbesondere verpackten Verstärkungsstabes. Hierbei wird die Reaktionswärme ausgenutzt, die entsteht, wenn ein geeignetes Reaktionsgemisch verwendet wird, das zu einer exothermen Vernetzungsreaktion, bevorzugt bei der Polyesterbildung, führt. Die Verwendung eines thermoplastischen Krafteinleitungselements ergibt dabei erfindungsgemäß den Vorteil, dass dieses wärmeisolierend wirkt, so dass die durch eine exotherme Reaktion entstehende Wärme insbesondere nicht an die Umgebung abgeführt wird, sondern zur schnelleren Durchhärtung von innen heraus beiträgt. Um überhaupt erst eine solche Nachhärtung zu ermöglichen, wird ein bevorzugt teilgehärteter Verstärkungsstab benötigt, der insbesondere erst durch die erfindungsgemäße Umwindung mit dem Faden bereitgestellt werden kann.

**[0133]** Im Übrigen versteht es sich, dass in den vorgenannten Intervallen und Bereichsgrenzen jegliche Zwischenintervalle und Einzelintervalle enthalten und als erfindungswesentlich offenbart anzusehen sind, auch wenn diese Zwischenintervalle und Einzelwerte nicht konkret angegeben sind.

**[0134]** Es versteht sich, dass die einzelnen zuvor und nachfolgend angegebenen Alternativen und Merkmale eigenständig oder erfindungsgemäß gemeinsam realisiert werden können.

**[0135]** Weitere Vorteile, Merkmale, Eigenschaften und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen anhand der Zeichnung. Es zeigt

**Fig. 1** eine perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer ersten Ausführungsform,

**Fig. 2A** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes mit einem auf der Manteloberfläche aufliegenden Faden gemäß einer zweiten Ausführungsform,

**Fig. 2B** eine ausschnittsweise Vergrößerung des in **Fig. 2A** dargestellten Verstärkungsstabes im Bereich der Vergrößerungsstelle B,

**Fig. 2C** eine Querschnittsansicht des in **Fig. 2A** dargestellten Verstärkungsstabes entlang der Linie C-C,

**Fig. 2D** eine ausschnittsweise Seitenansicht mit einer Querschnittsdarstellung eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß der ersten Ausführungsform,

**Fig. 3** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer dritten Ausführungsform mit zwei Fäden und zwei Windungen, die entgegengesetzt verlaufen,

**Fig. 4** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes einer vierten Ausführungsform, bei der zwei Fäden in zwei Windungen gleichsinnig um den Mantel gewunden sind,

**Fig. 5** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer fünften Ausführungsform, bei der die Steigung 0 mm beträgt,

**Fig. 6** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer sechsten Ausführungsform, bei der die eine Windung mit einer gegenüber der ersten Ausführungsform erhöhten Steigung gewunden ist,

**Fig. 7** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer siebten Ausführungsform, bei der die eine Windung mit einer gegenüber der ersten Ausführungsform verringerten Steigung gewunden ist.

**Fig. 8A** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer achten Ausführungsform, bei der der Faden flachbandartig im Bereich der Vertiefung vorgesehen ist,

**Fig. 8B** eine ausschnittsweise Vergrößerung des in **Fig. 8A** dargestellten Verstärkungsstabes im Bereich der Vergrößerungsstelle B,

**Fig. 8C** eine Querschnittsansicht des in **Fig. 8A** dargestellten Verstärkungsstabes entlang der Linie C-C,

**Fig. 9A** eine ausschnittsweise Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer neunten Ausführungsform, bei der der Faden flachbandartig im Bereich der Vertiefung vorgesehen ist und von der Mantelaußenfläche überdeckt ist,

**Fig. 9B** eine ausschnittsweise Vergrößerung des in **Fig. 9A** dargestellten Verstärkungsstabes im Bereich der Vergrößerungsstelle B,

**Fig. 9C** eine Querschnittsansicht des in **Fig. 9A** dargestellten Verstärkungsstabes entlang der Linie C-C,

**Fig. 10** eine ausschnittsweise Seitenansicht im Querschnitt eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer zehnten Ausführungsform, bei dem Kern und Mantel aus dem gleichen Material bestehen,

**Fig. 11** eine ausschnittsweise Seitenansicht im Querschnitt eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer elften Ausführungsform, bei der der Kern verformt ist,

**Fig. 12** eine ausschnittsweise Seitenansicht im Querschnitt eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer zwölften Ausführungsform, bei der der Kern gegenüber der Darstellung in **Fig. 11** weniger stark ausgeprägt verformt ist,

**Fig. 13** eine ausschnittsweise Seitenansicht im Querschnitt eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer dreizehnten Ausführungsform, bei der der Kern einen Hohlraum aufweist, und

**Fig. 14** eine perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verstärkungsstabes gemäß einer vierzehnten Ausführungsform mit einem Krafteinleitungselement.

**[0136]** In den teilweise nicht maßstabsgerechten, nur schematischen Figuren werden für gleiche oder ähnliche Teile die gleichen Bezugszeichen verwendet, wobei entsprechende oder vergleichbare Eigenschaften und Vorteile erreicht werden können, auch wenn von einer wiederholten Beschreibung abgesehen wird.

**[0137]** **Fig. 1** zeigt einen erfindungsgemäßen Verstärkungsstab **1** in einer ersten Ausführungsform. Vorgesehen sind eine Mantelaußenfläche **2** des Mantels **3** mit einem Faden **4** und einer umlaufenden Vertiefung **5**, die eine umlaufende Erhöhung **6** bewirkt. Gleichwohl befindet sich am Verstärkungsstab **1** eine Windung **7**. Der Stab weist eine Länge **8** auf, die je nach Anwendungsfall variabel ist. Die abwechselnd vorkommende Erhöhung **6** und Vertiefung **5** führt zu der Riffelung **9** des Verstärkungsstabes **1**. Ferner ist ersichtlich, dass der Verstärkungsstab einen Kern **10** aufweist.

**[0138]** **Fig. 2A** zeigt in einer ausschnittweisen Seitenansicht einen erfindungsgemäßen Verstärkungsstab **1** gemäß einer zweiten Ausführungsform. Der Verstärkungsstab ist insbesondere zur Verwendung als Bewehrungsstab im Bauwesen vorgesehen. Der

dargestellte Verstärkungsstab **1** weist einen eine Mantelaußenfläche **2** aufweisenden Mantel **3** auf. Der Mantel **3** weist einen faserverstärkten Kunststoff auf. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel gemäß der zweiten Ausführungsform ist um die Mantelaußenfläche **3** ein Faden **4** gewunden. Der Faden **4** weist in diesem Ausführungsbeispiel einen flachbandartigen Querschnitt auf und schnürt den Mantel **3** derart ein, dass sich eine parabelförmige Vertiefung **5** und ein im Wesentlichen sinusförmiger Verlauf der Profilierung **9** ergibt.

**[0139]** Wesentlich ist gemäß **Fig. 2A** nun, dass die Mantelaußenfläche **2** im Bereich des Fadens **4** eingeschnürt ist, so dass sich im Bereich des Fadens **4** eine Vertiefung **5** ergibt. Die Vertiefung **5** grenzt dabei unmittelbar an benachbarte Erhöhungen **6** an. Weiter ist in der zweiten Ausführungsform dargestellt, dass Vertiefungen **5** und Erhöhungen **6** in Längserstreckungsrichtung des Verstärkungsstabes **1** regelmäßig verteilt sind. Der eine Faden **4** ist mit einer Windung **7** um den Mantel **3** gewunden und liegt auf der Mantelaußenfläche **2** auf. Vor allem das abwechselnde Vorkommen von Vertiefung **5** und Erhöhung **6** charakterisiert die Profilierung **9**.

**[0140]** **Fig. 2B** zeigt die zweite Ausführungsform gemäß **Fig. 2A** im Detail B. Es ist ersichtlich, dass der Faden **4** auf einer Mantelaußenfläche **2** aufliegt und in der Vertiefung **5** flachbandartig vorliegt.

**[0141]** Insbesondere ist es auch entsprechend einer nicht dargestellten Ausführungsform möglich, dass der Faden **4** zumindest teilweise vom Mantelmaterial im Bereich der Mantelaußenfläche **2** bedeckt ist oder letztlich vollständig vom Mantelmaterial an der Außenschicht bedeckt ist. Auch möglich ist es, dass der Faden **4** sich unterhalb der Mantelaußenfläche **2** befindet, insbesondere dass er von dieser überdeckt ist.

**[0142]** **Fig. 2C** zeigt dabei die Querschnittsansicht der in **Fig. 2A** dargestellten zweiten Ausführungsform. Insbesondere weist diese Ausführungsform neben dem Mantel **3** einen runden Kern **10** auf. Der Mantel **3** weist einen faserverstärkten Kunststoff auf. Der Kern **10** weist ein vom Mantel **3** abweichendes Material, insbesondere einen geschäumten Kunststoff, auf.

**[0143]** Die **Fig. 2D** zeigt die zweite Ausführungsform in einer Längsschnittdarstellung durch die zentrale Achse, bei der die parabelförmigen Vertiefungen **5** und der sinusförmige, regelmäßige Verlauf der Profilierung **9** vorgesehen sind.

**[0144]** Der in **Fig. 2D** zehn Mal ersichtliche Querschnitt des umwundenen Fadens **4** ist in allen Ausführungsbeispielen in rein illustrativer Form für den flachbandartigen Querschnitt dargestellt. Flachban-

dartig bedeutet, dass keine runde Form, sondern eine zumindest näherungsweise ellipsenförmige und/oder angeflachte und/oder geplättete Form vorgesehen ist. Insbesondere ist es auch entsprechend einer nicht dargestellten Ausführungsform möglich, dass ein flachbandartiger Querschnitt der Oberflächenform der Vertiefung 5 folgt bzw. an diese angelegt ist.

**[0145]** Entsprechend einer weiteren, nicht dargestellten Ausführungsform ist es möglich, dass der Kern 10 aus einem gleichen Material wie der Mantel 3 besteht.

**[0146]** In Fig. 3 ist eine Ausführungsform eines Verstärkungsstabes 1 nach einer dritten Ausführungsform dargestellt, in der zwei Fäden 4 mit gegensinniger Umwindungsrichtung in zwei Windungen 7 gewunden sind. Hierdurch ergibt sich auf der Mantelaußenfläche ein abschnittsweises Kreuzmuster bzw. kreuzförmige Profilierung 9, das zur Krafteinleitung in den Verstärkungsstab 1 dienen kann. Dabei kreuzen sich Vertiefungen 5 der Fäden 4, sodass ein Kreuzmuster bzw. eine kreuzförmige Profilierung 9 entsteht.

**[0147]** In Fig. 4 ist eine vierte Ausführungsform dargestellt, in der zwei Fäden 4 in zwei Windungen 7 um einen Mantel 3 gewunden sind. Dabei weisen beide Fäden 4 die gleiche Steigung auf, um die Krafteinleitung in den Verstärkungsstab 1 zu verbessern. Gleichwohl kann diese Ausführungsform der Produktivitätssteigerung bei der Herstellung dienen, da in doppelter Geschwindigkeit gegenüber einem einzelnen Faden gewunden werden kann.

**[0148]** Die Fig. 5 zeigt einen Verstärkungsstab 1 mit mehreren Windungen 7 nach einer fünften Ausführungsform, wobei die Steigung der Windungen 7 Null (0) mm beträgt, so dass sich in Bezug auf die zentrale Längsachse des Verstärkungsstabes 1 ein im Wesentlichen rotationssymmetrischer Querschnitt ergibt. In Bezug auf einen Schnitt in jeder Ebene quer zur Längsachse ergibt sich somit ein kreisrunder Querschnitt. Vorteilhaft an dieser Ausführungsform ist, dass bei Zugbelastung des Verstärkungsstabes 1 keine oder zumindest im Wesentlichen keine Drehmomente um die Längsachse des Verstärkungsstabes 1 entstehen können.

**[0149]** Eine bevorzugte, nicht dargestellte Ausführungsform eines Verstärkungsstabes 1 sieht vor, dass in einer Art des Nähens wenigstens ein Faden 4 umwunden und/oder eingebracht wird. Beispielsweise ist insbesondere möglich, dass zwei Fäden 4 entlang der Mantelaußenfläche 2 bzw. entlang des Mantels 3 miteinander regelmäßig verhakt und/oder vernäht werden, ohne dass einer der Fäden 4 für sich genommen eine ganze Umwindung um den Mantel 3 ausbildet. Es ist jedoch auch bevorzugt, dass das

beschriebene Vorgehen in einer weiteren, nicht dargestellten Ausführungsform, in beliebiger Kombination mit dem Umwinden angewendet wird.

**[0150]** Die Fig. 6 zeigt eine sechste Ausführungsform eines Verstärkungsstabes 1, der einen Faden 4 mit einer Windung 7 aufweist. Dabei weist die Ausführungsform der Fig. 6 eine erhöhte Steigung der Windung 7 gegenüber der zweiten Ausführungsform in Fig. 2A auf. Insbesondere ist hier ersichtlich, dass der Abstand von Vertiefung 5 und Erhöhung 6 durch die gegenüber der ersten Ausführungsform höhere Steigung ebenfalls gesteigert ist. Durch eine erhöhte Steigung des Fadens 4 kann sowohl die Produktivität bei der Herstellung des Verstärkungsstabes 1 verbessert als auch eine verbesserte Festigkeit des Verstärkungsstabes 1 erreicht werden.

**[0151]** Die Fig. 7 zeigt einen Verstärkungsstab 1 in einer siebten Ausführungsform, der gegenüber der zweiten Ausführungsform durch eine engere Windung 7 gekennzeichnet ist. Hierdurch weisen die Vertiefungen 5 gegenüber den Erhöhungen 6 eine vergrößerte Distanz bzw. Tiefe 13 in Bezug auf beispielsweise die Ausführungsform in Fig. 2A auf. Durch eine erhöhte bzw. vergrößerte Tiefe von Vertiefungen 5 wird insbesondere eine Veränderung der sich quer zur Längsrichtung erstreckenden Flächenanteile der Mantelaußenfläche 2 hervorgerufen, die je nach Anwendungsfall erforderlich sein könnte, um höhere Kräfte einleiten zu können.

**[0152]** Nicht dargestellt ist, dass eine erhöhte Tiefe 13 einer Vertiefung 5 durch eine erhöhte Zugkraft im Faden 4 bei der Umwindung herbeigeführt werden kann. Weiter vorzugsweise wird eine erhöhte Tiefe einer Vertiefung 5 durch eine geringere oder auch keine Vorhärtung bzw. Härtung des Materials des Mantels 3 vor und/oder nach der Umwindung mit dem Faden 4 bewirkt. Auch kann vorgesehen sein, den Schrumpf des Fadens 4 zur Veränderung der Tiefe 13 zu verändern. Des Weiteren ist es möglich, ganz andere Materialkombinationen von den beteiligten Materialien zu verwenden, insbesondere Mantel 3, Faden 4 und/oder Kern 10, um eine veränderte Tiefe 13 zu bewirken.

**[0153]** Fig. 8A zeigt in einer ausschnittsweisen Seitenansicht einen Verstärkungsstab 1 gemäß einer achten Ausführungsform. Der dargestellte Verstärkungsstab 1 weist einen Mantelaußenfläche 2 aufweisenden Mantel 3 auf. Der Mantel 3 weist einen faserverstärkten Kunststoff auf. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel gemäß der achten Ausführungsform ist um die Mantelaußenfläche 3 ein Faden 4 gewunden. Der Faden 4 weist in diesem Ausführungsbeispiel einen flachbandartigen Querschnitt auf. Die achte Ausführungsform gemäß Fig. 8A zeichnet sich dadurch aus, dass der Faden 4 von der Mantelaußenfläche 2 teilweise bedeckt ist.

**[0154]** Bei einer nicht dargestellten Ausführungsform ist vorgesehen, dass während der Herstellung, d.h. insbesondere während und/oder nachdem der Faden **4** um den Mantel **3** gewunden wird, Anteile des nicht vollständig ausgehärteten Materials des Mantels **3** fließen und/oder ausweichen und letztlich den Faden **4** einbringen und/oder teilweise bedecken und/oder vollständig bedecken. Beim Einschnüren werden die im Mantel **3** befindlichen Verstärkungsfasern radial komprimiert bzw. verschoben, wobei das teilweise flüssige Matrixmaterial aufgrund der entstehenden mechanischen Spannungen fließt und/oder ausweicht und sich letztlich in den Bereich der Erhöhungen **6** und/oder zumindest teilweise und/oder vollständig über den Faden **4** verschiebt. Es kann auch vorgesehen sein, dass nach dem Umwinden des Fadens **4** ein weiterer, nicht dargestellter Überzug aus einem gleichen oder unterschiedlichen Material aufgetragen wird.

**[0155]** Fig. **8B** zeigt die achte Ausführungsform gemäß Fig. **8A** im Detail B. Es ist ersichtlich, dass der gewundene Faden **4** teilweise in den Mantel **3** eingebracht ist.

**[0156]** Fig. **8C** zeigt die Querschnittsansicht der in Fig. **8A** dargestellten achten Ausführungsform. Dabei weist die achte Ausführungsform einen Mantel **3** und einen runden Kern **10** auf. Der Kern **10** besteht aus einem vom Mantel **3** abweichenden Material.

**[0157]** Fig. **9A** zeigt in einer ausschnittweisen Seitenansicht einen Verstärkungsstab **1** gemäß einer neunten Ausführungsform. Der dargestellte Verstärkungsstab **1** weist einen eine Mantelaußenfläche **2** aufweisenden Mantel **3** und einen im Wesentlichen zylindrischen Kern **10** auf. Der Mantel **3** weist einen faserverstärkten Kunststoff auf. Der Kern **10** besteht aus einem vom Mantel **3** abweichenden Material. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel ist um die Mantelaußenfläche **2** ein Faden **4** gewunden. Der Faden **4** weist einen flachbandartigen Querschnitt auf und ist von der Mantelaußenfläche **2** überdeckt.

**[0158]** Es ist möglich, dass nicht vollständig ausgehärtetes Matrixmaterial des Mantels **3** beim Einschnüren des Mantels **3** durch den Faden **4** radial komprimiert bzw. verschoben wird, wobei das teilweise flüssige Matrixmaterial aufgrund der entstehenden Spannungen fließt und/oder ausweicht und letztlich den Faden **4** bedeckt bzw. überdeckt.

**[0159]** Fig. **9B** zeigt, dass der gewundene Faden **4** vollständig überdeckt bzw. bedeckt ist.

**[0160]** Fig. **10** zeigt eine zehnte Ausführungsform eines Verstärkungsstabes **1**, bei dem der Mantel **3** und der Kern **10** aus dem gleichen Material bestehen.

**[0161]** In der Fig. **11** ist ein Längsquerschnitt eines Verstärkungsstabes **1** in einer elften Ausführungsform dargestellt, die einen Kern **10** und einen Mantel **3** aufweist. Die Mantelaußenfläche **2** ist durch Erhöhungen **6** und Vertiefungen **5** charakteristisch profiliert. Der Kern **10** ist korrespondierend zu der Umwindung des Mantels **3** mit dem Faden **4** vertieft. Dies ist einer engen Umwindung und/oder der Wahl anderen Materials, aus dem Kern **10** und/oder Faden **4** bestehen, geschuldet. Die Verformung des Kerns **10** korreliert mit einer hohen Vorspannkraft bei der Umwindung des Fadens **4**. Demgemäß ist die Profilierung des Mantels **3** sowohl an den Verlauf des Kerns **10** als auch an den Verlauf der Mantelaußenfläche **2** angepasst.

**[0162]** Gemäß einer nicht dargestellten Ausführungsform kann auch vorgesehen sein, dass der Kern **10** profiliert ist und/oder Vertiefungen **5** aufweist. Zudem kann der Kern **10** eine andere Querschnittsform als eine Kreisform aufweisen. Auch ist es möglich, dass der Mantel **3** eine von einer zumindest im Wesentlichen zylindrischen und/oder hohlzylindrischen Form abweichende Form aufweist, beispielsweise eine Stabform mit einem polygonalen Querschnitt.

**[0163]** Die Fig. **12** zeigt eine zwölfte Ausführungsform, in der der Kern **10** weniger stark vertieft ist als bei der elften Ausführungsform. Dabei kann die Verformung des Kerns **10** durch die Herstellparameter bzw. Materialeigenschaften des Kerns **10** und/oder des Mantels **3** und/oder des Fadens **4** beeinflusst werden. Insbesondere die Vorspannkraft des Fadens **4** und/oder das Einstellen des Härstens des Mantels **3** sind Einflussfaktoren zur Formgebung von Kern **10** und/oder Mantel **3** und letztlich zur Einstellung der Festigkeit des Verstärkungsstabes **1**.

**[0164]** Bei der in Fig. **13** dargestellten dreizehnten Ausführungsform weist der Kern **10** einen zylindrischen Hohlraum auf. Diese Ausführungsform sieht vor, das Raumgewicht eines Verstärkungsstabes **1** durch die Einbringung des Hohlraums zu verringern, ohne die Festigkeit maßgeblich zu reduzieren. Nicht dargestellt ist, dass der Hohlraum auch eine andere als die zylindrische Form aufweisen kann. So können mehrere Hohlräume vorgesehen sein, die nicht unbedingt die gleiche Form aufweisen und/oder nicht unbedingt untereinander verbunden sind. Besonders bevorzugt ist es, den Kern porös auszubilden und oder eine Porosität im Kern vorzusehen.

**[0165]** Die Fig. **14** zeigt einen Verstärkungsstab **1** entsprechend einer vierzehnten Ausführungsform mit einem Krafteinleitungselement **11**, das an dem Verstärkungsstab **1** mit dem Zweck der Krafteinleitung angebracht ist. Es ist nur beispielhaft und rein illustrativ eine zylindrische Form des Krafteinleitungselements **11** vorgesehen. Grundsätzlich sind beliebig geformte Krafteinleitungselemente **11** möglich.

**[0166]** Das Krafteinleitungselement **11** kann stoffschlüssig und/oder formschlüssig und/oder kraftschlüssig und/oder reibschlüssig am Verstärkungsstab **1** angebracht sein, wobei es zumindest in mechanischem Kontakt mit dem Verstärkungsstab **1** steht und zumindest im Wesentlichen dazu geeignet ist, Kräfte an oder auf den Verstärkungsstab **1** zu übertragen.

**[0167]** Nicht dargestellt ist die Anbringung eines Krafteinleitungselements **11** entlang wenigstens 80 % der Länge des Stabes **8**, vorzugsweise in der Art eines Überzuges, der bei der Krafteinleitung eine unterstützende Funktion wahrnehmen und/oder als schützender Überzug wirken kann.

**[0168]** Eine bevorzugte Ausführungsform des Verstärkungsstabes **1** ist mit einem Faden **4** umwunden und weist eine Steigung der Windung **7** von 10 mm  $\pm$  10 % auf. Die Tiefe **13** der Profilierung **9** beträgt bei diesem Stab 1 mm  $\pm$  10 %. Der Stab **1** weist im Mantel **3** Glas- oder Carbonfasern auf, die einer Epoxid- oder Vinylesterharzmatrix befindlich sind. Dabei sind Verstärkungsfasern des faserverstärkten Mantels **3** um den Kern **10**, bestehend aus geschäumtem Kunststoff, bevorzugt Polyethylen (PE), gelegt und mit dem Faden **4**, insbesondere aus Polyester, umwunden. Der Faden **4** weist dabei einen Schrumpf von bevorzugt 6,8 %  $\pm$  10 % auf. Ein bevorzugter Durchmesser ist beispielsweise 14 mm  $\pm$  10 % bei einem verwendeten Kerndurchmesser von 10 mm  $\pm$  10 % oder auch ein Durchmesser von 32 mm  $\pm$  10 % bei einem verwendeten Kerndurchmesser von 25 mm  $\pm$  10 %.

**[0169]** Die beschriebenen Ausführungsformen weisen Merkmale auf, die in beliebiger Form kombiniert und auch für sich genommen realisiert werden können, um weitere Ausführungsformen zu bilden.

#### Bezugszeichenliste

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| <b>1</b>  | Verstärkungsstab       |
| <b>2</b>  | Mantelaußenfläche      |
| <b>3</b>  | Mantel                 |
| <b>4</b>  | Faden                  |
| <b>5</b>  | Vertiefung             |
| <b>6</b>  | Erhöhung               |
| <b>7</b>  | Windung                |
| <b>8</b>  | Länge des Stabes       |
| <b>9</b>  | Riffelung/Profilierung |
| <b>10</b> | Kern                   |

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| <b>11</b> | Krafteinleitungselement |
| <b>12</b> | Durchmesser             |
| <b>13</b> | Tiefe                   |

#### Patentansprüche

1. Verstärkungsstab (1), insbesondere zur Verwendung als Bewehrungsstab im Bauwesen, mit einem eine Mantelaußenfläche (2) aufweisenden Mantel (3), wobei der Mantel (3) einen faserverstärkten Kunststoff aufweist und wobei um die Mantelaußenfläche (2) wenigstens ein Faden (4) gewunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mantelaußenfläche (2) im Bereich des Fadens (4) eingeschnürt ist, so dass sich im Bereich des Fadens (4) wenigstens eine Vertiefung (5) ergibt.

2. Verstärkungsstab nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vertiefung (5) parabelförmig ausgebildet ist.

3. Verstärkungsstab nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) um die Mantelaußenfläche (2) in mindestens einer, vorzugsweise einer Mehrzahl von Windungen (7) gewunden ist.

4. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) mit einer vorzugsweise gleichbleibenden Steigung von 0 bis 20 mm, vorzugsweise zwischen 5 und 15 mm, besonders bevorzugt zwischen 7 und 13 mm und insbesondere von 10  $\pm$  1 mm gewunden ist.

5. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mantel (3) zwischen zwei Windungen (7) eine Erhöhung (6) aufweist.

6. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vertiefung (5) ausgehend von einer benachbarten Erhöhung (6) eine maximale Tiefe (13) im Bereich zwischen 0,10 und 3 mm, bevorzugt zwischen 0,15 und 2,5 mm, weiter bevorzugt zwischen 0,25 und 2 mm, weiter bevorzugt zwischen 0,40 und 1,5 mm, besonders bevorzugt zwischen 0,75 und 1,25 mm und insbesondere eine Tiefe 13 von 1 mm  $\pm$  0,1 mm aufweist.

7. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) um wenigstens 80 % der Länge des Stabes (8) gewunden ist und dass sich im umwundenen Bereich eine Profilierung (9) mit alternierend vorgesehenen Vertiefungen (5) und Erhöhungen (6) ergibt.

8. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass be-

nachbarte Vertiefungen (5) die gleiche Tiefe (13) und/oder benachbarte Erhöhungen (6) die gleiche Höhe, insbesondere mit einer Abweichung von  $\pm 10\%$ , aufweisen.

9. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Profilierung (9) des Mantels (3) im Längsquerschnitt einen zumindest im wesentlichen sinusförmigen und insbesondere regelmäßigen Verlauf vorzugsweise mit gleichen Abmaßen benachbarter Vertiefungen (5) und/oder Erhöhungen (6) aufweist.

10. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) ein Garn, bevorzugt ein Multifilamentgarn, ist, das im gewundenen Zustand flachbandartig im Bereich der Vertiefung (5) vorgesehen ist und/oder angeordnet ist.

11. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) ein synthetisches Polymer, vorzugsweise Polyester und/oder Aramide, aufweist und/oder daraus besteht.

12. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) im Bereich der Vertiefung (5) in den Mantel (3) zumindest teilweise eingebracht ist.

13. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faden (4) einen Heißdampfschrumpf insbesondere zwischen 1 und 10 %, bevorzugt zwischen 3 und 9 %, weiter bevorzugt zwischen 5 und 8 %, insbesondere von  $6,8\% \pm 0,5\%$  aufweist.

14. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mantel (3) einen maximalen Außendurchmesser (12) zwischen 10 und 18 mm, vorzugsweise zwischen 12 und 16 mm und insbesondere  $14 \pm 1$  mm aufweist oder dass der Mantel (3) einen maximalen Außendurchmesser (12) zwischen 20 und 50 mm, vorzugsweise zwischen 25 und 40 mm und insbesondere von  $32\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$  aufweist.

15. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein vom Mantel (3) umgebener Kern (10) aus einem vom Mantelmaterial abweichenden Kernmaterial, insbesondere mit gegenüber dem Mantelmaterial verringerter Dichte und/oder verringertem Raumgewicht, vorgesehen ist.

16. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kernmaterial porös ist und/oder Schaum, insbesondere Polyethylen, aufweist.

17. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kern (10) einen maximalen Außendurchmesser (12) zwischen 5 und 20 mm, vorzugsweise zwischen 8 und 14 mm und insbesondere  $10 \pm 1$  mm aufweist oder dass der Mantel (3) einen maximalen Außendurchmesser (12) zwischen 10 und 45 mm, vorzugsweise zwischen 20 und 30 mm und insbesondere von  $25\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$  aufweist.

18. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Mantel (3) wenigstens ein Krafteinleitungselement (11) angebracht ist, das zur Krafteinleitung, insbesondere in den Mantel (3), dient.

19. Verstärkungsstab nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Krafteinleitungselement (11) vorzugsweise mittels Kunststoffspritzguss gebildet ist, insbesondere wobei das Krafteinleitungselement (11) reibschlüssig und/oder formschlüssig und/oder stoffschlüssig angebracht ist, bevorzugt unmittelbar an den Mantel (3) angespritzt ist.

20. Verwendung eines Verstärkungsstabes nach einem der vorgehenden Ansprüche, als Bewehrungsstab im Bauwesen, insbesondere für Beton.

21. Verfahren zur Herstellung eines einen Mantel (3) aus faserverstärktem Kunststoff aufweisenden Verstärkungsstabes (1), insbesondere nach einem der vorgehenden Ansprüche, wobei um die Mantelaußenfläche (2) des Mantels (3) wenigstens ein Faden (4) gewunden wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umwindung des Mantels (3) mit dem Faden (4) mit einer solchen Vorspannkraft vorgenommen wird, dass die Mantelaußenfläche (2) im Bereich des Fadens (4) eingeschnürt wird, so dass sich im Bereich des Fadens (4) eine Vertiefung (5) ergibt.

22. Verfahren nach Anspruch 20, **gekennzeichnet durch** wenigstens einen der nachfolgenden Verfahrensschritte:

- Bereitstellen eines Kerns (10), insbesondere aus einem vom Mantelmaterial abweichenden Kernmaterial, insbesondere mit gegenüber dem Mantelmaterial verringerter Dichte
- Aufbringen des Mantels (3) auf den Kern (10)
- Aushärten des Mantels (3) in einer Härtungseinrichtung
- Schrumpfung des Fadens (4) durch Wärmebehandlung
- Ablängung des Verstärkungsstabes (1) von einem kontinuierlich hergestellten Strang
- Anbringung wenigstens eines Krafteinleitungselements (11), insbesondere an den Mantel (3)

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

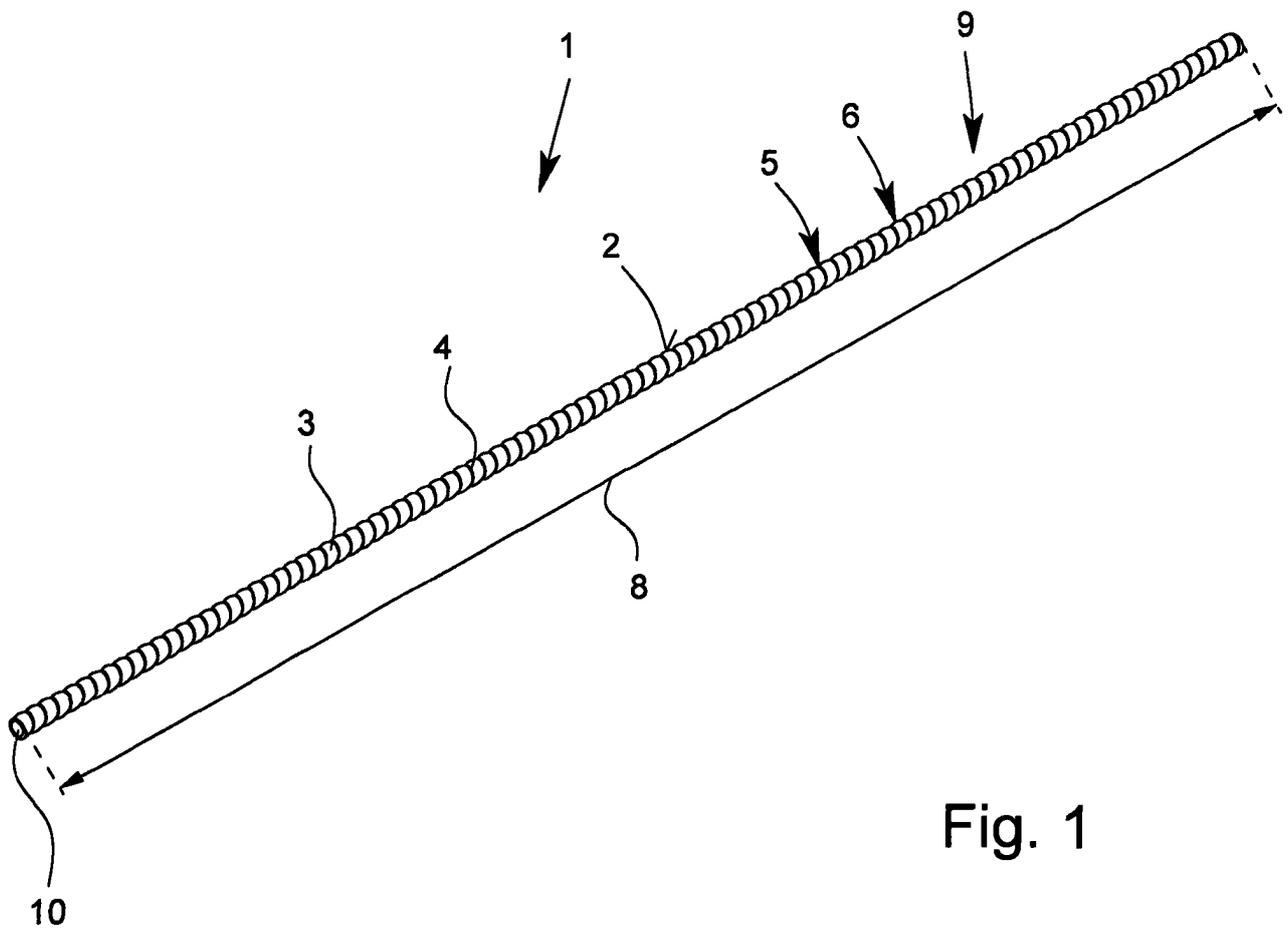


Fig. 1

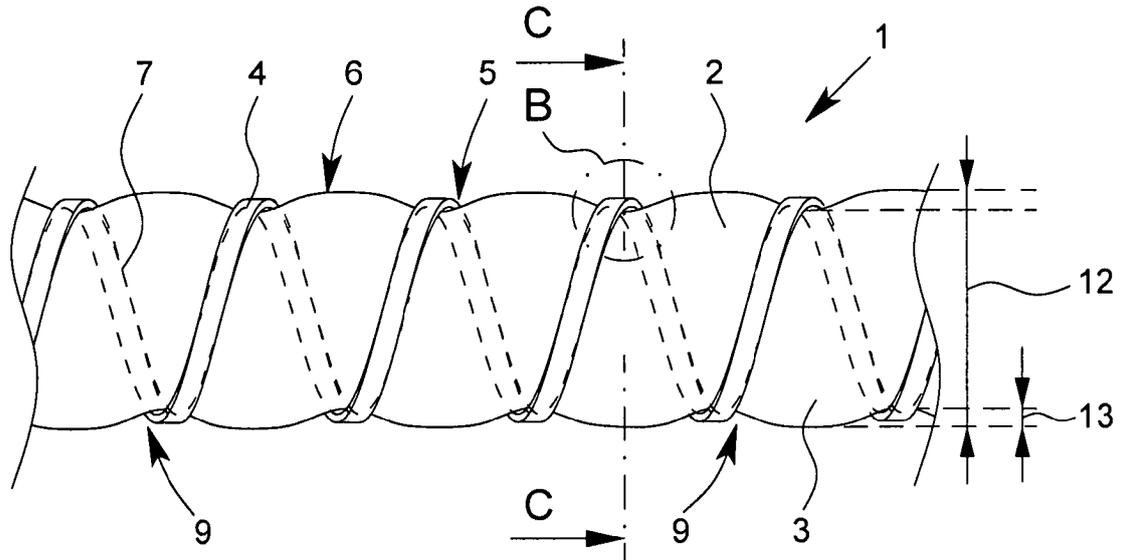


Fig. 2A

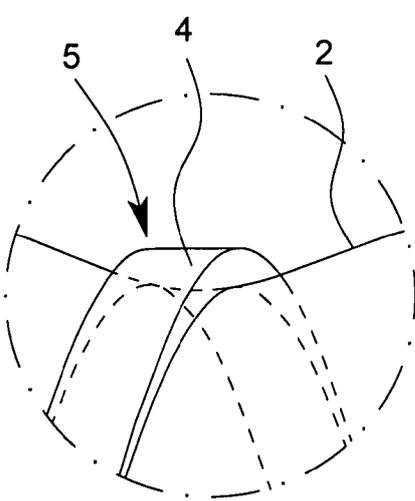


Fig. 2B

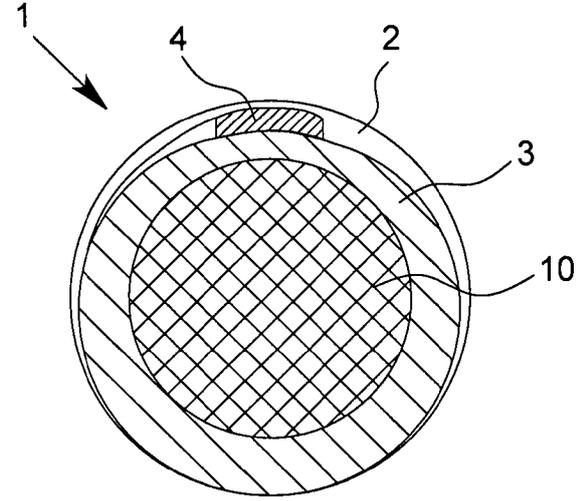


Fig. 2C

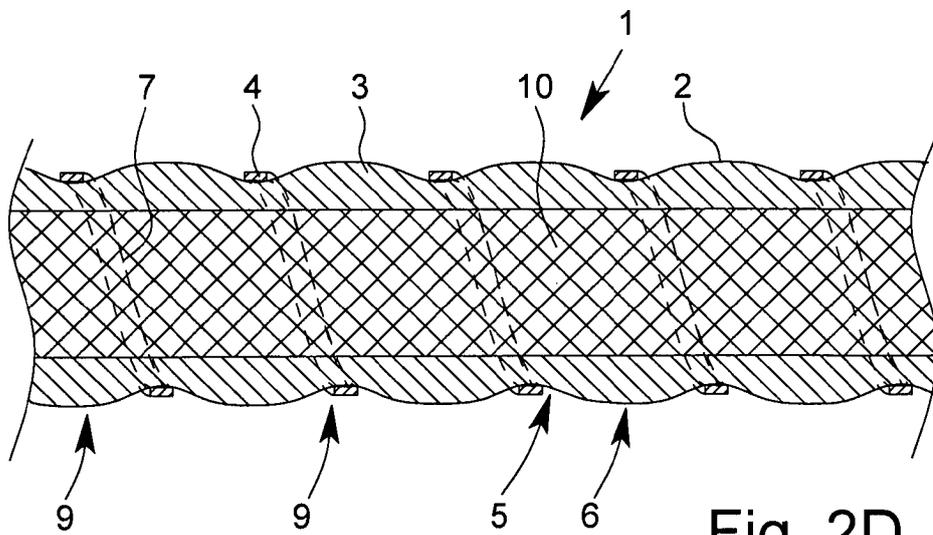


Fig. 2D

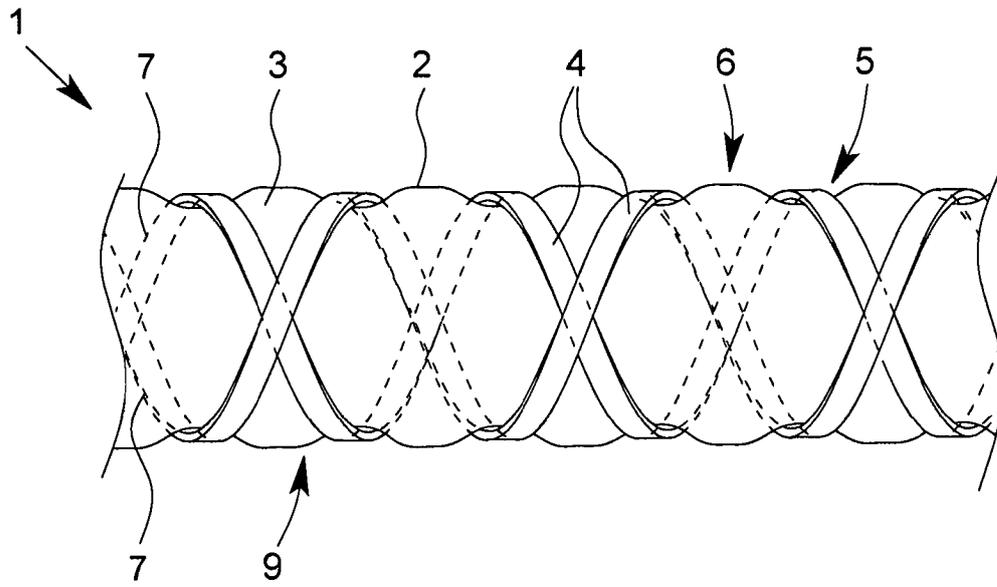


Fig. 3

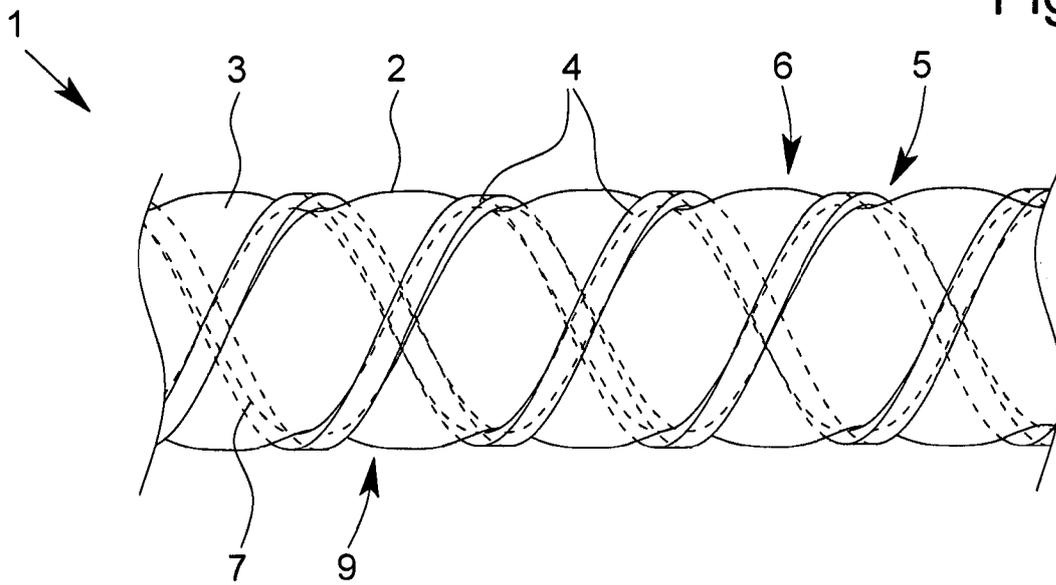


Fig. 4

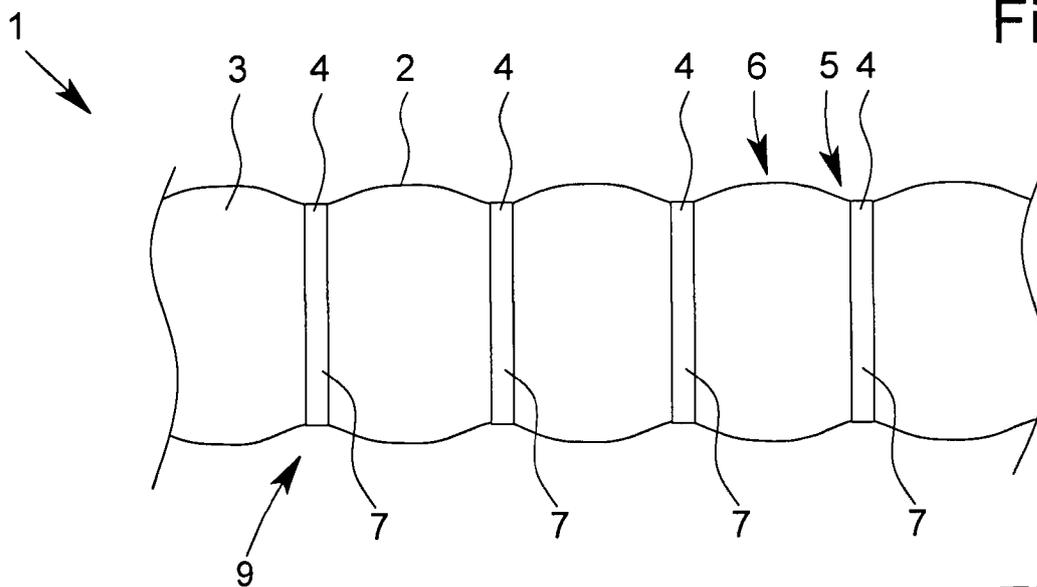


Fig. 5

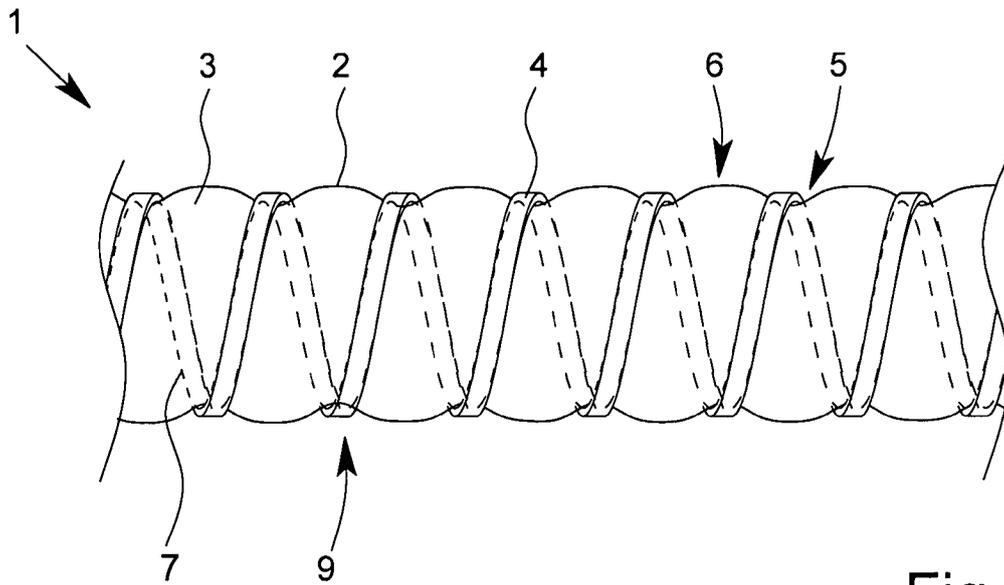


Fig. 6

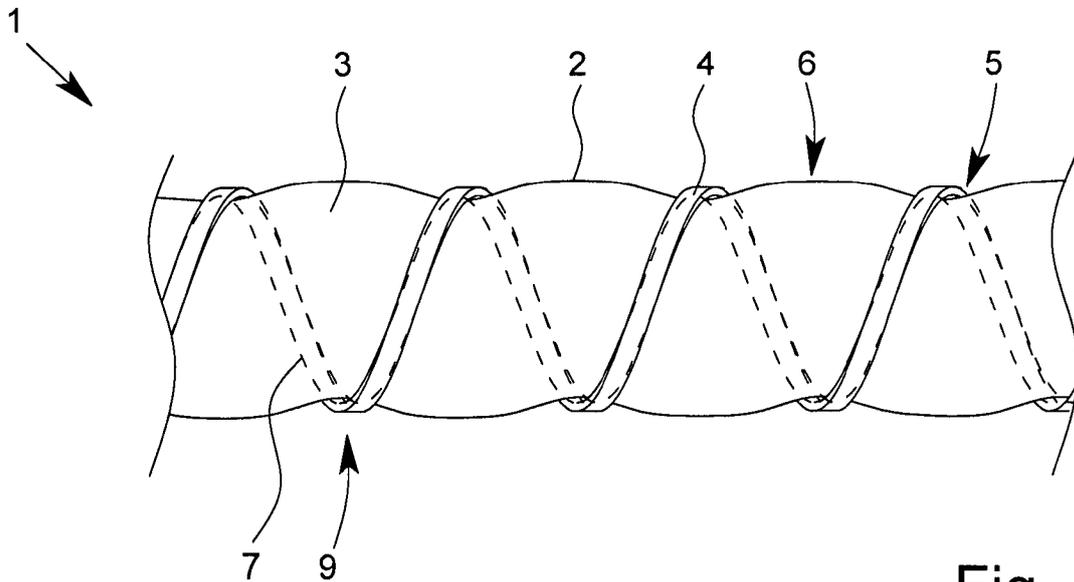


Fig. 7

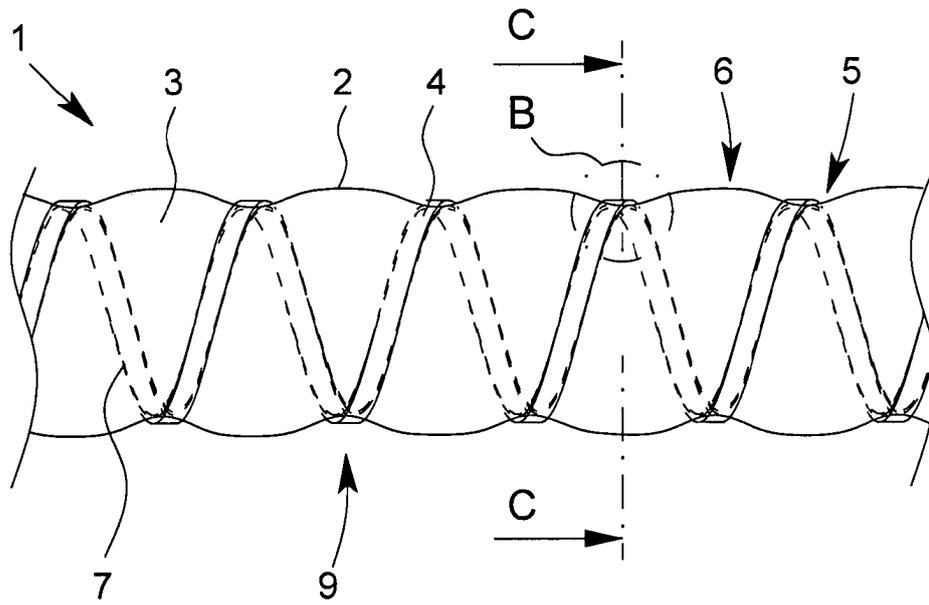


Fig. 8A

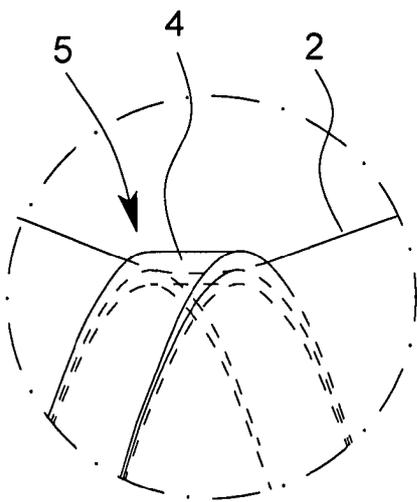


Fig. 8B

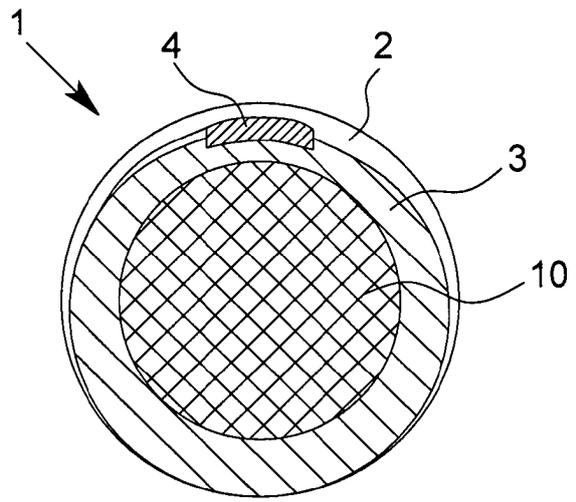


Fig. 8C

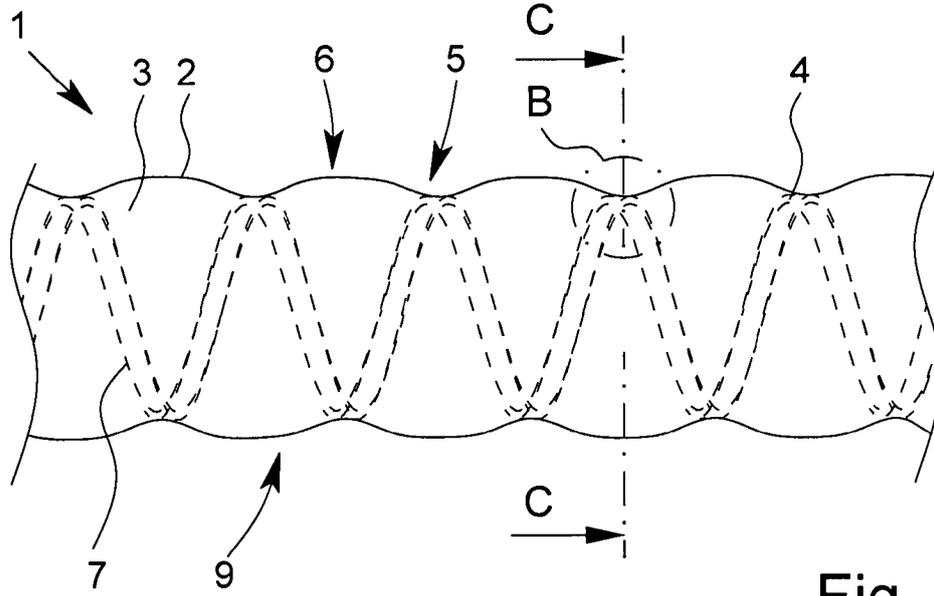


Fig. 9A

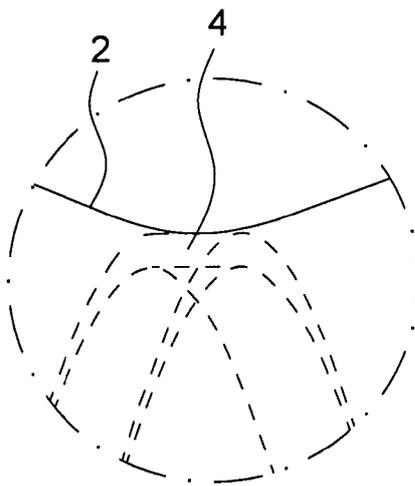


Fig. 9B

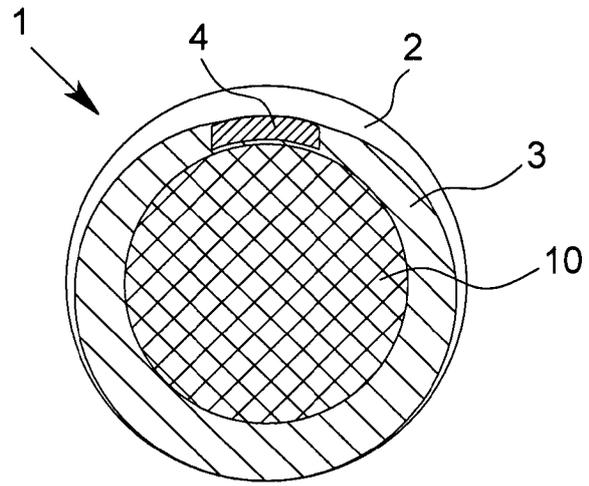


Fig. 9C

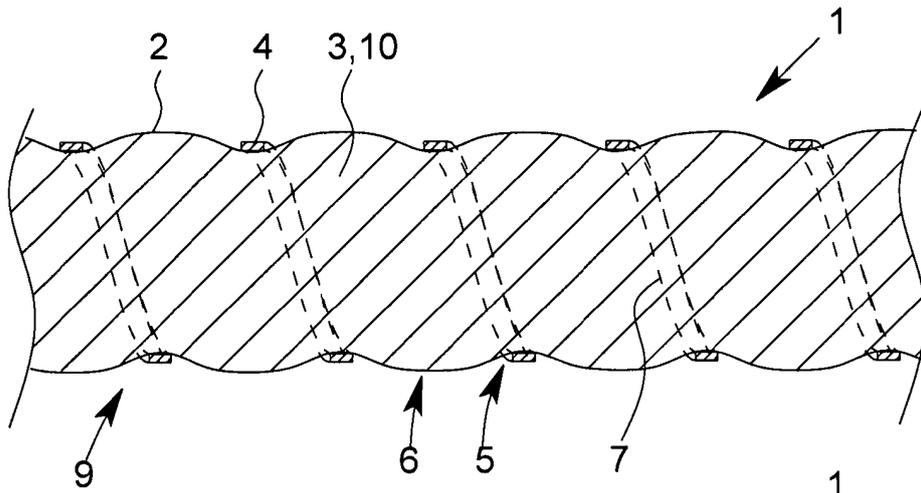


Fig. 10

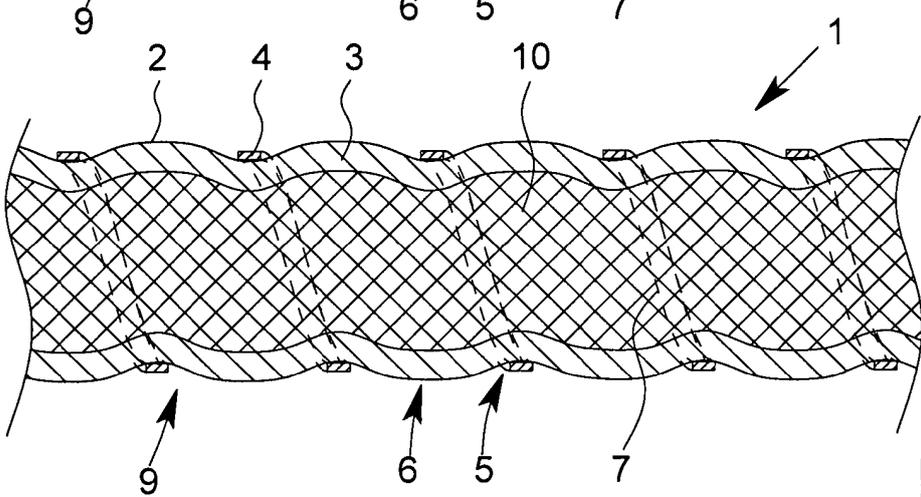


Fig. 11

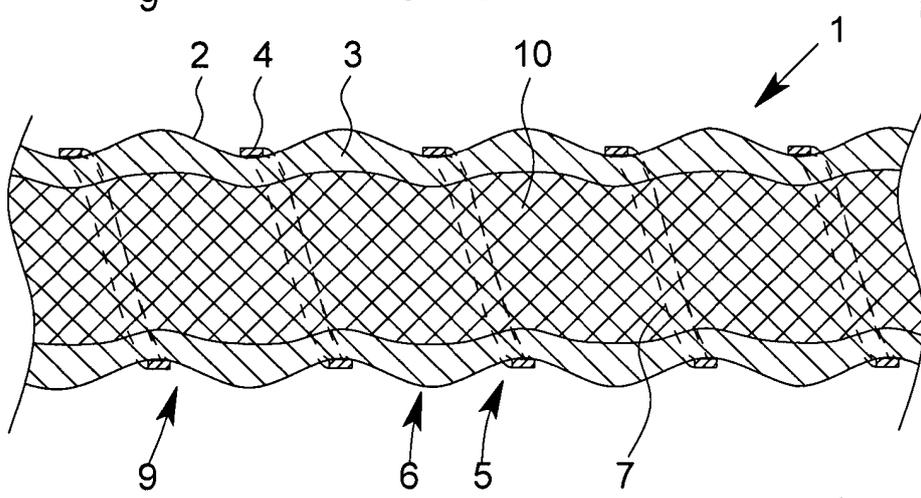


Fig. 12

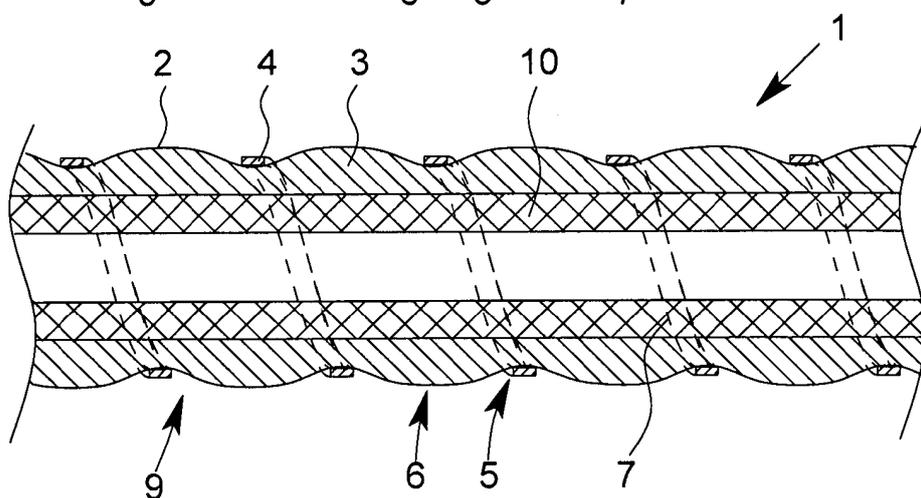


Fig. 13

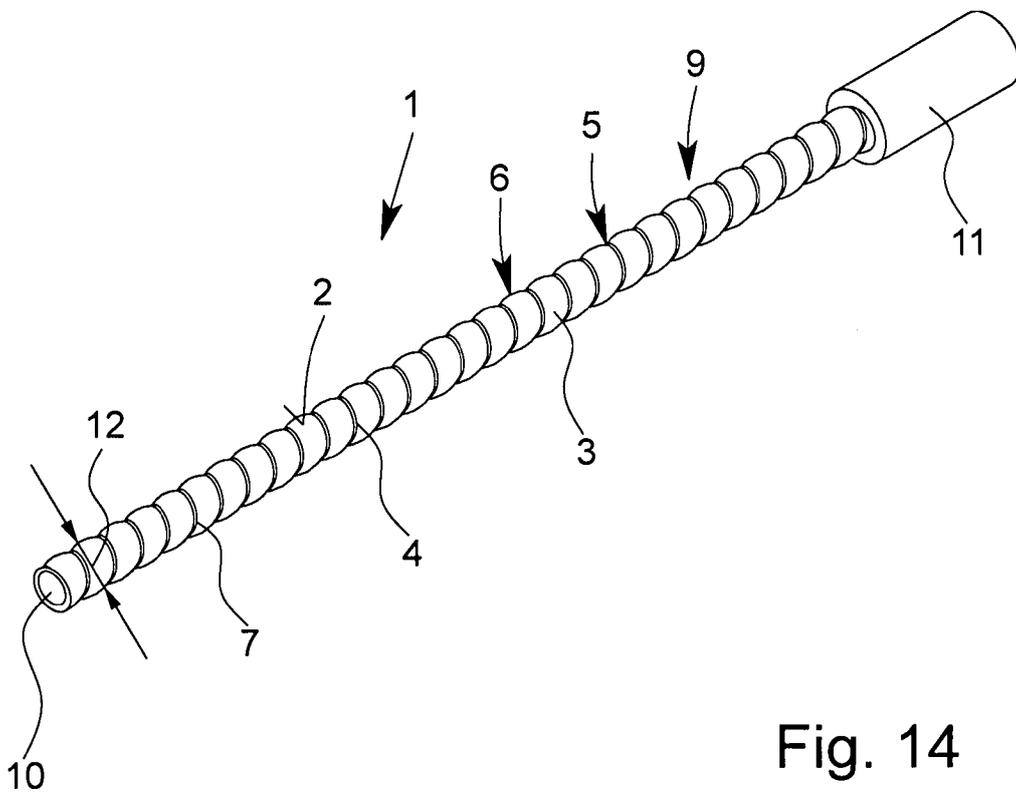


Fig. 14