

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50135/2019
(22) Anmeldetag: 20.02.2019
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2020

(51) Int. Cl.: **H02K 15/04** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 2948677 A1

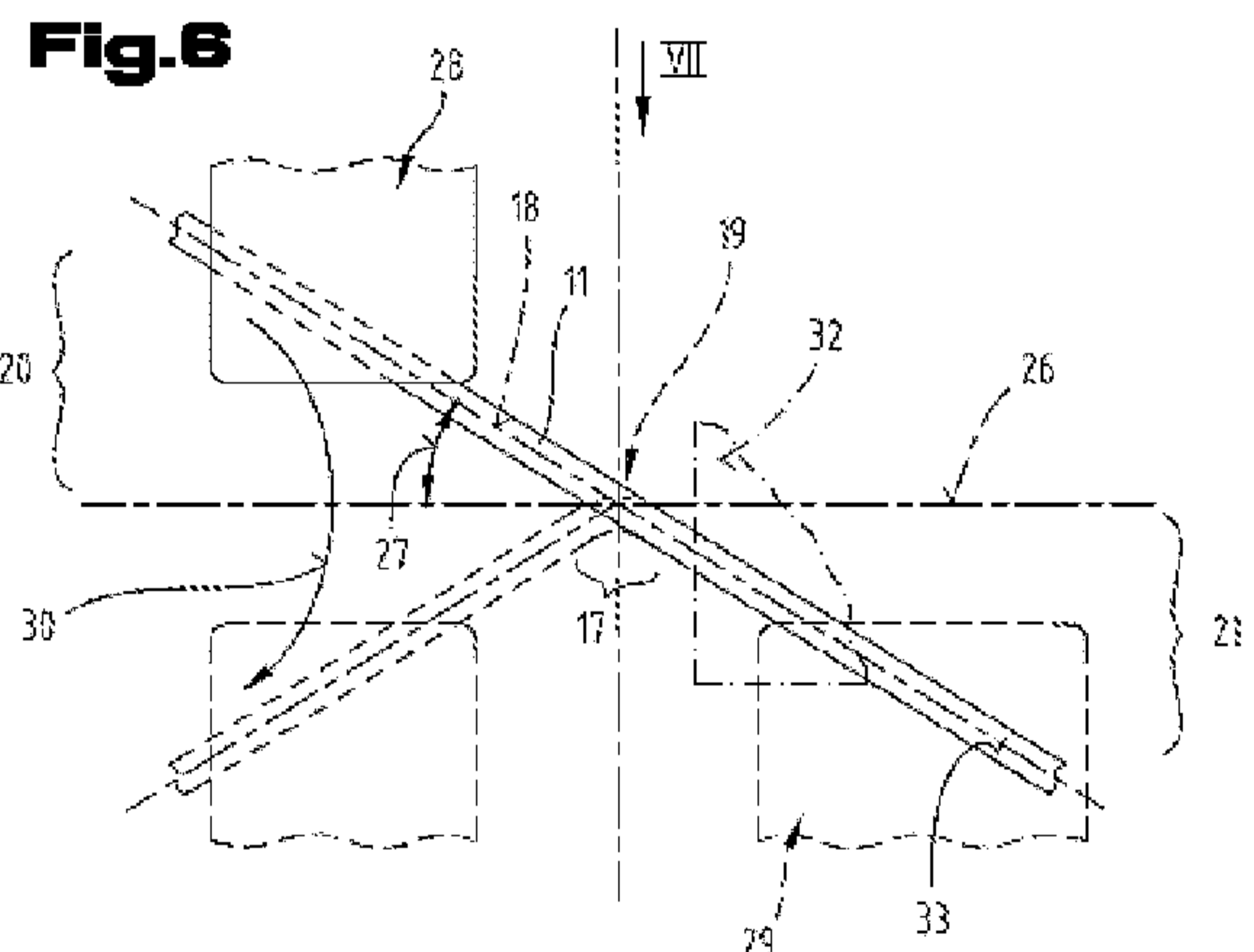
(71) Patentanmelder:
Miba eMobility GmbH
4663 Laakirchen (AT)

(72) Erfinder:
Miesbauer Robert
4643 Pettenbach (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) **Verfahren zum Bereitstellen von Formstäben aus einem elektrischen Leiterdraht sowie entsprechende Formstäbe**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen von Formstäben, welche für den Einsatz in elektrischen Wicklungen von elektrischen Maschinen vorgesehen sind. Das Verfahren umfasst eine Bereitstellung von Leiterdraht (11); eine Positionierung des Leiterdrahtes (11) und einer Biegeachse (26) für den Leiterdraht derart zueinander, dass die Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) und die Biegeachse (26) schiefwinklig zueinander verlaufen; ein Halten, Greifen oder Abstützen des Leiterdrahtes (11) in einem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11); und eine Ausführung einer Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) um die Biegeachse (26). Dadurch ist eine simultane Bildung eines kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes (17, 19) im Leiterdraht (11) und auch eines seitlichen Versatzes (16) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) ermöglicht. Weiters ist ein entsprechend geformter Formstab angegeben.



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen von Formstäben, welche für den Einsatz in elektrischen Wicklungen von elektrischen Maschinen vorgesehen sind. Das Verfahren umfasst eine Bereitstellung von Leiterdraht (11); eine Positionierung des Leiterdrahtes (11) und einer Biegeachse (26) für den Leiterdraht derart zueinander, dass die Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) und die Biegeachse (26) schiefwinkelig zueinander verlaufen; ein Halten, Greifen oder Abstützen des Leiterdrahtes (11) in einem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11); und eine Ausführung einer Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) um die Biegeachse (26). Dadurch ist eine simultane Bildung eines kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes (17, 19) im Leiterdraht (11) und auch eines seitlichen Versatzes (16) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) ermöglicht. Weiters ist ein entsprechend geformter Formstab angegeben.

Fig. 6, 7

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen von Formstäben aus einem elektrischen Leiterdraht, Formstäbe aus einem elektrischen Leiterdraht, sowie einen Stator einer elektrischen Maschine mit solchen Formstäben, wie dies in den Ansprüchen angegeben ist.

Aus dem Stand der Technik sind sogenannte Formstab-Wicklungen bekannt, welche aus einer Vielzahl von definiert gebogenen und elektrisch miteinander verschalteten Formstäben gebildet sind. Eine entsprechende Formstab-Wicklung ist dabei in einer im wesentlichen hohlzylindrischen Statorkomponente, welche zu- meist als Blechpaket ausgeführt ist, zumindest teilweise aufgenommen. Diese feststehenden, magnetisch wirksamen Teile werden im Allgemeinen als Stator einer elektrischen Maschine bezeichnet.

Die EP2591538B1 beschreibt ein Verfahren zum Verdrehen von spangenförmig vorgeformten Leiterdrähten und entsprechend geformte Formstäbe für den Einsatz in elektrischen Maschinen. Die bei diesem Verfahren eingesetzten, vorgeformten Leiterdrähte weisen einen ersten und einen zweiten Schenkel auf, welche ursprünglich relativ nahe zueinander verlaufen und welche durch einen bogenförmigen Verbindungsabschnitt einteilig miteinander verbunden sind. In einem anschließenden Umformungsschritt werden der erste und zweite Schenkel mittels koaxial zueinander angeordneter, scheibenartiger Verdrehwerkzeuge entlang von zwei radial zueinander versetzten Kreisbahnen auseinandergezogen. Dadurch entsteht ein Formstab mit achsparallel zueinander verlaufenden, vergleichsweise weiter voneinander distanzierten Schenkelabschnitten und einem diese Schenkelabschnitte einteilig verbindenden, dachförmigen bzw. giebelartigen Verbindungsab-

schnitt, wie dies in den Fig. 2, 3 der EP2591538B1 beispielhaft gezeigt ist. Die Geometrie der hergestellten Formstäbe und das hierfür eingesetzte Herstellungsverfahren sind jedoch nur bedingt zufriedenstellend.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit welchem Formstäbe für elektrische Wicklungen möglichst rationell und zugleich prozesssicher gefertigt werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren und durch damit hergestellte Formstäbe gemäß den Ansprüchen gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Bereitstellen bzw. Herstellen von Formstäben aus einem elektrischen Leiterdraht vorgesehen. Diese Formstäbe sind dabei als noch weiter zu bearbeitende Formstab-Rohteile bzw. als noch weiter zu verarbeitende Halbfabrikate zu verstehen. Die entsprechend bereitgestellten Formstäbe sind nach deren Weiterverarbeitung für den Einsatz als Leitersegmente in elektrischen Wicklungen, insbesondere in Statorwicklungen von elektrischen Maschinen, vorgesehen. Entsprechend aufgebaute elektrische Wicklungen werden auch als Stabwicklungen bezeichnet. Das beanspruchte Verfahren umfasst folgende Schritte:

- Bereitstellen von Leiterdraht, insbesondere mit mehreckigem, vorzugsweise rechteckigem Querschnitt. Zweckmäßig ist es dabei, wenn der bereitgestellte Leiterdraht geradlinig verläuft, beispielsweise zuvor geradlinig gestreckt wurde. Es können aber auch schon einzelne Biegungen bzw. definierte Abwinkelungen im bereitgestellten Leiterdraht vorhanden sein. Der Querschnitt des Leiterdrahtes ist bevorzugt rechteckförmig ausgebildet, könnte jedoch auch quadratisch oder kreisförmig ausgeführt sein.
- Positionieren bzw. Ausrichten des Leiterdrahtes und einer imaginären bzw. gedachten Biegeachse für den Leiterdraht derart zueinander, dass die Längsachse des Leiterdrahtes und die gedachte Biegeachse schiefwinkelig zueinander verlaufen, insbesondere in einem Winkel zwischen 10° und 80° zueinander verlaufen, und sich die Längsachse des Leiterdrahtes und die Biegeachse kreuzen, sodass in Bezug auf die Biegeachse ein erster und zweiter Abschnitt des Leiterdrahtes

definiert sind. Die Biegeachse ist in diesem Zusammenhang als imaginäre bzw. virtuelle Achse zu verstehen. Insbesondere ist es nicht erforderlich, dass eine strukturell ausgeführte Biegeachse vorliegt. Die schiefwinkelige Ausrichtung zwischen der Längsachse des Leiterdrahtes und der fiktiven Biegeachse erfolgt derart, dass Ausrichtungs-Winkel von 0° und 90° ausgeschlossen sind. Zweckmäßig ist es, wenn sich der bereitgestellte Leiterdraht und die Biegeachse in etwa im Längsmittenabschnitt des Leiterdrahtes schneiden bzw. kreuzen.

- Halten, Greifen oder Abstützen des Leiterdrahtes in seinem ersten und in seinem zweiten Abschnitt. Diese temporäre Halterung bzw. Fixierung des entsprechend ausgerichteten Leiterdrahtes kann durch mechanische Halte- oder Greifvorrichtungen erfolgen, wobei auch Relativbewegungen zwischen dem Leiterdraht und der Halte- oder Greifvorrichtung im Zuge der nachfolgenden Ausführung des Biegeschrittes zugelassen sein können. Eine starre Klemmung des Leiterdrahtes ist also nicht zwingend erforderlich, sondern können diese Vorrichtungen auch als Haltetaschen bzw. Biegewangen ausgeführt sein, welche lediglich eine Drückfunktion in eine definierte Richtung gegenüber zumindest einem der Abschnitte des Leiterdrahtes aufweisen. Die Halte- oder Greifvorrichtungen können also derart ausgeführt sein, dass zumindest einer der beiden Abschnitte des Leiterdrahtes nicht starr fixiert ist, sondern zugelassene Freiheitsgrade aufweist, um biegungs- bzw. verkürzungsbedingte Ausgleichsbewegungen im Leiterdraht zu ermöglichen. Das Halten bzw. Greifen der beiden Teilabschnitte des Leiterdrahtes kann dabei in einem radialen Abstand zur virtuellen Biegeachse erfolgen.

- Ausführen einer Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt des Leiterdrahtes um einen Schwenkwinkel zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° , um die geplante Biegeachse zur simultanen Bildung eines kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes im Leiterdraht. Im Zuge dieses Verwindungs- bzw. Tordierungs-Vorganges gegenüber dem Leiterdraht wird im Verwindungs- und Krümmungsabschnitt des Leiterdrahtes auch ein seitlicher Versatz zwischen den Längsachsen des ersten und zweiten Abschnittes des Leiterdrahtes ausgebildet.

Das anspruchsgemäße Verfahren ermöglicht eine rationelle Fertigung von definiert gebogenen Formstäben bzw. Formstab-Rohteilen für den Einsatz in elektrische Wicklungen. Insbesondere kann in nur einem Arbeitsgang bzw. in lediglich einem Umformungsschritt sowohl die benötigte Abwinkelung bzw. Dachform im zentralen Bügelabschnitt eines im wesentlichen U-förmigen Formstabes bzw. Hair-Pins geschaffen werden, als auch ein seitlicher Versatz zwischen den Längsachsen der an den Verwindungs- und Krümmungsabschnitt anschließenden Abschnitte des Leiterdrahtes bzw. Formstabes erzielt werden. Das entsprechende Umschlag-Biegeverfahren in Zusammenhang mit einer schiefwinkelig zur Längsachse des Leiterdrahtes orientierten Biegeachse kann außerdem mit hoher Prozesssicherheit umgesetzt werden. Darüber hinaus ermöglicht das angegebene Biegeverfahren die Erzielung einer hohen Wiederholgenauigkeit im Hinblick auf die Bereitstellung von Formstab-Rohteilen bzw. Formstäben für elektrische Wicklungen.

Des Weiteren kann es zweckmäßig sein, wenn die Biegeachse um ein Ausmaß, welches in etwa der halben Dicke des Leiterdrahtes entspricht, gegenüber der Längsachse des Leiterdrahtes versetzt angeordnet ist, bzw. wenn die Biegeachse in einer Ebene liegt, die eine Fortführung einer Flachseite des in seinem Querschnitt mehreckig ausgebildeten Leiterdrahtes darstellt, oder parallel und beabstandet zu einer Flachseite des in seinem Querschnitt mehreckig ausgebildeten Leiterdrahtes verläuft. Dadurch kann in einfacher Art und Weise im Bügelabschnitt des Formstabes ein vorbestimmter seitlicher Versatz ausgebildet werden, mit welchem ein Lagensprung in Bezug auf die Schenkelabschnitte des letztendlichen Formstabes umgesetzt werden kann. Je nach gewünschter Dimension des seitlichen Versatzes im Leiterdraht kann die genannte Beabstandung bzw. deren Ausmaß nur ein Bruchteil der Dicke des Leiterdrahtes sein, oder ein Mehrfaches der Dicke des Leiterdrahtes betragen. Von Vorteil ist weiters, dass dadurch auch die Gefahr einer Zerstörung bzw. einer starken Beeinträchtigung der äußeren Isolationschicht des Leiterdrahtes gering gehalten werden kann.

Vorteilhaft ist auch eine Ausprägung, gemäß welcher das Verwinden oder Umschlagen des Leiterdrahtes innerhalb eines Teilabschnittes erfolgt, welcher weniger als 20%, insbesondere weniger als 10%, vorzugsweise zwischen 1% bis 5% der Länge des bereitgestellten elektrischen Leiterdrahtes beträgt. Dadurch ist es möglich, elektrische Wicklungen mit einem möglichst kompakten Wicklungskopf bzw. mit in axialer Richtung möglichst kurzem Überstand gegenüber dem axialen Stirnende des Statorkerns aufzubauen.

Ferner kann vorgesehen sein, dass im Bereitstellungsschritt gerade verlaufende Leiterdrähte vorbestimmter Länge bereitgestellt werden und diese elektrischen Leiterdrähte in ihrem Längsmittelabschnitt umgeformt, insbesondere umgeschlagen werden. Demnach können bereits abgelängte, relativ kurze Einzelstücke verarbeitet werden, wodurch die Prozesszuverlässigkeit gesteigert und der apparative Aufwand gering gehalten werden kann.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass im Schwenkbiege- oder Umschlagsschritt der erste oder zweite Abschnitt des Leiterdrahtes um die Biegeachse gebogen wird, oder der erste und zweite Abschnitt des Leiterdrahtes zumindest phasenweise gleichzeitig um die Biegeachse gebogen werden. Einerseits kann dadurch eine möglichst einfache, vorrichtungstechnische Umsetzung erzielt werden. Andererseits ist es ermöglicht, die Taktzeiten zur Bereitstellung entsprechender Formstäbe möglichst kurz zu halten.

Gemäß einer Weiterbildung ist es möglich, dass im ersten und zweiten Abschnitt des Leiterdrahtes jeweils zumindest eine weitere Biegung zur Bildung eines im Wesentlichen U-förmigen Formstabes bzw. Leitersegments hergestellt wird. Vor allem dann, wenn diese weiteren Biegeschritte ohne einem erneuten Greifen bzw. Wiederaufnehmen des verfahrensgemäß vorgeformten Formstabes erfolgen, können möglichst geringe Fertigungstoleranzen und kurze Taktzeiten erzielt werden.

Ferner kann es zweckmäßig sein, wenn der erste und zweite Abschnitt des Leiterdrahtes vor der Ausführung der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung achsfluchtend verlaufen, im Zuge der Herstellung des Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes aber zu keinem Zeitpunkt achsparallel verlaufen. Demnach wird

vorab keine U-Form des Leiterdrahtes mit parallel oder annähernd verlaufenden Schenkeln geschaffen, welche Schenkel dann auseinandergezogen bzw. voneinander zueinander distanziert werden müssten, um die Dachform bzw. den V-förmigen Abschnitt eines Hair-Pin herzustellen. Im Gegensatz dazu ist eine vorteilhafte Alternative zur Schaffung der Dach- bzw. Giebelform des Formstabes und zur Schaffung des Seitenversatzes im Bügelabschnitt des Formstabes angegeben. **Der Ausdruck „achsparell“ schließt dabei „achsfluchtend“ ausdrücklich aus.**

Entsprechend einer vorteilhaften Maßnahme ist vorgesehen, dass eine Mehrzahl von parallel zueinander positionierten Leiterdrähten bereitgestellt wird und diese Leiterdrähte simultan umgeformt werden. Dadurch kann eine rationelle Fertigung der Formstäbe begünstigt werden. Insbesondere ist es in Kombination mit den angegebenen Verfahrensmaßnahmen in einfacher Art und Weise auch möglich, mehrere Leiterelemente, beispielsweise fünf, zehn oder auch mehr Leiterelemente, in einem gemeinsamen Fertigungsschritt mit hoher Prozesssicherheit zu formen. Die Taktzeiten je Formstab können dadurch möglichst kurz gehalten werden.

Weiters ist es möglich, die Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung aus zwei Umschlagbewegungen zusammensetzen, wobei jede dieser Umschlagbewegungen um einen Winkel von etwa 90° ausgeführt wird und beide Umschlagbewegungen an zueinander distanzierten Längspositionen des Leiterdrahtes ausgeführt werden. Dadurch können Formstäbe gefertigt werden, bei welchen das Ausmaß des seitlichen Versatz zwischen den Leiterabschnitten den jeweiligen Anforderungen einfach und rasch angepasst werden kann. Insbesondere können dadurch Formstäbe mit unterschiedlicher Ausprägung ihres Seitenversatzes rationell und prozesssicher gefertigt werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch durch einen anspruchsgemäß geformten Formstab gelöst.

Ein solcher Formstab ist bevorzugt aus einem elektrischen Leiterdraht mit mehr-eckigem Querschnitt gebildet und stellt ein Formstab-Rohteil bzw. ein Halbprodukt

dar, welches noch weiter zu bearbeiten bzw. zusätzlich zu formen ist, um letztendlich als Formstab für den Einsatz in elektrischen Wicklungen fungieren zu können, insbesondere in Statorwicklungen von elektrischen Maschinen eingesetzt werden zu können. Dieser Formstab umfasst einen Verwindungsabschnitt, in welchem der Leiterdraht in Bezug zu dessen Längsachse um einen Winkel zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° , verwunden ist. In diesem Verwindungsabschnitt ist zugleich ein Krümmungsabschnitt des Leiterdrahtes bzw. Formstabes ausgebildet, sodass an den Krümmungsabschnitt anschließende erste und zweite Abschnitte des Leiterdrahtes winkelig zueinander orientiert sind. Zudem ist im kombinierten Verwindungs- und Krümmungsabschnitt des Leiterdrahtes ein seitlicher Versatz zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt des Leiterdrahtes ausgebildet.

Formstäbe mit einem solchen integral ausgeführten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnitt ermöglichen den Aufbau von elektrischen Wicklungen mit möglichst kompaktem bzw. axial möglichst kurzem Überstand gegenüber dem axialen Stirnende des Statorkerns. Insbesondere kann dadurch eine kurze axiale Baulänge des Stators bzw. einer damit aufgebauten elektrischen Maschine erzielt werden. Darüber hinaus können derartige Formstäbe rationell und prozesssicher gefertigt werden. Vor allem der Bügel- bzw. Verbindungsabschnitt zwischen den Schenkelabschnitten eines solchen Formstabes kann eine hohe Wiederholgenauigkeit aufweisen bzw. innerhalb enger Maßtoleranzen liegen. Ein entsprechender Formstab ermöglicht außerdem einen adäquaten Lagensprung in Bezug auf seine beiden Schenkelabschnitte, also die Platzierung der Schenkelabschnitte in radial unterschiedlichen Lagen der herzustellen Wicklung und somit einen kompakten bzw. raumsparenden Aufbau der elektrischen Wicklung.

Insbesondere kann es zweckmäßig sein, wenn mittels dem seitlichen Versatz die Längsachsen des ersten und zweiten Abschnittes des Leiterdrahtes in etwa um die Dicke des Leiterdrahtes zueinander versetzt verlaufen. Dadurch kann ein geometrisch klar definierter Lagensprung von Eins zwischen den Schenkelabschnitten eines im Wesentlichen U-förmigen Formstabes erreicht werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Leiterdraht einen mehreckigen, insbesondere einen rechteckförmigen Querschnitt aufweist. Dadurch kann ein hoher Füllgrad mit Leiterdraht in Bezug auf Aufnahmenuten mit rechteckigem Querschnitt in einem Stator Kern erzielt werden. Durch die anspruchsgemäße Formgebung des mehreckigen Leiterdrahtes bzw. Formstabes können trotzdem möglichst kompakte bzw. in axialer Richtung möglichst kurz aufbauende Wicklungsköpfe bei einer damit aufzubauenden, elektrischen Wicklung erzielt werden.

Die Erfindung betrifft auch einen Stator einer elektrischen Maschine, mit einer elektrischen Wicklung welche aus einer Mehrzahl von Formstäben aus elektrischen Leiterdraht gebildet ist, wobei zumindest einzelne der Formstäbe gemäß den vorstehenden Definitionen ausgeführt sind. Die damit erzielbaren technischen Wirkungen und Vorteile sind den vorstehenden und den nachfolgenden Beschreibungsteilen zu entnehmen.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 einen aus dem Stand der Technik bekannten Stator einer elektrischen Maschine in perspektivischer Darstellung;
- Fig. 2a einen Formstab aus elektrischem Leiterdraht, wie er in der elektrischen Wicklung des Stators nach Fig. 1 eingesetzt wird;
- Fig. 2b einen Abschnitt des Formstabes nach Fig. 2a in Draufsicht gemäß Pfeil „Fig. 2b“ in Fig. 2a;
- Fig. 3 einen erfindungsgemäß ausgeführten Stator für eine elektrische Maschine in perspektivischer Darstellung;
- Fig. 4a einen Formstab aus elektrischem Leiterdraht, wie er in der elektrischen Wicklung des Stators nach Fig. 3 eingesetzt wird;

- Fig. 4b einen Abschnitt des Formstabes nach Fig. 4a in Draufsicht gemäß Pfeil „Fig. 4b“ in Fig. 4a;
- Fig. 5 eine Gegenüberstellung des Wicklungskopfes beim Stator nach Fig. 1 und des Wicklungskopfes beim Stator nach Fig. 3;
- Fig. 6 eine Darstellung des Biegeschemas und Biegeverfahrens zur Bereitstellung eines Formstab-Halbfabrikats bzw. Formstab-Rohteils;
- Fig. 7 das Biegeschema und Biegeverfahren nach Fig. 6 in Ansicht gemäß Pfeil „Fig. 6“ in Fig. 6;
- Fig. 8 einzelne Phasen eines ursprünglich geraden elektrischen Leiterdrahtes, der gemäß dem angegebenen Verfahren umgeformt wird.

Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

In Fig. 1 ist ein Halbfabrikat eines aus dem Stand der Technik bekannten Stators 1 für eine elektrische Maschine beispielhaft veranschaulicht. Dieser Stator 1 hat bereits verschiedene Fertigungsstufen durchlaufen, muss aber noch weiteren Fertigungsstufen unterzogen werden, um letztendlich als einsatzfähiger Stator einer elektrischen Maschine, insbesondere als Stator eines Elektromotors, verwendbar zu sein.

Ein solcher Stator 1 umfasst eine elektrische Wicklung 2, welche in Verbindung mit einem annähernd ringförmigen bzw. hohlzylindrischen Stator Kern 3 für die Erzeugung von umlaufenden Magnetfeldern vorgesehen ist, wenn die Wicklungs-

stränge der Wicklung 2 mit elektrischer Energie, insbesondere mit ein- oder mehrphasiger Wechselspannung beaufschlagt werden. Der Stator Kern 3 ist typischerweise als geschichtetes Paket aus einzelnen, gestapelten Blechlamellen ausgeführt.

Die elektrische Wicklung 2 ist bei der dargestellten Ausführungsform als sogenannte Formstabwicklung ausgeführt, welche fallweise auch als Stabwicklung bezeichnet wird. Insbesondere ist hierbei die elektrische Wicklung 2 aus einer Vielzahl von einzelnen Formstäben 4 zusammengesetzt, wobei ein solcher Formstab 4 in Fig. 2a und in Fig. 2b beispielhaft veranschaulicht ist. Derartige Formstäbe 4 sind dabei zumindest abschnittsweise in Aufnahmenuten 5 des Stator Kerns 3 aufgenommen. Die in den Stator Kern 3 eingefügten Formstäbe 4 sind weiters elektrisch miteinander verbunden bzw. verschaltet, um so die entsprechende elektrische Wicklung 2 bzw. deren Wicklungsstränge zu bilden. Die jeweils erforderlichen Anschlussstellen zur Beaufschlagung mit elektrischer Energie sind der besseren Übersichtlichkeit wegen in Fig. 1, aber auch in Fig. 3, nicht dargestellt.

Die Wicklung 2 kann hinsichtlich ihres elektrischen Aufbaus als sogenannte Wellenwicklung ausgeführt sein. Die verwendeten Formstäbe 4 weisen eine annähernd U-förmige Grundform auf und werden allgemein auch als sogenannte Hair-Pins bezeichnet. Mit solchen Formstäben 4 in Art von Hair-Pins kann eine Wicklung 2 bzw. ein Stator 1 mit einer Kontaktierungs- bzw. Schweißseite 6 und einer hierzu gegenüberliegenden Bügelseite 7, welche auch als Hair-Pin-Seite oder als Kronenseite bezeichnet werden kann, aufgebaut werden. Bevorzugt ist die Bügelseite 7 völlig frei, oder zumindest überwiegend frei von Kontaktierungs- bzw. Schweißstellen ausgeführt und einem ersten axialen Stirnende 8 des Stator Kerns 3 nächstliegend zugeordnet. Demgegenüber ist die Kontaktierungs- bzw. Schweißseite 6, an welcher Enden der einzelnen Formstäbe 4 in spezifischer Weise elektrisch gekoppelt werden, dem gegenüberliegenden zweiten axialen Stirnende 9 des Stator Kerns 3 nächstliegend zugeordnet. Eine Statormittelachse 10 verläuft zentral durch den inneren Hohlraum des im Wesentlichen hohlzylindrischen Stator Kerns 3.

Die jeweiligen Formstäbe 4 zur Ausbildung der elektrischen Wicklung 2 sind aus einem elektrisch leitfähigen Leiterdraht 11 gebildet. Der Leiterdraht 11 kann dabei aus Kupfer, aus Aluminium oder aus sonstigen elektrisch gut leitfähigen Materialien oder Legierungen gebildet sein und an überwiegenden Abschnitten seiner Mantelfläche eine an sich bekannte elektrische Isolationsschicht umfassen, welche typischerweise aus einem Kunststoff gebildet ist. Lediglich die zur Kontaktierung bzw. Verschweißung vorgesehenen Endabschnitte 12 des Leiterdrahtes 11 können zumindest abschnittsweise unisoliert ausgeführt sein bzw. abisoliert worden sein, um eine niederohmige elektrische Verbindung mit benachbarten bzw. angrenzenden Formstäben 4 aufbauen zu können.

Bevorzugt ist der Leiterdraht 11 in Bezug auf seine Querschnittsfläche mehreckig ausgebildet, insbesondere zumindest annähernd rechteckförmig ausgeführt. Das Dicken- zu Breitenverhältnis eines rechteckförmigen Leiterdrahtes 11 kann dabei zwischen 1:1,5 und 1:3 betragen, vorzugsweise etwa 1:2 sein.

Der in Fig. 2a mit vollen Linien beispielhaft dargestellte, im Wesentlichen U-förmige Formstab 4 kann insbesondere ein Leitersegment in einer herzustellenden elektrischen Wicklung 2, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist, ausbilden. Der Formstab 4 gemäß Fig. 2a ist dabei bereits mehreren Bearbeitungsschritten, beispielsweise Biegeschritten und Abisolierungsschritten unterworfen worden, um aus einem ursprünglich geradlinigen, insbesondere gestreckten, elektrischen Leiterdraht 11 die dargestellte Ausführung und Formgebung zu erhalten.

Ein solcher im Wesentlichen U-förmiger Formstab 4 ist dabei nach mehreren Biegeschritten derart ausgeführt, wie er in Fig. 2a veranschaulicht ist, wobei zumindest einzelne der insgesamt erforderlichen Biegeschritte erst nach dem Einsetzen in die jeweiligen Aufnahmenuten 4 des Stator kernels 3 ausgeführt werden. Insbesondere die Abschnitte des Formstabes 4, welche der Kontaktierungs- bzw. Schweißseite 6 des Stator kernels 3 nächstliegend zugeordnet sind, werden typischerweise erst dann geformt, wenn der zuvor im Wesentlichen U-förmige Formstab 4 in den Stator kern 3 bzw. in die jeweiligen Aufnahmenuten 5 eingefügt wurde. Diese quasi nachträglich geformten Abschnitte des Formstabes 4 sind in Fig. 2a und in Fig. 4a mit strichlierten Linien veranschaulicht worden. Ein gemäß

dem angegebenen Verfahren geformter bzw. hergestellter Formstab 4 kann somit auch als Formstab-Rohling bezeichnet werden.

Ein gattungsgemäßer Formstab 4 bzw. Hair-Pin umfasst zwei im Wesentlichen parallel zueinander verlaufende Schenkelabschnitte 13, welche zur Aufnahme in Aufnahmenuten 5 des Stator kernels 3 vorgesehen sind. Die beiden Schenkelabschnitte 13 sind mit einem Basis- bzw. Bügelabschnitt 14 des Formstabes 3 einteilig verbunden. Insbesondere sind ausgehend von dem zentralen Basis- bzw. Bügelabschnitt 14 zwei im Wesentlichen achsparallel zueinander verlaufende Schenkelabschnitte 13 derart ausgeformt, dass die im Wesentlichen U-förmige Grundform des Formstabes 4 bzw. des entsprechenden Formstab-Rohlings gegeben ist.

An den vom Basis- bzw. Bügelabschnitt 14 abgewandten Endabschnitten der beiden Schenkelabschnitte 13 können zusätzliche Biegeabschnitte 15 ausgeführt sein, wie dies mit strichlierten Linien beispielhaft dargestellt wurde. Diese zusätzlichen Biegeabschnitte 15 können annähernd L- oder Z-förmig verlaufen und werden typischerweise erst nach dem Einsetzen des U-förmigen Formstabes 4 in den Stator kern 3 entsprechend geformt.

Beispielsgemäß ist eine sogenannte sechslagige Wicklung 2 im Stator kern 3 aufgenommen. Demgemäß sind je Aufnahme nut 5 sechs radial zur Stator mittelachse 10 aneinander gereihte Schenkelabschnitte 13 angeordnet, welche Schenkelabschnitte 13 von einzelnen Formstäben 4 der elektrischen Wicklung 2 stammen. Alle in einem einheitlichen Radius zur Stator mittelachse 10 liegenden Schenkelabschnitte 13 können dabei als Wicklungslage bzw. kurz als Lage bezeichnet werden. Zum Aufbau der elektrischen Wicklung 2 ist es zweckmäßig, wenn die Schenkelabschnitte 13 eines jeden Formstabes 4 Lagensprünge ausführen, also in Bezug auf die Radialrichtung zur Stator mittelachse 10 in unterschiedlichen Lagen der Wicklung 2 angeordnet sind. Ein solcher Lagensprung weist üblicherweise eine Sprungweite von 1 auf, das heißt einer der beiden Schenkelabschnitte 13 eines Formstabes 4 ist gegenüber dem anderen Schenkelabschnitt 13 dieses Formstabes 4 um genau eine Lage radial versetzt angeordnet. Zudem sind die beiden Schenkelabschnitte 13 jedes Formstabes 4 in Bezug auf die Kreisumfangsrichtung des Stator kernels 3 in zueinander distanzierten Aufnahme nuten 5 aufgenommen.

Um dies geordnet zu bewerkstelligen, ist typischerweise im Bügelabschnitt 14 des Formstabes 4 ein Seitenversatz 16 im Leiterdraht 11 ausgeführt. Ein solcher Seitenversatz 16 gemäß dem Stand der Technik ist in Draufsicht – gemäß Fig. 2b – im Wesentlichen S- bzw. Z-förmig ausgebildet. Ein solcher Seitenversatz 16 gemäß dem Stand der Technik wird entweder durch zwangsgeführte Umformungswerkzeuge für den Leiterdraht 11 oder durch ein Präge- bzw. Gesenkbiegeverfahren gegenüber dem Leiterdraht 11 hergestellt.

Alternativ kann ein solcher Seitenversatz 16 entsprechend dem Stand der Technik durch im Ausgangszustand U-förmige Leiterabschnitte gebildet werden, welche eng aneinander liegende Schenkelabschnitte aufweisen. Die Schenkelabschnitte dieser U- bzw. spangenförmigen Leiterabschnitte werden nachfolgend parallel zu deren Mittelebene auseinander gezogen. Derartige Twist-Werkzeuge und Verfahren sind beispielsweise aus der zuvor bereits genannten EP2591538B1 bekannt. Dabei werden die Schenkel von ursprünglich spangenförmigen Leiterschleifen voneinander distanziert, um so Formstäbe gemäß Fig. 2a, 2b mit dem im Bügelabschnitt 15 ausgebildeten, S- bzw. Z-förmigen Seitenversatz herzustellen. Die aus dem Stand der Technik bekannten Formstäbe 4 mit S- bzw. Z-förmigem Seitenversatz 16 und deren Herstellung mit den hierfür erforderlichen Twist-Werkzeugen sind jedoch nur bedingt zufriedenstellend.

In den Fig. 3, 4a und 4b ist ein Beispiel eines erfindungsgemäß ausgeführten Stators 1 bzw. Formstabes 4 (Fig. 4a, b) perspektivisch veranschaulicht. Für vorhergehend beschriebene Teile werden dabei die gleichen Bezugszeichen verwendet und sind die vorhergehenden Beschreibungsteile sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen übertragbar.

Der Formstab 4 gemäß Fig. 4a weist in seinem Bügelabschnitt 14, das heißt in jenem Abschnitt, welcher die beiden achsparallel verlaufenden Schenkelabschnitte 13 einteilig miteinander verbindet, einen Verwindungsabschnitt 17 auf. In diesem Verwindungsabschnitt 17 ist der Leiterdraht 11 des Formstabes 4 in Bezug auf die Längsachse 18 des Leiterdrahtes 11 um einen Winkel zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° , verwunden.

Dabei ist innerhalb dieses Verwindungsabschnittes 17 zugleich ein Krümmungsabschnitt 19 des Leiterdrahtes 11 bzw. Formstabes 4 ausgeführt. Insbesondere ist im Leiterdraht 11 ein sich überschneidender bzw. ein integraler Verwindungs- und Krümmungsabschnitt 17, 19 geschaffen, wie dies in Fig. 4a, b beispielhaft gezeigt ist.

Demzufolge sind aufgrund dieses Krümmungsabschnittes 19 daran anschließende erste und zweite Abschnitte 21, 22 des Leiterdrahtes 11 winkelig zueinander orientiert. Zudem kann vorgesehen sein, dass auch die ersten und/oder zweiten Abschnitte 20, 21 per se eine bogenförmige Krümmung aufweisen, wie dies Fig. 4a und auch Fig. 4b entnehmbar ist. Der erste und/oder zweite Abschnitt 20, 21 weisen dabei einen größeren Krümmungsradius auf, als der dazwischenliegende Krümmungsabschnitt 19.

Der mittels des Verwindungsabschnittes 17 bereitgestellte bzw. implementierte, seitliche Versatz 16 zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt 20, 21 des Leiterdrahtes 11 entspricht in etwa der Dicke 22 des Leiterdrahtes. Insbesondere ist mittels dem Verwindungsabschnitt 17 im Leiterdraht 11 bewerkstelligt, dass die Längsachsen 18 des ersten und zweiten Abschnittes 20, 21 in etwa um die Dicke 22 des Leiterdrahtes 11 seitlich zueinander versetzt verlaufen. Dieser seitliche Versatz 16 nimmt dabei auf eine Querebene 23 Bezug, welche von der Statormittelachse 10 rechtwinkelig durchsetzt wird bzw. welche Querebene 23 eine rechtwinkelig verlaufende Querschnittsebene zu den beiden Schenkelabschnitten 13 des Formstabes 4 darstellt.

Der integral bzw. gemeinsam umgesetzte Verwindungs- und Krümmungsabschnitt 17, 19 des erfindungsgemäßen Formstabes 4 weist dabei einen relativ gleichbleibenden bzw. homogenen Krümmungsverlauf auf. Insbesondere weist der kombinierte Verwindungs- und Krümmungsabschnitt 17, 19 des verbesserten Formstabes 4 im Gegensatz zu einem Formstab 4 gemäß dem Stand der Technik (Fig. 2a) in seinem mittleren Abschnitt entweder keine oder eine deutlich schwächere Zuspitzung bzw. höckerartige Erhebung auf. Eine vergleichsweise markante Zuspitzung bzw. höckerartige Erhebung tritt im mittleren Abschnitt der Formstäbe 4 gemäß Fig. 2a dann auf, wenn diese aus einer anfänglich U-förmigen Leiterschleife

gebildet sind, deren Schenkeln ursprünglich relativ eng zueinander verlaufen sind und welche Schenkel nachfolgend voneinander distanziert wurden, wie dies auch den Fig. 2, 3 der zuvor genannten EP2591538B1 zu entnehmen ist.

Ein erfindungsgemäß ausgeführter Formstab 4 mit einem integral ausgeformtem Verwindungs- und Krümmungsabschnitt 17, 19 - Fig. 4a und Fig. 4b - ermöglicht dabei die Ausbildung eines Wicklungskopfes 24 einer Statorwicklung, der eine geringere axiale Höhe 25 aufweist (rechte Abbildung in Fig. 5), als ein Wicklungskopf mit Formstäben 4 nach dem Stand der Technik (linke Abbildung in Fig. 5). Durch die erfindungsgemäße Ausführung kann die axiale Baulänge des Stators 1 bzw. eines damit aufgebauten Elektromotors vergleichsweise gering gehalten werden. Zudem können dadurch Einsparungen an Leiterdraht 11 und Optimierungen hinsichtlich Gewicht und Materialkosten erzielt werden.

Der Krümmungsabschnitt 19 und auch der seitliche Versatz 16 im Bügelabschnitt 14 bzw. im mittleren Abschnitt (dem sogenannten Dach- bzw. Giebelbereich) des erfindungsgemäßen Formstabes 4 – Fig. 4a – wird dabei im Zuge der Ausbildung des Verwindungsabschnittes 17 geformt, sodass kein gesonderter Biegeschritt ausgeführt werden muss, um den Krümmungsabschnitt 19 und auch den seitlichen Versatz 16 im Bügelabschnitt 14 bzw. im Mittenabschnitt des Formstabes 4 zu formen.

Ein Herstellungsverfahren, welches die optimierte Schaffung eines entsprechenden Formstabes 4 ermöglicht, ist nachstehend erläutert:

Das entsprechende Herstellungsverfahren für den Formstab 4 ist dabei nur als Teilprozess zu verstehen. Insbesondere ist ein solcher Formstab 4 noch weiter zu bearbeiten bzw. noch weiteren Fertigungsschritten zu unterziehen und stellt der mit dem angegebenen Verfahren erzeugte Formstab 4 lediglich einen Formstab-Rohling bzw. ein Halbprodukt dar. Der entsprechende Formstab-Rohling 4 ist dabei aus einem elektrischen Leiterdraht 11 gebildet. Ein solcher Formstab 4 ist erst nach erfolgter Weiterverarbeitung für den Einsatz als Leitersegment in einer elektrischen Wicklung, insbesondere in einer Statorwicklung einer elektrischen Maschine geeignet.

Im Zuge dieses Bereitstellungsverfahrens wird ein vorzugsweise gerader bzw. langgestreckter Leiterdraht 11 mit einem bevorzugt mehreckigen, insbesondere rechteckigen Querschnitt bereitgestellt.

Dieser Leiterdraht 11 wird, wie in Fig. 6 schematisch und beispielhaft veranschaulicht, relativ zu einer Biegeachse 26 positioniert. Diese Biegeachse 26 kann dabei als virtuelle bzw. gedachte Biegeachse verstanden werden. Die Positionierung bzw. Ausrichtung des Leiterdrahtes 11 relativ zur Biegeachse 26 erfolgt dabei derart, dass die Längsachse 18 des geradlinigen Leiterdrahtes 11 und die Biegeachse 26 in einem Winkel 27 zueinander verlaufen. Insbesondere erfolgt dabei ein schiefwinkeliges Anordnen bzw. Ausrichten des Leiterdrahtes 11 gegenüber der Biegeachse 26. Der Winkel 27 zwischen der Längsachse 11 und der Biegeachse 26 kann dabei zwischen 10° und 80° betragen, nicht jedoch 0° und 90° . Die geplante bzw. herzustellende Biegekante im Leiterdraht 11 verläuft somit schiefwinkelig zur Längsachse 18 des Leiterdrahtes 11. Das Ausmaß des Winkels 27 ist dabei für den **gewünschten „Dachwinkel“ bzw. Einschlusswinkel zwischen** den Abschnitten 20 und 21 des herzustellenden Formstabes 4 bestimmend. Der jeweils gewählte Winkel 27 kann aber auch für den Abstand bzw. Pitch zwischen den beiden Schenkelabschnitten 13 eines herzustellenden Formstabes 4 bestimmend bzw. mitbestimmend sein.

Die Positionierung bzw. Anordnung zwischen dem Leiterdraht 11 und der Biegeachse 26 erfolgt weiters derart, dass sich die Längsachse 18 des Leiterdrahtes 11 und die Biegeachse 26 kreuzen, insbesondere in etwa in Bezug auf den Längsmittenabschnitt des Leiterdrahtes 11 schneiden, wie dies in Fig. 6 beispielhaft veranschaulicht wurde. Demgemäß wird durch diesen Positionierungs- bzw. Ausrichtungsschritt in Bezug auf die virtuelle Biegeachse 26 ein erster und ein zweiter Abschnitt 20, 21 des zu bearbeitenden bzw. umzuformenden Leiterdrahtes 11 definiert.

Nach der entsprechenden Positionierung bzw. Ausrichtung wird der Leiterdraht 11 vorzugsweise in seinem ersten und in seinem zweiten Abschnitt 20, 21 gehalten bzw. ergriffen oder zumindest gestützt. Hierzu kann eine in Fig. 6 schematisch

dargestellte Halte- oder Greifvorrichtung 28, 29 vorgesehen sein. Das entsprechende Halte-, Greif- oder Abstützwerkzeug für die Abschnitte 20, 21 des Leiterdrahtes 11 kann dabei – wie dargestellt – in einem radialen Abstand zur Biegeachse 26 angeordnet sein, oder zumindest teilweise bis zur Biegeachse 26 oder nahe zur Biegeachse 26 reichen. Solche Halte-, Greif- oder Abstützwerkzeuge können finger- bzw. gabelartige Elemente umfassen, welche im Zuge des Umformvorganges des Leiterdrahtes 11 definierte Relativbewegungen des Leiterdrahtes gegenüber dem genannten Werkzeug erlauben.

Nach diesem Halte-, Greif- oder Abstützvorgang gegenüber einem entsprechend ausgerichteten Leiterdraht 11 wird eine Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung 30 zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt 20, 21 des Leiterdrahtes 11 ausgeführt. Dabei wird der Leiterdraht 11 im Nahbereich zur virtuellen Biegeachse 26 umgeschlagen, insbesondere verwunden bzw. tordiert. Der Schwenkwinkel 31 – Fig. 7 –, welcher zwischen den beiden Abschnitten 20, 21 des Leiterdrahtes 11 ausgeführt wird bzw. in Bezug auf die Biegeachse 26 mittels der Halte- oder Greifvorrichtung 28, 29 umgesetzt wird, beträgt zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° . Diese Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung 30 um die Biegeachse 26 ermöglicht eine simultane bzw. gemeinsame Bildung eines kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes 17, 19 im Leiterdraht 11. Insbesondere wird dadurch neben der Schaffung des Krümmungsabschnittes 19 mit dem winkelig zueinander verlaufenden ersten und zweiten Abschnitt 20, 21, auch der Verwindungsabschnitt 17 und der seitliche Versatz 16 im Leiterdraht 11 geschaffen. Demzufolge wird durch die angegebenen Maßnahmen ein integraler Verwindungs- und auch Krümmungsabschnitt 17, 19 im Leiterdraht 11 geschaffen und in diesem Vorgang auch noch der seitliche Versatz 16 zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt 20, 21 des Leiterdrahtes 11 ausgebildet, wie dies aus einer Zusammenschau der Fig. 6, 7 und auch aus Fig. 8 ersichtlich ist.

Durch die angegebenen Maßnahmen können also in nur einem Bearbeitungsschritt die sogenannte Dach- bzw. Giebelform des Formstabes 4, insbesondere seine winkelig zueinander verlaufenden ersten und zweiten Abschnitte 20, 21 geschaffen werden und zugleich der seitliche Versatz 16 im Leiterdraht 11 umgesetzt

werden. Dies wird insbesondere durch die schiefwinkelige Ausrichtung bzw. Positionierung des Leiterdrahtes 11 gegenüber der Biegeachse 26 und durch die Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung 30 gegenüber dieser Biegeachse 26 erzielt. Letztendlich wird durch diese Verfahrensmaßnahmen der integral bzw. simultan ausgebildete Verwindungs- und auch Krümmungsabschnitt 17, 19 mitsamt dem seitlichen Versatz 16 im Leiterdraht 11, insbesondere im mittleren Abschnitt des Bügelabschnittes 14, rationell geschaffen. Die sogenannte Dach- bzw. Giebelform und der seitlicher Versatz 16 im Bereich des Bügelabschnittes 14 des Formstabes 4 können somit wirtschaftlich und auch prozesssicher geformt werden.

Zweckmäßig kann es sein, wenn im Zuge dieses Umformvorganges für den Leiterdrahtes 11 die faktisch imaginäre Biegeachse 26 in etwa um die halbe Dicke 22 des Leiterdrahtes 11 gegenüber der Längsachse 18 des Leiterdrahtes 11 versetzt angeordnet ist. Insbesondere ist es zweckmäßig, wenn die Biegeachse 26 in einer Ebene 32 liegt, die eine Fortführung einer der beiden Flachseiten 33 des Leiterdrahtes 11 darstellt, oder welche Ebene 32 parallel und knapp beabstandet zu einer der beiden Flachseiten 33 des im Querschnitt vorzugsweise rechteckigen Leiterdrahtes 11 verläuft. Dadurch wird der seitliche Versatz 16 im Leiterdraht 11 erzeugt, ohne dass erhöhte Gefahr einer Beschädigung der Kunststoff-Isolationsschicht an der Mantelfläche des Leiterdrahtes 11 besteht.

Das Verwinden bzw. Umschlagen des Leiterdrahtes 11 erfolgt dabei innerhalb eines Teilabschnittes 34 des Leiterdrahtes 11, welcher weniger als 20%, insbesondere weniger als 10%, einer Länge 35 des bereitgestellten, elektrischen Leiterdrahtes 11 beträgt. Der Teilabschnitt 34 kann aber auch nur zwischen 1% bis 5% der Länge 35 des Leiterdrahtes 11 betragen, ohne eine Beschädigung der Isolationsschicht des Leiterdrahtes 11 zu verursachen. Demzufolge ist der integrale Verwindungs- und Krümmungsabschnitt 17, 19 in Bezug auf die Länge 35 des Leiterdrahtes 11 relativ kurz bzw. kompakt ausgeführt.

Zweckmäßig ist es, wenn bereits abgelängte bzw. mit definierter Länge 35 bereitgestellte Leiterdrahtstücke umgeformt werden. Insbesondere ist es zweckmäßig, wenn im Zuge des Bereitstellungsschrittes gerade bzw. langgestreckte elektrische Leiterdrähte vorbestimmter Längen 35 bereitgestellt werden und diese elektrischen

Leiterdrähte 11 in etwa in ihrem Längsmittenabschnitt verfahrensgemäß verwunden bzw. umgeschlagen werden.

Bei der Ausführung der verfahrensgemäßen Schwenkbiege- oder Umschlagsbewegung 30 ist es einerseits möglich, dass der erste oder zweite Abschnitt 20, 21 des Leiterdrahtes 11 um die Biegeachse 26 gebogen wird. Alternativ ist es auch möglich, dass der erste und auch der zweite Abschnitt 20, 21 des Leiterdrahtes zumindest phasenweise gleichzeitig um die virtuelle Biegeachse 26 gebogen werden. Dies ist im Wesentlichen davon abhängig, wie die Platzverhältnisse sind bzw. wie die Halte- oder Greifvorrichtungen 28, 29 ausgeführt sind.

Die Darstellungen gemäß den Fig. 6, 7 und auch die in Fig. 8 dargestellten Biege-sequenzen im Zuge der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung 30 veranschaulichen die Schaffung des integrierten bzw. kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes 17, 19 im Leiterdraht 11. Zudem ist es zur Schaffung eines Formstabes 4 gemäß Fig. 4a, 4b erforderlich, dass im ersten und zweiten Abschnitt 20, 21 jeweils zumindest eine weitere Biegung zur Bildung eines im Wesentlichen U-förmigen Leitersegmentes bzw. Formstabes 4 hergestellt wird. Zudem können – wie in Fig. 4a, 4b ersichtlich ist – auch weitere Biegungen im Anschluss an den in den Fig. 6, 7 veranschaulichten Schwenkbiege- oder Umschlag-schritt vorgenommen werden. Einzelne Biegungen für den herzustellenden Formstab 4 können aber auch schon im Vorfeld der angegebenen Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung 30 ausgeführt worden sein. Es können also auch Z- oder L-förmig vorgeformte Leiterdrähte 11, welche die Biegeabschnitte 15 (Fig. 4a) definieren, oder andersartig vorgeformte Leiterdrähte 11 dem anspruchsgemäßen Bereitstellungsverfahren unterzogen werden.

Wie aus einer Zusammenschau der Fig. 6, 7 und auch aus dem Biege- bzw. Umformungsablauf gemäß Fig. 8 ersichtlich ist, verlaufen der erste und zweite Abschnitt 20, 21 des Leiterdrahtes 11 in Zusammenhang mit der Herstellung des Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes 17, 19 zu keinem Zeitpunkt achsparallel zueinander. Insbesondere ist es nicht erforderlich, vorab eine U-Form bzw. eine Spangenform mit parallel zueinander verlaufenden, relativ eng voneinander

beabstandeten Schenkeln zu schaffen, welche Schwenkel dann auseinander gezogen werden müssen, um die Dachform bzw. den V-förmigen Abschnitt eines Hair-Pin herzustellen.

Insbesondere wird durch Verdrehen bzw. Verwinden des Leiterdrahtes 11 um eine schräg gestellte bzw. schräg verlaufende Biegeachse 26, welche zudem um etwas mehr als die halbe Dicke 22 des Leiterdrahtes 11 seitlich versetzt ist, in nur einem Arbeitsgang die gewünschte Dachform sowie der seitliche Versatz 16 im Längsmittenabschnitt bzw. Bügelabschnitt 14 des Leiterdrahtes 11 geschaffen.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

Der Schutzbereich ist durch die Ansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Ansprüche heranzuziehen. Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen können für sich eigenständige erfinderische Lösungen darstellen. Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mitumfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1, oder 5,5 bis 10.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

Bezugszeichenliste

1	Stator	30	Schwenkbiege- oder Um-
2	Wicklung		schlagbewegung
3	Statorkern	31	Schwenkwinkel
4	Formstab	32	Ebene
5	Aufnahmenut	33	Flachseite
6	Kontaktierungs- bzw. Schweiß-	34	Teilabschnitt
	seite	35	Länge
7	Bügelseite		
8	axiales Stirnende		
9	axiales Stirnende		
10	Statormittelachse		
11	Leiterdraht		
12	Endabschnitte		
13	Schenkelabschnitte		
14	Bügelabschnitt		
15	Biegeabschnitte		
16	Versatz		
17	Verwindungsabschnitt		
18	Längsachse		
19	Krümmungsabschnitt		
20	erster Abschnitt		
21	zweiter Abschnitt		
22	Dicke		
23	Querebene		
24	Wicklungskopf		
25	axiale Höhe		
26	Biegeachse		
27	Winkel		
28	Halte- oder Greifvorrichtung		
29	Halte- oder Greifvorrichtung		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen von Formstäben (4) in Art von noch weiter zu bearbeitenden Formstab-Rohteilen aus einem elektrischen Leiterdraht (11), welche Formstäbe (4) für den Einsatz in elektrischen Wicklungen (2) von elektrischen Maschinen, insbesondere in Statorwicklungen, vorgesehen sind, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen von Leiterdraht (11);
- Positionieren des Leiterdrahtes (11) und einer Biegeachse (26) für den Leiterdraht derart zueinander, dass die Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) und die Biegeachse (26) schiefwinkelig zueinander verlaufen, insbesondere in einem Winkel (27) zwischen 10° und 80° zueinander verlaufen, und sich die Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) und die Biegeachse (26) kreuzen, sodass in Bezug auf die Biegeachse (26) ein erster und zweiter Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) definiert sind;
- Halten, Greifen oder Abstützen des Leiterdrahtes (11) in seinem ersten und in seinem zweiten Abschnitt (20, 21);
- Ausführen einer Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) um einen Schwenkwinkel (31) zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° , um die Biegeachse (26) zur simultanen Bildung eines kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes (17, 19) im Leiterdraht (11) und auch eines seitlichen Versatzes (16) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Biegeachse (26) um ein Ausmaß (22'), welches in etwa der halben Dicke (22) des Leiterdrahtes (11) entspricht, gegenüber der Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) versetzt angeordnet ist, oder in einer Ebene (32) liegt, die eine Fortführung einer Flachseite (33) des in seinem Querschnitt mehreckig ausgebildeten Leiterdrahtes (11) darstellt, oder parallel und beabstandet zu einer Flachseite (33) des in seinem Querschnitt mehreckig ausgebildeten Leiterdrahtes (11) verläuft.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Verwinden oder Umschlagen des Leiterdrahtes (11) innerhalb eines Teilabschnittes (34), welcher weniger als 20%, insbesondere weniger als 10%, der Länge (35) des Leiterdrahtes (11) beträgt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereitstellungsschritt gerade verlaufende Leiterdrähte (11) vorbestimmter Länge (35) bereitgestellt werden und diese Leiterdrähte (11) im Zuge der Ausführen der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) in ihrem Längsmittenabschnitt umgeformt werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Schwenkbiege- oder Umschlagschritt (30) der erste oder zweite Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) um die Biegeachse (26) gebogen wird, oder der erste und zweite Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) zumindest phasenweise gleichzeitig um die Biegeachse (26) gebogen werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) jeweils zumindest eine weitere Biegung zur Bildung eines im Wesentlichen U-förmigen Formstabes (4) hergestellt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und zweite Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) vor der Ausführung der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) achsfluchtend verlaufen, im Zuge der Herstellung des Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes (17, 19) aber zu keinem Zeitpunkt achsparallel verlaufen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von parallel zueinander positionierten Leiterdrähten (11) bereitgestellt wird und diese Leiterdrähte (11) durch das Ausführen der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) simultan umgeformt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) aus zwei Umschlagbewegungen zusammengesetzt wird, wobei jede dieser Umschlagbewegungen um einen Winkel von etwa 90° ausgeführt wird und beide Umschlagbewegungen an zueinander distanziierten Längspositionen des Leiterdrahtes (11) ausgeführt werden.
10. Formstab (4) in Art eines noch weiter zu bearbeitenden Formstab-Rohteils aus einem elektrischen Leiterdraht (11), welcher Formstab (4) für den Einsatz in elektrischen Wicklungen (2) von elektrischen Maschinen, insbesondere in Statorwicklungen, vorgesehen ist, insbesondere gefertigt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Formstab (4) einen Verwindungsabschnitt (17) umfasst, in welchem der Leiterdraht (11) in Bezug zu dessen Längsachse (18) um einen Winkel zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° , verwunden ist, und in welchem Verwindungsabschnitt (17) weiters ein Krümmungsabschnitt (19) des Leiterdrahtes (11) ausgebildet ist, sodass an diesen kombinierten Verwindungs- und Krümmungsabschnitt (17, 19) anschließende erste und zweite Abschnitte (20, 21) des Leiterdrahtes (11) winkelig zueinander orientiert sind und im kombinierten Verwindungs- und Krümmungsabschnitt (17, 19) des Leiterdrahtes (11) auch ein seitlicher Versatz (16) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) ausgebildet ist.
11. Formstab nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass mittels dem seitlichen Versatz (16) die Längsachsen (18) des ersten und zweiten Abschnittes (20, 21) des Leiterdrahtes (11) in etwa um die Dicke (22) des Leiterdrahtes (11) zueinander versetzt verlaufen.

12. Formstab nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Leiterdraht (11) einen mehreckigen, insbesondere einen rechteckförmigen Querschnitt aufweist.

13. Stator (1) einer elektrischen Maschine, mit einer elektrischen Wicklung (2) welche aus einer Mehrzahl von Formstäben (4) aus elektrischen Leiterdraht (11) gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einzelne der Formstäbe (4) gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12 ausgeführt sind.

Fig.1

(Stand der Technik)

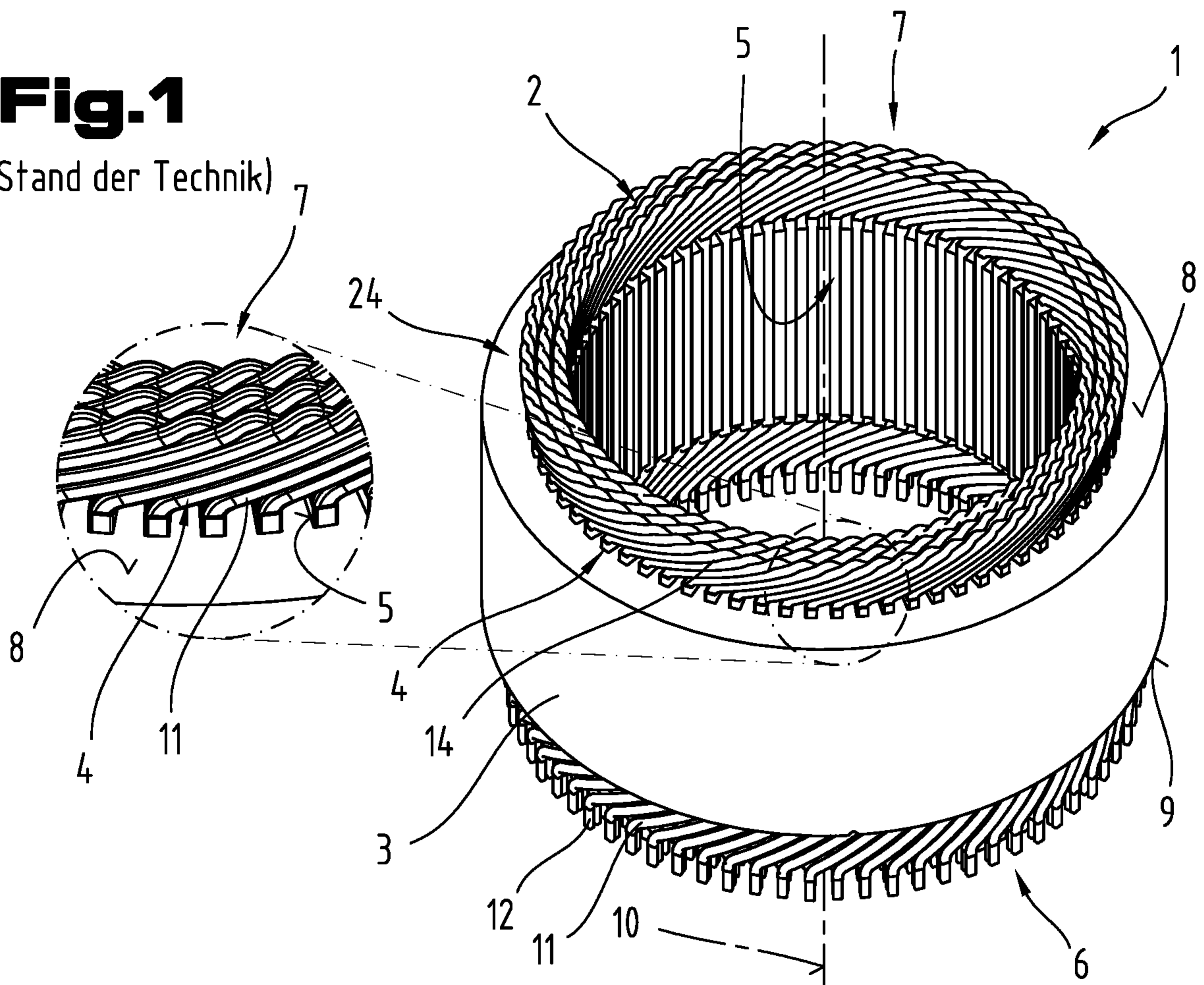


Fig.2a

(Stand der Technik)

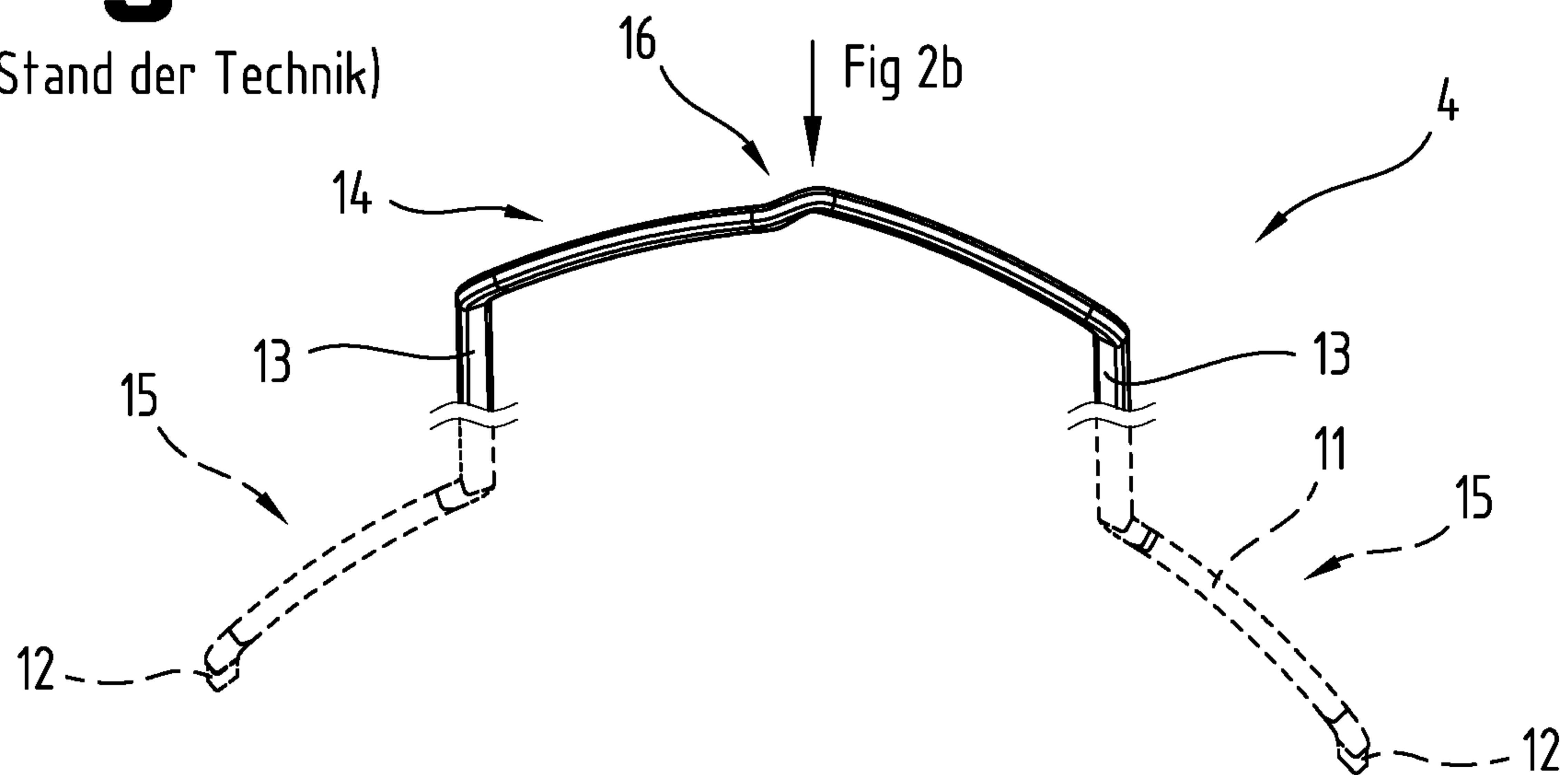


Fig.2b

(Stand der Technik)

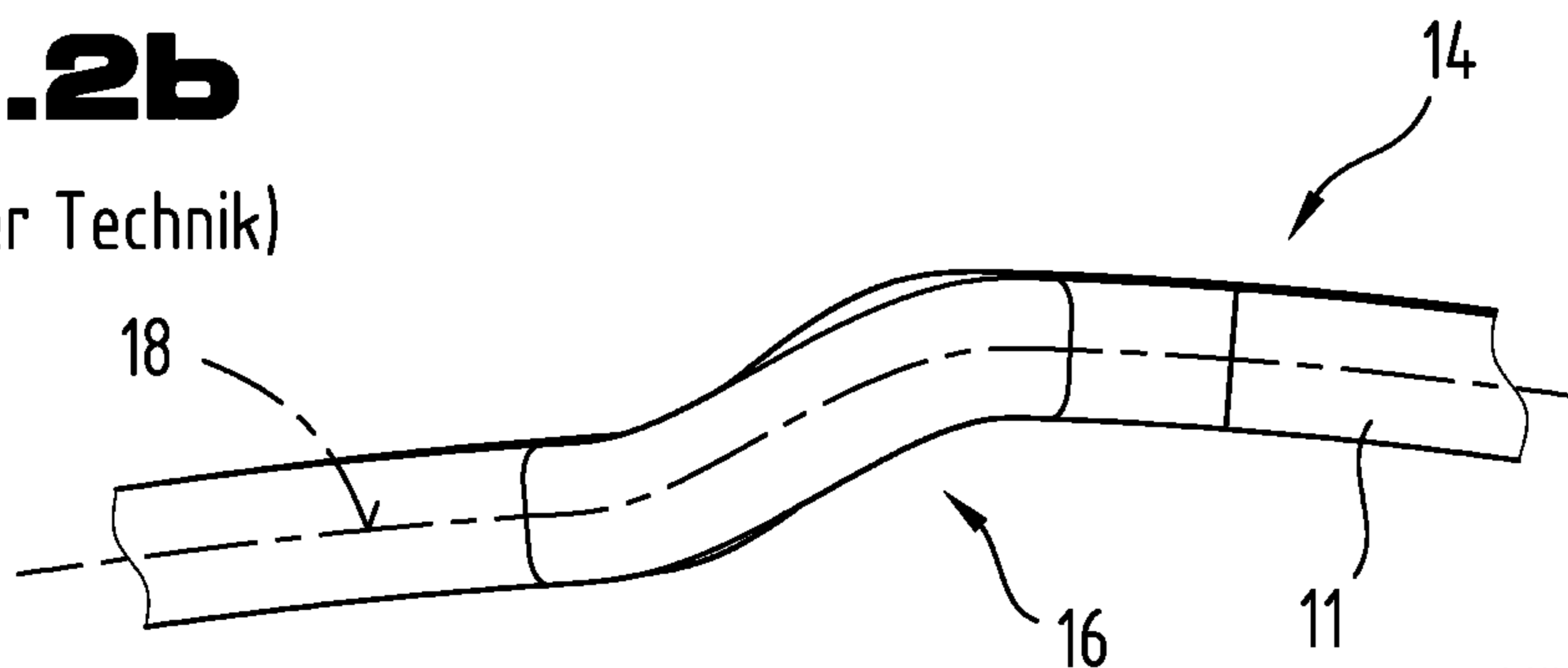


Fig.3

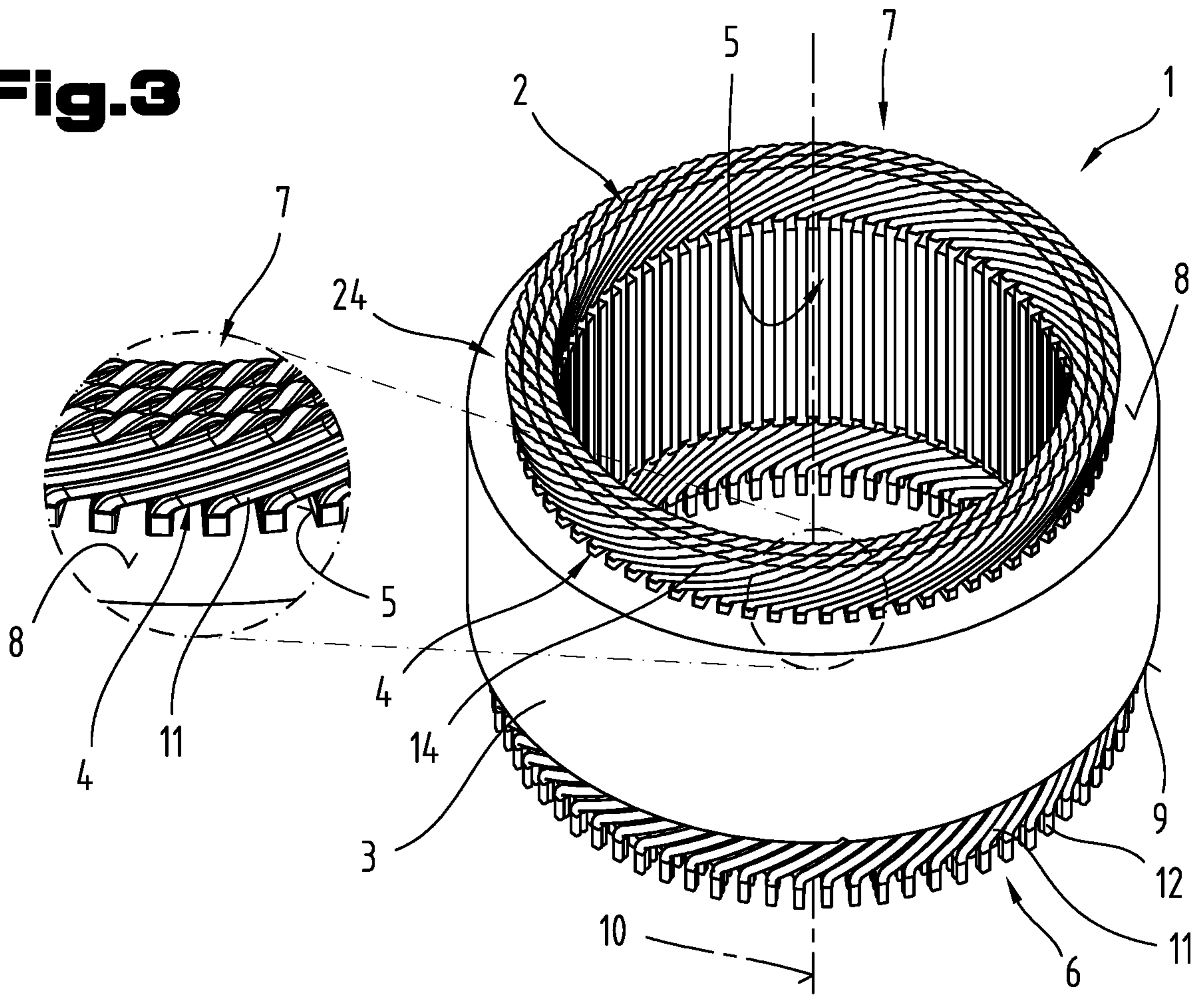


Fig.4a

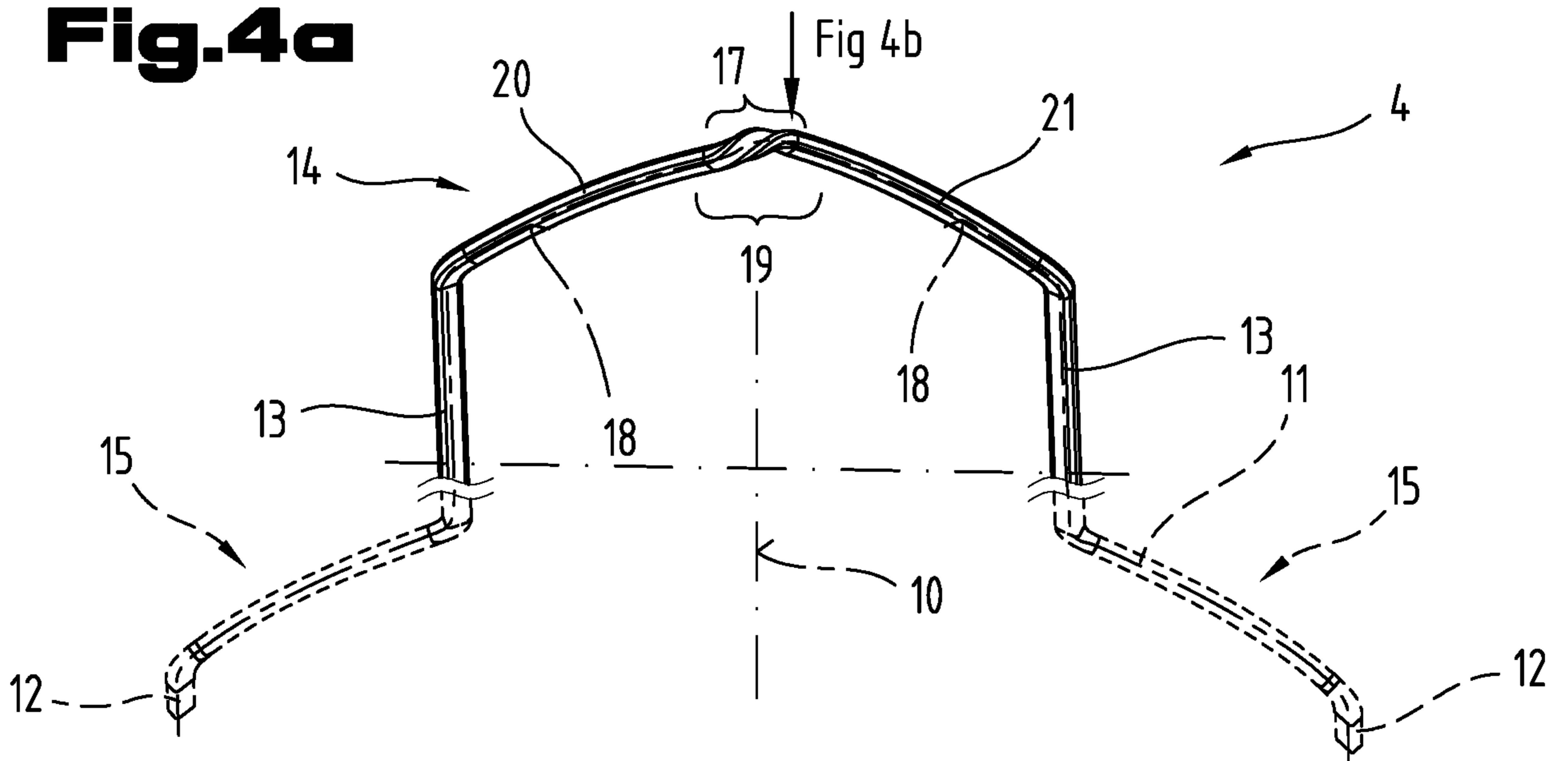
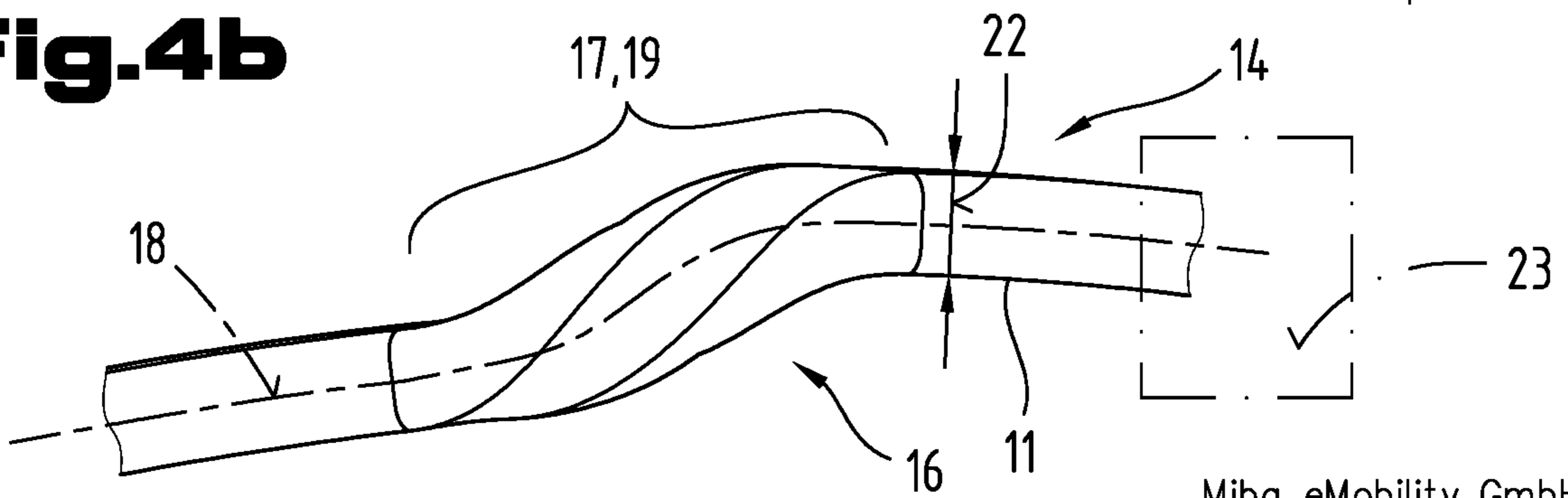


Fig.4b



Miba eMobility GmbH

Fig.5

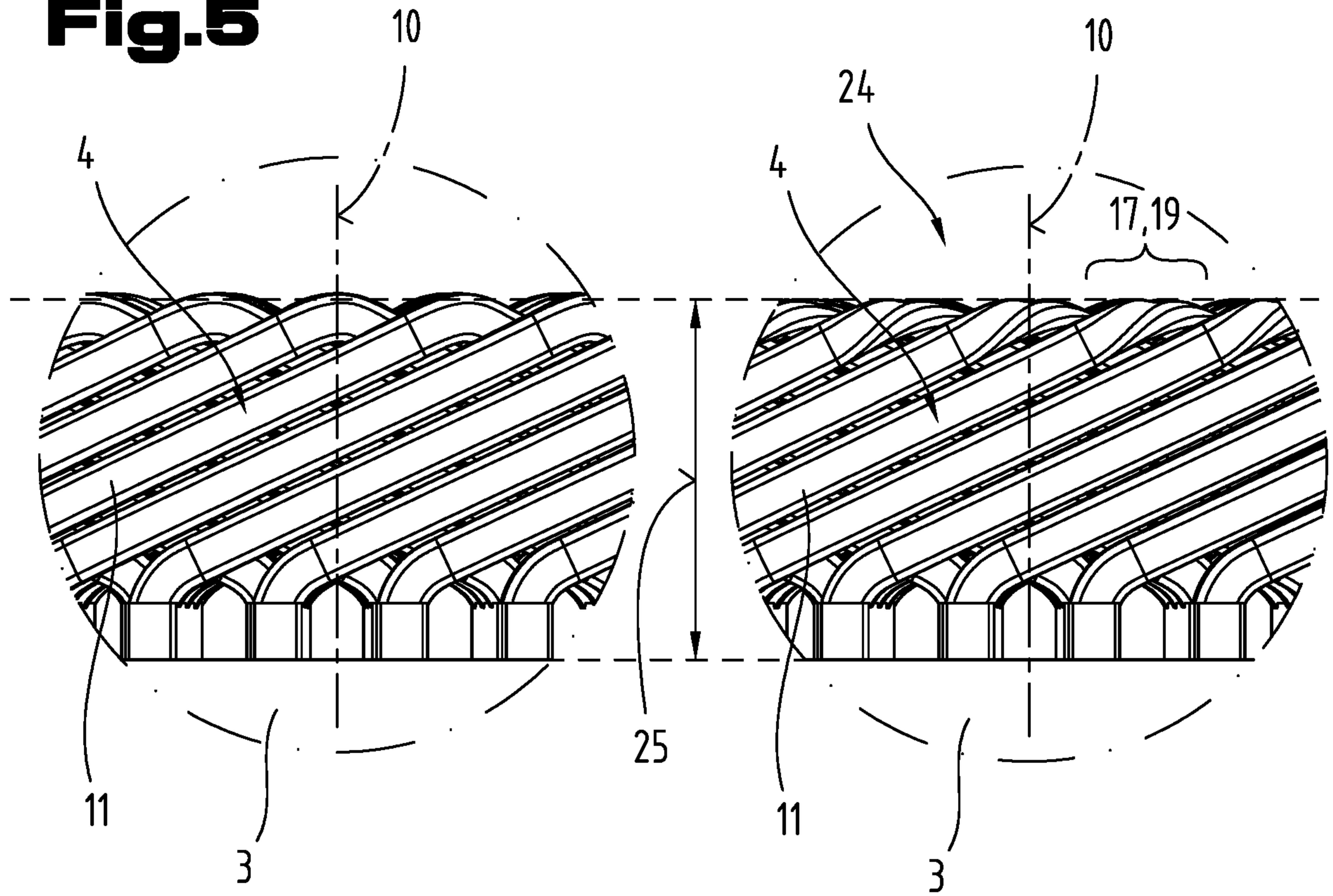


Fig.6

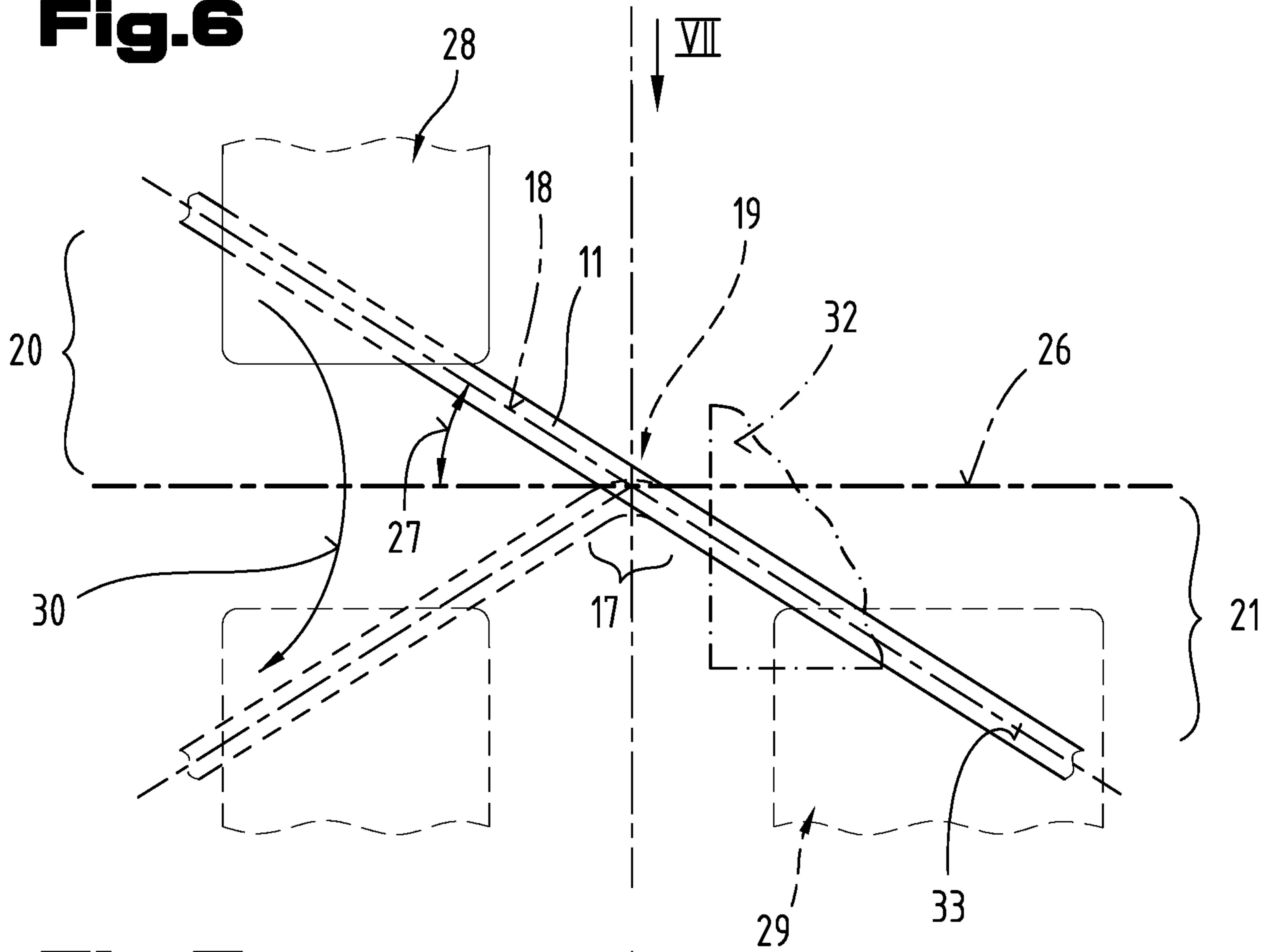


Fig.7

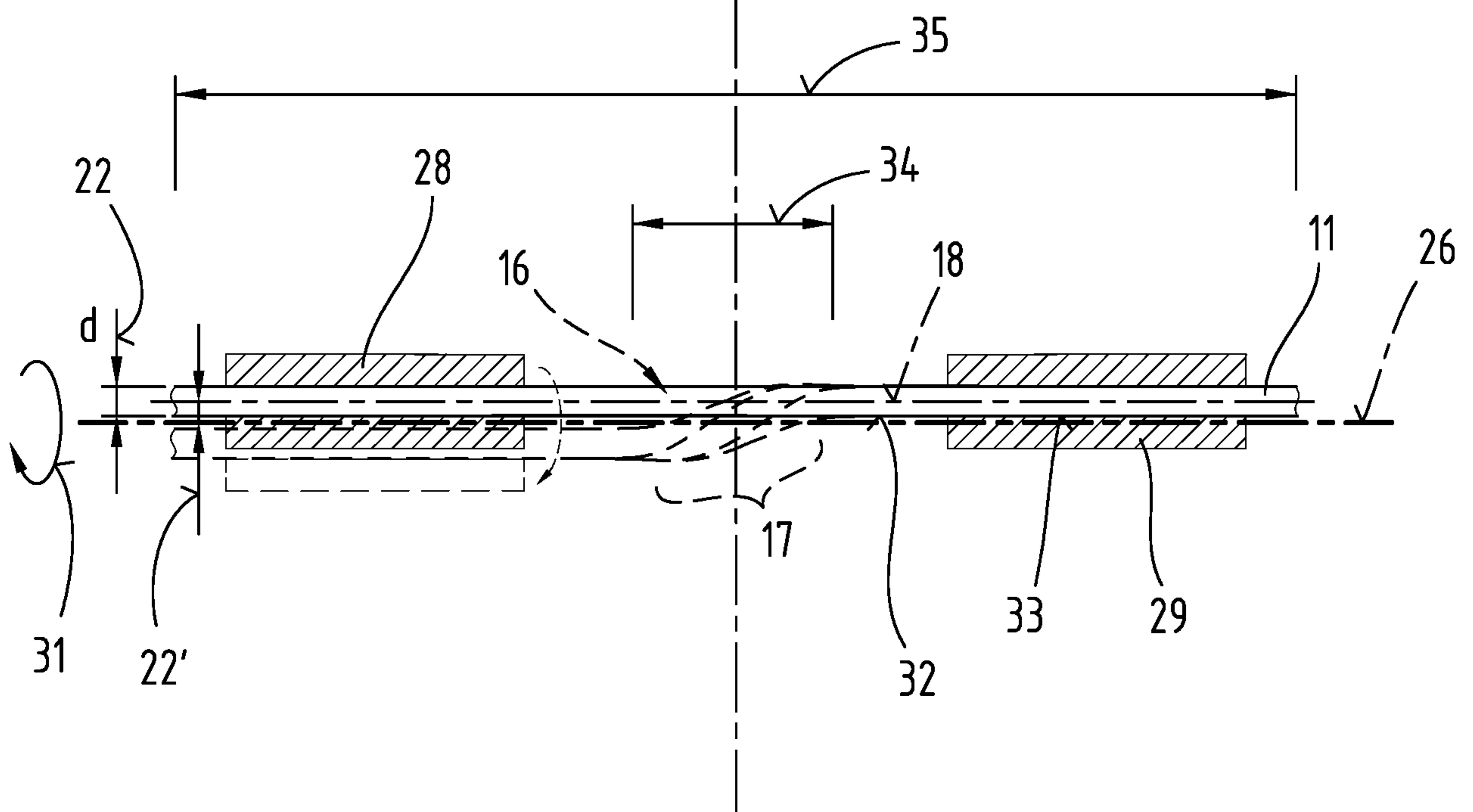
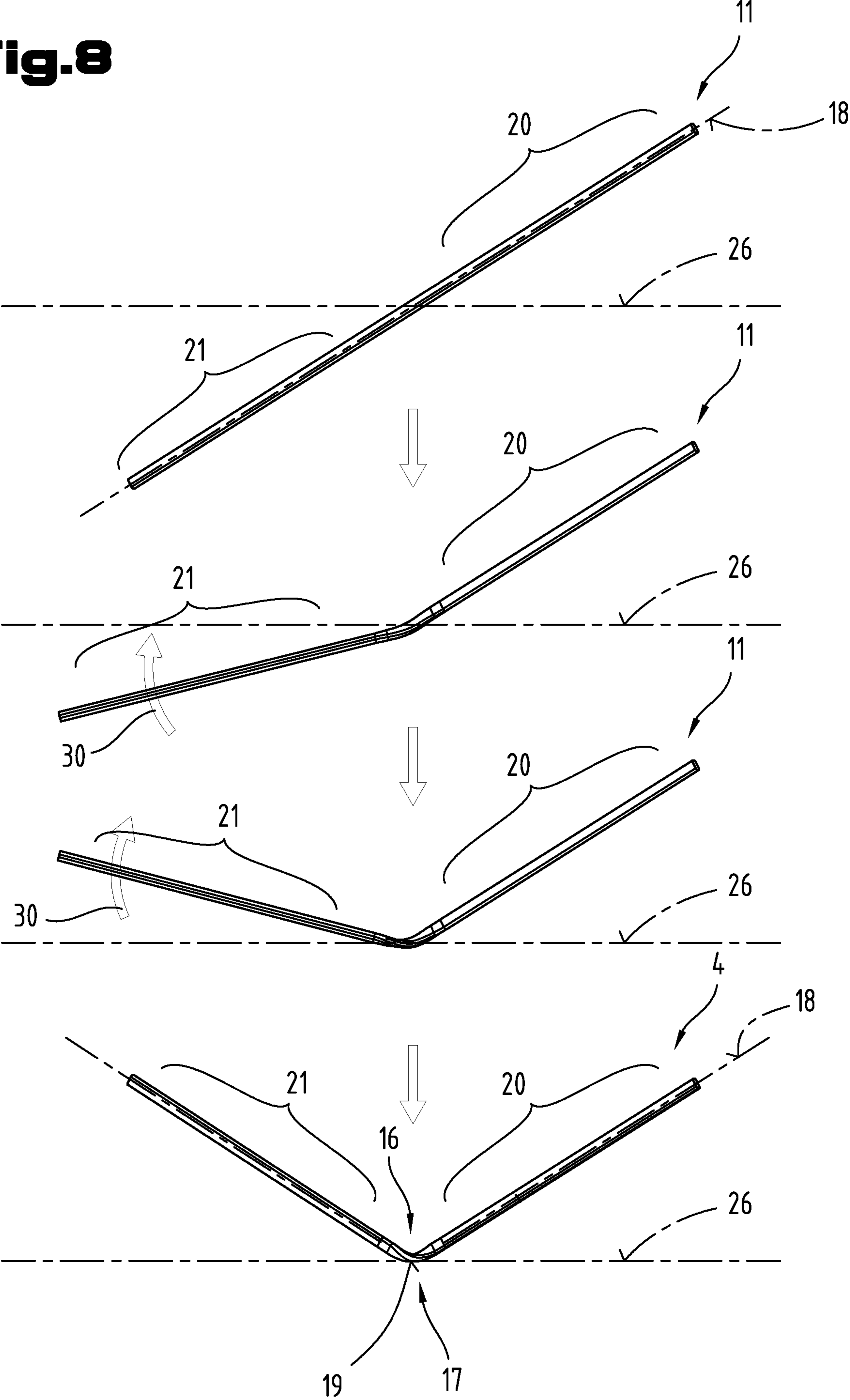


Fig.8



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC: H02K 15/04 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC: H02K 15/0421 (2013.01); H02K 15/0428 (2013.01)		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): H02K		
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPIAP, PATDEW, PATENW, Internet: Google Patents, Espacenet		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 20.02.2019 eingereichten Ansprüchen 1-13 erstellt.		
Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 2948677 A1 (SACHSENWERK ELEKTROMASCH) 17. Juli 1980 (17.07.1980) Zusammenfassung, Fig. 1-2, Beschreibung der Figuren, Seite 7 Zeilen 12-32	1-8, 10-13
Datum der Beendigung der Recherche: 11.11.2019		Seite 1 von 1
		Prüfer(in): KARLICEK Gerhard
^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist. A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen von Formstäben (4) in Art von noch weiter zu bearbeitenden Formstab-Rohteilen aus einem elektrischen Leiterdraht (11), welche Formstäbe (4) für den Einsatz in elektrischen Wicklungen (2) von elektrischen Maschinen, insbesondere in Statorwicklungen, vorgesehen sind, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen von Leiterdraht (11);
- Positionieren des Leiterdrahtes (11) und einer Biegeachse (26) für den Leiterdraht derart zueinander, dass die Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) und die Biegeachse (26) schiefwinkelig zueinander verlaufen, insbesondere in einem Winkel (27) zwischen 10° und 80° zueinander verlaufen, und sich die Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) und die Biegeachse (26) kreuzen, sodass in Bezug auf die Biegeachse (26) ein erster und zweiter Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) definiert sind;
- Halten, Greifen oder Abstützen des Leiterdrahtes (11) in seinem ersten und in seinem zweiten Abschnitt (20, 21);
- Ausführen einer Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) um einen Schwenkwinkel (31) zwischen 170° und 185° , vorzugsweise etwa 180° , um die Biegeachse (26) zur simultanen Bildung eines kombinierten Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes (17, 19) im Leiterdraht (11) und auch eines seitlichen Versatzes (16) zwischen dem ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Biegeachse (26) um ein Ausmaß (22'), welches in etwa der halben Dicke (22) des Leiterdrahtes (11) entspricht, gegenüber der Längsachse (18) des Leiterdrahtes (11) versetzt angeordnet ist, oder in einer Ebene (32) liegt, die eine Fortführung einer Flachseite (33) des in seinem Querschnitt mehreckig ausgebildeten Leiterdrahtes (11) darstellt, oder parallel und beabstandet zu einer Flachseite (33) des in seinem Querschnitt mehreckig ausgebildeten Leiterdrahtes (11) verläuft.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Verwinden oder Umschlagen des Leiterdrahtes (11) innerhalb eines Teilabschnittes (34), welcher weniger als 20%, insbesondere weniger als 10%, der Länge (35) des Leiterdrahtes (11) beträgt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereitstellungsschritt gerade verlaufende Leiterdrähte (11) vorbestimmter Länge (35) bereitgestellt werden und diese Leiterdrähte (11) im Zuge der Ausführen der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) in ihrem Längsmittenabschnitt umgeformt werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Schwenkbiege- oder Umschlagschritt (30) der erste oder zweite Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) um die Biegeachse (26) gebogen wird, oder der erste und zweite Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) zumindest phasenweise gleichzeitig um die Biegeachse (26) gebogen werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten und zweiten Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) jeweils zumindest eine weitere Biegung zur Bildung eines im Wesentlichen U-förmigen Formstabes (4) hergestellt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und zweite Abschnitt (20, 21) des Leiterdrahtes (11) vor der Ausführung der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) achsfluchtend verlaufen, im Zuge der Herstellung des Verwindungs- und auch Krümmungsabschnittes (17, 19) aber zu keinem Zeitpunkt achsparallel verlaufen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von parallel zueinander positionierten Leiterdrähten (11) bereitgestellt wird und diese Leiterdrähte (11) durch das Ausführen der Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) simultan umgeformt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkbiege- oder Umschlagbewegung (30) aus zwei Umschlagbewegungen zusammengesetzt wird, wobei jede dieser Umschlagbewegungen um einen Winkel von etwa 90° ausgeführt wird und beide Umschlagbewegungen an zueinander distanzierten Längspositionen des Leiterdrahtes (11) ausgeführt werden.