

(19)



(11)

EP 4 517 785 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.03.2025 Patentblatt 2025/10

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01B 7/30 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23194270.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01B 7/306

(22) Anmeldetag: **30.08.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Klöpzig, Markus**
91320 Ebermannstadt (DE)
• **Spagnolo, Aristide**
91056 Erlangen (DE)
• **Weidermann, Christian**
07381 Pößneck (DE)

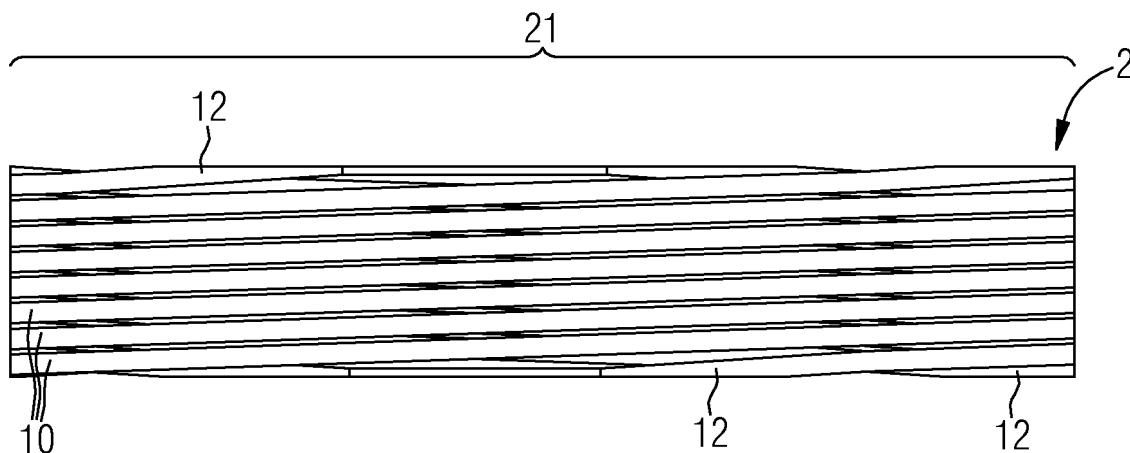
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

(54) **MEHRGLIEDRIGER LEITER, VERWENDUNG UND HERSTELLUNGSVERFAHREN DES MEHRGLIEDRIGEN LEITERS**

(57) Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) sowie Herstellungsverfahren dafür, aufweisend Leiterkernbereiche (20, 30, 40, 50) umfassend mehrere Einzelleiter (10) und aufweisend Leiterflechtbereiche (21, 31, 41), welche Leiterflechtbereiche (21, 31, 41, 51) ausgestaltet sind, mittels eines Leiterfüllbereichs eine vorgebbare Außen geometrie (h, b) des mehrgliedrigen Leiters (2, 3, 4, 5) auszubilden. Der vorgeschlagene

mehrgliedrige Leiter (2, 3, 4, 5) weist dementsprechend eine Außenform auf, die bzgl. Füllfaktor im Anwendungsbereich elektrischer Maschinen optimierbar ist. Insbesondere kann die Außen geometrie (h, b) über die Länge des Leiters (2, 3, 4, 5) hinweg gleichbleiben, trotz Mehradrigkeit und roebbelartiger Verflechtung der Einzelleiter (10, 12, 13, 14, 15). Hierzu wird insbesondere ein additives Fertigungsverfahren genutzt.

FIG 4**EP 4 517 785 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen mehrgliedrigen Leiter, eine Verwendung des mehrgliedrigen Leiters sowie ein Herstellungsverfahren dafür.

[0002] Es ist bekannt, dass in verschiedensten elektrischen Anwendungen und elektrischen Produkten Energieverluste auftreten, insbesondere Energieverluste im Zusammenhang mit einem elektrischen Stromfluss, welche auf unterschiedliche physikalische Effekte zurückgeführt werden können. Beispiele für solche Effekte sind der Skin-Effekt oder der Proximity-Effekt. Beim Skin-Effekt spricht man auch von Stromverdrängungseffekt. Dieser tritt in elektrischen Leitern auf, die von Wechselstrom, insbesondere hochfrequentem Wechselstrom durchflossen werden. Die in den Leiter eindringenden Wechselfelder bewirken eine Dämpfung und verdrängen sozusagen den Stromfluss aus dem Inneren des Leiters hin zu den Außenbereichen. Der Proximity-Effekt basiert ebenso auf einer Stromdämpfung durch ein eindringendes Wechselfeld, welches aber von einem benachbarten elektrischen Leiter stammt.

[0003] Um derartige Auswirkungen dieser Effekte und entsprechende Energieverluste zu vermeiden oder zumindest so klein wie möglich zu halten, werden bisher, insbesondere in der Hochfrequenztechnik, Leitungen mit möglichst großer Oberfläche eingesetzt. Es werden beispielsweise Hohlleiter, Litzen oder Bandleiter eingesetzt.

[0004] Insbesondere in elektrischen Wicklungen, z. B. bei großen Drehstromgeneratoren oder Drehstrommotoren, findet der sogenannte Roebelleiter Anwendung. Dieser stellt eine besondere Form eines mehrgliedrigen Leiters dar. Er enthält mehrere parallele Leiter, die voneinander isoliert und speziell geschichtet und verdreht bzw. verflochten sind. Mittels der speziellen Anordnung und Verflechtung der Teilleiter wird das Streufeld derart geändert, dass die Stromdichte in allen Parallelleitern annähernd konstant ist und ein Stromverdrängungseffekt nahezu vermeidbar ist. Die Herstellung derartiger Leiter ist jedoch recht aufwändig und wird aktuell nur für sehr große Maschinen im hohen Leistungsbereich von mehreren Kilowatt bis Megawatt vorgenommen.

[0005] Ein Nachteil bisheriger Roebelleiter oder roebelartiger Leiter ist der, dass die Gesamtquerschnittsfläche eines derartig verflochtenen mehradrigen Leiters größer ist als die eines entsprechenden massiven Leiters gleicher Leitungsquerschnittssumme. Insbesondere beim Einsatz mehrgliedriger Leiter in elektrischen Maschinen, stellt der Leiterquerschnitt eine weitere technische Herausforderung dar. Je besser eine Nut in einer elektrischen Maschine von einem elektrischen Leiter, insbesondere einem Strang aus elektrischen Teilleitern, ausgefüllt ist, desto besser ist ihre Leistung. Als Maß für dieses Verhältnis von Leiterquerschnitt zu Nutquerschnitt ist der sogenannte Füllfaktor.

[0006] Um die Herausforderung einer anpassbaren Leitergeometrie zu bewerkstelligen, gibt es erste Ansätze, roebelartige Leiter mittels additiver Fertigungsver-

fahren herzustellen. Jedoch werden die Stromverluste in so hergestellte Leitern nicht gleichermaßen reduziert wie in Roebelleitern nach herkömmlicher Herstellungsart.

[0007] Davon ausgehend stellt sich die Aufgabe einen elektrischen Leiter sowie ein Herstellungsverfahren für einen elektrischen Leiter anzugeben, der den Anforderungen an eine vorgebbare Außengeometrie genügt und gleichzeitig in seinen elektrischen Eigenschaften gleich gut oder besser als bisherige Roebelleiter ist. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Die Aufgabe hinsichtlich der Verwendung wird durch die Merkmale der Ansprüche 11 und 12 gelöst. Die Aufgabe bezüglich eines Herstellungsverfahrens wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 13 gelöst. Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung, die einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbar sind, sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Der erfindungsgemäße mehrgliedrige elektrische Leiter weist einen Leiterkernbereich umfassend mehrere Einzelleiter sowie einen Leiterflechtbereich auf. Insbesondere weist der mehrgliedrige elektrische Leiter gemäß Erfindung eine Vielzahl an Leiterkernbereichen und Leiterflechtbereichen auf, welche im Wechsel aneinandergereiht den mehrgliedrigen elektrischen Leiter bilden. Insbesondere weist der mehrgliedrige elektrische Leiter so viele Leiterflechtbereiche wie Einzelleiter auf.

[0009] Die Leiterflechtbereiche des erfindungsgemäßen mehrgliedrigen Leiters sind ausgestaltet mittels jeweils wenigstens eines Leiterfüllbereichs eine vorgebbare Außengeometrie des mehrgliedrigen Leiters auszubilden.

[0010] Insbesondere ist diese vorgebbare Außengeometrie durch die Leiterkernbereiche vorgebbbar. Je nach Einsatzbereich des mehrgliedrigen elektrischen Leiters können so auch mehrgliedrige Leiter in verschiedenen Außengeometrien hergestellt werden. Der Vorteil des erfindungsgemäßen mehrgliedrigen Leiters liegt insbesondere darin, dass für den Einsatz des Leiters in einer elektrischen Maschine ein hoher Füllfaktor gewährleistet werden kann. Zweckdienlicherweise liegen die Einzelleiter isoliert voneinander angeordnet im mehrgliedrigen Leiter vor.

[0011] Vorteilhafterweise weisen die Leiterflechtbereiche des erfindungsgemäßen mehrgliedrigen elektrischen Leiters neben den Füllbereichen auch Einzelleiter auf. Unter einem Einzelleiter ist insbesondere ein durchgängiger elektrischer Leiter zu verstehen, durchgängig im Sinne von, den mehrgliedrigen Leiter von Anfang bis Ende durchlaufenden Leiters. Dies hat insbesondere den Vorteil, dass eine gewisse Anzahl an durchgängigen Einzelleitern für einen ausreichenden Stromfluss, insbesondere Gesamtstromfluss durch den mehrgliedrigen elektrischen Leiter sorgt.

[0012] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der Leiterfüllbereich des mehrgliedrigen elektrischen Leiters additiv gefertigt. Insbesondere liegt eine

Vielzahl an Leiterfüllbereichen entlang des mehrgliedrigen elektrischen Leiters vor. Dies hat den Vorteil, dass die durch die Verflechtung der Einzelleiter entstehenden Auswölbungen und Einbuchtungen an der Außengeometrie des mehrgliedrigen Leiterstrangs in einem additiven Fertigungsschritt aufgefüllt werden. Insbesondere setzt das Verfahren zum Auffüllen des Leiterstrangs an den außen liegenden Einzelleitern an bzw. werden die außen liegenden Einzelleiter oder Abschnitte der Einzelleiter additiv gefertigt.

[0013] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mehrgliedrigen elektrischen Leiters umfassen die Leiterfüllbereiche Einzelleiter verringerter Höhe, verbreiterte Einzelleiter und/oder formangepasste Einzelleiter. Das heißt, dass eine veränderte Form und/oder ein veränderter Einzelleiterquerschnitt dazu genutzt werden, die Außengeometrie des mehrgliedrigen Leiterstrangs auszubilden. Ein Einzelleiter verringerter Höhe, bzw. ein Einzelleiterabschnitt verringerter Höhe, kann beispielweise durch Materialabtrag hergestellt werden. Ein verbreiteter Einzelleiter, beziehungsweise verbreiteter Einzelleiterabschnitt, kann durch ein Zug- oder Pressverfahren ansetzend an einem durchgängigen Einzelleiter hergestellt werden. Speziell formangepasste Einzelleiter bzw. formangepasste Einzelleiterabschnitte, werden bevorzugt additiv gefertigt.

[0014] Insbesondere handelt es sich bei den im Leiterfüllbereich vorliegenden, bzw. den Leiterfüllbereich bildenden Einzelleitern, seien es Einzelleiter verringerter Höhe, verbreiterte Einzelleiter oder formangepasste Einzelleiter jeweils um Einzelleiterabschnitte. Die jeweils im Leiterfüllbereich verändert vorliegenden Einzelleiterabschnitte können in den angrenzenden Leiterkernbereichen wieder in ihrer ursprünglichen Leiterquerschnittsfläche und/oder Leiterquerschnittsform weiter verlaufen.

[0015] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des mehrgliedrigen elektrischen Leiters umfassen die Einzelleiter Kupfer oder werden aus Kupfer gebildet.

[0016] Insbesondere sind die Einzelleiter massive Einzelleiter, insbesondere herkömmlich gefertigte Leiter, und weisen eine Materialreinheit von wenigstens 99,96 % auf, insbesondere von wenigstens 99,98 %, bevorzugt von mindestens 99,99 %. Die Leitfähigkeit der besonders bevorzugt eingesetzten elektrischen Einzelleiter liegt bei mindestens $5,8 \times 10^7$ S/m oder höher.

[0017] In einer weiteren vorteilhaften Variante der Erfindung ist der mehrgliedrige elektrische Leiter als Roebelleiter ausgeführt bzw. umfasst der mehrgliedrige elektrische Leiter Bereiche, die als Roebelleiter ausgeführt sind oder roebelähnlich ausgeführt sind.

[0018] Insbesondere die Varianten mit Leiterbereichen verringerter Höhe und/oder verbreiteten Leiterbereichen im Leiterflechtbereich können größtenteils auf einem herkömmlichen Roebelleiter aufsetzen, da dieser bevorzugt mit bandförmigen Einzelleitern gebildet wird. Es sind aber auch andere Verflechtungsformen wie beispielsweise Leiterverdrillungen ähnlich einer Litze denkbar.

[0019] Besonders bevorzugt ist die Variante des erfin-

dungsgemäßen mehrgliedrigen elektrischen Leiters, in dem die Einzelleiter über die Länge des Leiters hinweg eine gleiche Querschnittsfläche aufweisen. Diese sind daher in den Leiterflechtbereichen zweckdienlicherweise als formangepasste Leiter ausgeführt, um den Leiterfüllbereich darzustellen. Dies hat den Vorteil, dass über alle Einzelleiter hinweg jeweils eine durchgängige Leiterquerschnittsfläche für den Stromfluss zur Verfügung steht.

[0020] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des mehrgliedrigen elektrischen Leiters gemäß der Erfindung weisen die Einzelleiter über die jeweilige Länge der Leiterkernbereiche bzw. jeweils einen Leiterkernbereich hinweg eine gleichbleibende Querschnittsform auf.

[0021] Der erfindungsgemäße mehrgliedrige elektrische Leiter weist außerdem insbesondere einen Leiteranschlussbereich auf, in welchem Anschlussbereich die Einzelleiter verschaltet sind. Dieser Anschlussbereich ist bevorzugt additiv gefertigt. Dieser Leiteranschlussbereich kann bevorzugt auch an die Leitersaußengeometrie angepasst sein.

[0022] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der mehrgliedrige elektrische Leiter in einer Nut einer elektrischen Maschine angeordnet. Dies hat den Vorteil ein System mit hoher Effizienz anzubieten, da zum einen ein mehrgliedriger Leiter angegeben ist, dessen relativer Widerstand minimiert ist und gleichzeitig durch die Außengeometrie ein hoher Füllfaktor gewährleistet ist.

[0023] Eine alternative Verwendung des erfindungsgemäßen mehrgliedrigen elektrischen Leiters wird in einer Wicklung vorgeschlagen, insbesondere einer Wicklung eines Transformators.

[0024] Zudem umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines mehrgliedrigen elektrischen Leiters, wie vorhergehend beschrieben, welches Herstellungsverfahren die folgenden Schritte umfasst:

Fertigung eines Leiterkernbereichs und Fertigung wenigstens eines Leiterflechtbereichs, insbesondere dessen Leiterfüllbereichs. Für die Herstellung der Leiterkernbereiche sowie die Herstellung der durchgängigen Einzelleiter werden bevorzugt herkömmliche Herstellungsverfahren eingesetzt. Die Fertigung der Leiterflechtbereiche durch Verflechtung oder Verdrillung sowie die Fertigung des Leiterfüllbereichs erfolgt in dem weiteren Fertigungsschritt, welcher insbesondere einen Materialabtrag für eine verringerte Leiterhöhe umfassen kann, welcher eine Verbreiterung durch Anfügen z. B. mittels additiver Verfahren an einen Leiterabschnitt im äußeren Leiterflechtbereich umfassen kann, welcher ein mechanisches Verfahren zur Leiterverformung im Leiterflechtbereich umfassen kann sowie auch additive Verfahren zur Herstellung formangepasster Leiterabschnitte im gesamten Leiterflechtbereich.

[0025] Insbesondere wird auch ein Schritt zur Fertigung des Leiteranschlussbereichs im Herstellungsverfahren umfasst, in welchem Schritt die Verschaltung der

Einzelleiter im Leiteranschlussbereich erfolgt, insbesondere mittels eines additiven Fertigungsverfahrens.

[0026] In einer weiteren vorteilhaften Variante des Verfahrens werden zwei additive Fertigungsschritte angewendet, insbesondere um einen oberen und einen unteren Leiterfüllbereich bzw. Bereiche jeweils an den Außenseiten der Leiterflechtbereiche additiv zu fertigen.

[0027] Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren. In den Ausführungsbeispielen und Figuren können gleiche oder gleich wirkende Elemente jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen sein. Die dargestellten Elemente und deren Größenverhältnis untereinander sind grundsätzlich nicht als maßstabsgetreu anzusehen, vielmehr können einzelne Elemente zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis im Verhältnis größer dimensioniert dargestellt sein. In den Figuren zeigen schematisch

Figur 1 eine perspektivische Darstellung eines Abschnitts eines mehrgliedrigen Leiters 1 mit roebelartiger Verflechtung der Einzelleiter 10,

Figur 2 einen Längsschnitt durch einen wie in Figur 1 dargestellten mehrgliedrigen Leiter 1,

Figur 3 einen Querschnitt durch einen wie in Figur 1 dargestellten mehrgliedrigen Leiter 1,

Figur 4 einen Längsschnitt durch einen mehrgliedrigen Leiter 2 mit einem Leiterflechtbereich 21, dessen außen liegende Einzelleiter 12 eine verringerte Höhe aufweisen,

Figur 5 einen Querschnitt durch einen Leiter 2, wie auch in Figur 4 mit einem Einzelleiterabschnitt 12 verringerter Höhe,

Figur 6 eine perspektivische Darstellung eines Leiters 3 im Querschnitt mit erkennbarem Leiterkern- 30 und Leiterflechtbereich 31 mit verbreitertem Einzelleiter 13,

Figur 7 eine entsprechende Querschnittsdarstellung des in Figur 6 gezeigten Leiters 3,

Figur 8 eine perspektivische Darstellung eines Abschnitts eines mehrgliedrigen Leiters 4 mit formangepassten Leitern 14,

Figur 9 einen Querschnitt durch den in Figur 8 gezeigten Leiter 4 im Leiterflechtbereich 41,

Figur 10 mehrere Querschnitte A-A, B-B, etc. entlang eines Leiterflechtbereichs 51, in dem alle den Leiterflechtbereich 51 durchlaufenden

Einzelleiter 15 formangepasst sind,

Figur 11 in vergleichbarer Weise zu Figur 10 die Querschnitte A-A, B-B, etc. für einen mehrgliedrigen Leiter 5 aus sechs Einzelleitern 15.

[0028] In der Figur 1 ist perspektivisch ein mehrgliedriger Leiter 1 gezeigt, welcher wie ein Roebelleiter aufgebaut ist. Gezeigt sind 16 Einzelleiter 10, die in jeweils zwei Einzelleitern pro Lage in acht Lagen angeordnet sind. Die Einzelleiter 10 sind voneinander isoliert. Es gibt Leiterabschnitte, in denen die Einzelleiter 10 parallel zueinander gerade entlang des Gesamtleitervverbunds 1 verlaufen. Es gibt Abschnitte, in denen jeweils einer der Einzelleiter 10 der oberen Lage auf die Position des benachbarten Einzelleiters 10 übergeleitet wird, sodass eine Verflechtung der Einzelleiter 10 erfolgt. Typischerweise erfolgen so viele Verflechtungen entlang der Gesamtlänge des mehrgliedrigen Leiters 1, wie Einzelleiter 10 im Leitervverbund 1 vorliegen. Die Einzelleiter 10 in einer derartigen Roebel-Verflechtung erfüllen insbesondere den Zweck, sogenannte Skin-Effekte und dadurch die Energieverluste zu reduzieren.

[0029] Bereits in Figur 1, aber noch deutlicher in den Figuren 2 und 3, die einen Längs- und einen Querschnitt durch den in Figur 1 gezeigten Leiter 1 zeigen, wird einer der bedeutenden Nachteile des Roebelleiters deutlich, nämlich dass der Gesamtquerschnitt $b \times h'$ durch die Flechtbereiche, bzw. in den Flechtbereichen größer wird als der Querschnitt eines massiven Leiters mit vergleichbarer effektiver Leitungsquerschnittsflächen summe der Einzelleiter 10. Aus diesem Grund werden derartige Roebelleiter bisher nur in sehr großen elektrischen Maschinen eingesetzt. In kleineren elektrischen Maschinen ist der Einsatz derartiger Leiter noch nicht realisiert, da hier der Füllfaktor eine große Rolle spielt. Der Einsatz eines derartig ausgestalteten mehrgliedrigen Leiterstrangs 1 in kleinen E-Maschinen würde die Freiheitsgrade bezüglich Leiterhöhe und Windungsanzahl enorm reduzieren. In den Figuren 2 und 3 ist mit h' die Höhe angezeigt, die bei durchgängigen Leitern 10 ohne Verflechtung entstünde.

[0030] Da ein hoher Füllfaktor einen großen Einfluss auf die Leistung der elektrischen Maschine hat, die Nut für die Wicklung also optimal ausgefüllt sein soll, ist es wenig zweckdienlich einen Leiterstrang 1 zu verwenden, der an Ober- und Unterseite mit zahlreichen Ausbuchtungen bzw. Einbuchtungen aufgrund der Verflechtung versehen ist. Dieser Effekt ist so groß, dass für eine vergleichbare Leistung der elektrischen Maschine bis zu 20 % mehr elektrisch leitfähige Einzelleiter verbaut werden müssen, um den reduzierten Füllfaktor auszugleichen.

[0031] In den Figuren 4 und 5 ist eine Variante der Erfindung schematisch dargestellt, ein mehrgliedriger Leiter 2, wiederum in einem Leiterquerschnitt und -längsschnitt gezeigt. Die Figuren zeigen die gleichbleibende

Leiterstranghöhe h und gleichbleibende Leiterstrangbreite b , durchgängige Einzelleiter 10, sowie im Leiterflechtbereich 21 ober- und unterseitige Leiterfüllbereiche, welche aus Leiterabschnitten 12 mit reduzierter Höhe gebildet werden. Ein derartiger mehrgliedriger Leiter 2 weist also in den Leiterflechtbereichen 21 Leiterabschnitte 12 mit reduziertem Leiterquerschnitt auf. In den Leiterkernbereichen 20 beidseitig an den Leiterflechtbereich 21 anschließend sowie innenliegend im Leiterflechtbereich, weisen die Einzelleiter 10 durchgängig gleichbleibende Leiterquerschnitte und, wie im gezeigten Fall, auch gleichbleibende Querschnittsformen auf. Die Außengeometrie des Leiterstrangs 2 ist mit gleichbleibender Breite b und nahezu gleichbleibender Höhe h für einen hohen Füllfaktor beim Einsatz in einer elektrischen Maschine optimiert.

[0032] Die in Figuren 6 und 7 gezeigte Ausführungsform eines mehrgliedrigen Leiters 3 kann vorteilhafterweise auch mit der Ausführungsform gemäß den Figuren 4 und 5 kombiniert werden, insbesondere indem der Leiterabschnitt im Leiterflechtbereich 31 mit reduzierter Höhe 12 gleichzeitig verbreitert wird, wie in Figur 6 gezeigt. Demnach könnte eine solche Kombination zu einem formangepassten Leiter 13 führen, der im Leiterflechtbereich 31 verbreitert vorliegt und aufgrund reduzierter Höhe denselben Leiterquerschnitt beibehält wie im Leiterkernbereich 30. Der in Figur 6 gezeigte mehrgliedrige Leiter 3 ist perspektivisch dargestellt, analog zu Figur 1, und verdeutlicht noch einmal die verschiedenen Leiterabschnittsbereiche, nämlich Leiterkernbereiche 30 abwechselnd mit Leiterflechtbereichen 31. Beide Leiterabschnittsbereichtstypen können Einzelleiter 10, insbesondere durchgängige, in ihrer Querschnittsfläche und -form gleichbleibende Einzelleiter 10 umfassen. Durch die Verbreiterung des Leiterabschnitts 13 im Leiterflechtbereich 31 wird zudem bewirkt, dass die noch flechtungsbedingt unregelmäßigen Oberflächenstrukturen weiter minimiert, bzw. an die eine homogene Außengeometrie angepasst werden.

[0033] Die Herstellung eines Leiterabschnitts 12 mit verringerter Höhe sowie eines Leiterabschnitts 13, der verbreitert vorliegt, insbesondere mit gleichzeitig verringerter Höhe, kann insbesondere mechanisch erfolgen durch Abtrag bzw. mechanischer Materialumformung.

[0034] In der Figur 8 und Figur 9 ist eine Variante des erfindungsgemäßen mehrgliedrigen Leiters 4 gezeigt, welcher in seinen Kernbereichen 40 parallel verlaufende Einzelleiter 10 aufweist und in seinem Leiterflechtbereich durchgängige Einzelleiter 10, welche jedoch nur die Leiterebene wechseln, sodass ihr Leiterquerschnitt und ihre Querschnittsform gleichbleiben, während die Leiterabschnitte 14, die im Leiterflechtbereich in die benachbarte Ebene wechseln, formangepasst ausgeführt sind. Insbesondere sind diese Leiterfüllbereiche additiv gefertigt und füllen nahezu vollständig die durch die Verflechtung entstehenden Hohlräume aus bzw. schaffen einen Leiterflechtbereich 41, der in seiner Außengeometrie nahezu vollständig an die Außengeometrie des Leiterkernbe-

reichs 40 angepasst ist.

[0035] Im Querschnitt der Figur 9 ist noch einmal die Variante des mehrgliedrigen Leiters 4 gezeigt, der im Leiterflechtbereich durchgängige Leiter 10 sowie formangepasste Leiter 14 aufweist, die jedoch durchgängig eine gleichbleibende Querschnittsfläche aufweisen. Ein derartiger mehrgliedriger Leiter hat den Vorteil, dass keine überstehenden und leerbleibenden Abschnitte den Füllfaktor reduzieren würden und gleichzeitig eine hohe Leitfähigkeit durch den durchgängigen Leiterquerschnitt ermöglicht wird.

[0036] In den Figuren 10 und 11 sind schließlich noch Varianten des mehrgliedrigen Leiters 5 gezeigt, welche in den Leiterflechtbereichen 51 derart versponnen sind, dass sie kontinuierlich ihre Querschnittsform, aber nicht ihre Querschnittsfläche verändern. Dies ist an zwei Beispielen in Figur 10 mit einem vieradrigen Leiter und in Figur 11 mit einem sechsadrigen Leiter gezeigt. Innerhalb des Leiterflechtbereichs 51 sind fünf Querschnittsflächen A-A bis E-E angezeigt, bei A-A beginnend mit parallel zueinander verlaufenden rechteckigen Einzelleitern 10, welche bis zum Abschnitt E-E um einen Platz in der Leiterschichtung weiterrotiert wurden. Die Rotationsrichtung wird durch einen Pfeil angezeigt. Die fortlaufende Vorrückung der Einzelleiter 10, 15 wird durch römische Zahlen angezeigt. Ein derartiger Leiterflechtbereich 51 ist zweckdienlicherweise mittels eines additiven Herstellungsverfahrens erzeugt. Vorteilhafterweise kann das Herstellungsverfahren nur für den Leiterflechtbereich 51 verwendet werden und an massive herkömmlich hergestellte Einzelleiter 10 anschließen. Diese hybride Fertigung, eine Kombination von herkömmlich hergestellten Leiterbereichen und additiv hergestellten bzw. aufgefüllten Leiterbereichen hat den Vorteil, dass alle Bereiche, in denen die additive Fertigung nicht nötig oder nicht vorteilhaft ist, nach herkömmlichen Methoden vorgefertigt werden können und demnach auch die Herstellung schneller bewerkstelligt kann. In den Ausführungsformen wie in den Figuren 8, 6 und 4 gezeigt, wird bevorzugt nur, wenn überhaupt, im Leiterfüllbereich, ober- und unterhalb der durchgängig verlaufenden Leiter 10 additiv gearbeitet.

[0037] Die Einzelleiter 10 sind in allen gezeigten Varianten voneinander isoliert angeordnet. Dies kann durch elektrisch isolierende Schichten, Beschichtungen und/oder Oberflächenbehandlungen, insbesondere oxidierten Aluminiumschichten gewährleistet werden.

[0038] Zusammenfassend sei noch einmal auf die erzielte vorgebbare Außengeometrie h/b des mehrgliedrigen Leiters 2, 3, 4, 5 hingewiesen. Diese wird durch die Leiterfüllbereiche der Leiterflechtbereiche 21, 31, 41, 51 realisiert. Leiterfüllbereiche können demnach höhenreduzierte 12, verbreiterte 13 und/oder formangepasste 14, 15 Einzelleiter sein. Der vorgeschlagene mehrgliedrige Leiter 2, 3, 4, 5 weist dementsprechend eine Außenform auf, die bezüglich Füllfaktor im Anwendungsbereich elektrischer Maschinen optimiert ist. Insbesondere kann die Außengeometrie h/b des mehrgliedrigen Leiter-

strangs 2, 3, 4, 5 über die Länge des Leiters hinweg gleich bleiben und dies trotz Mehradrigkeit und roebelartiger Verflechtung der Einzelleiter 10.

Bezugszeichen:

[0039]

- 1 Mehrgliedriger elektrischer Leiter
- 10 Einzelleiter
- 12 Einzelleiter verringerter Höhe
- 13 verbreiteter Einzelleiter
- 14 formangepasster Einzelleiter mit optionaler veränderlicher Querschnittsfläche
- 15 formangepasster Einzelleiter mit gleichbleibender Leiterquerschnittsfläche
- h' variierende Leiterhöhe, je nach Schnittfläche
- h gleichbleibende Leiterhöhe, über Gesamtlänge des Leiters 2, 3, 4 hinweg
- b gleichbleibende Leiterbreite, über Gesamtlänge des Leiters 2, 3, 4 hinweg
- 2 erfindungsgemäßer Mehrgliedriger elektrischer Leiter, insbesondere hybrid gefertigt
- 20 Leiterkernbereich, massive, verrobelte Einzelleiter 10
- 21 Leiterflechtbereich, insbesondere additiv gefertigt, mit Einzelleitern verringerter Höhe 12 als Leiterfüllbereich
- 3 erfindungsgemäßer Mehrgliedriger elektrischer Leiter, insbesondere hybrid gefertigt
- 30 Leiterkernbereich, Bereich, in dem kein Leiterpositionswechsel erfolgt (auch wenn hier die Einzelleiter nicht parallel zur Außengeometrie laufen, sprechen wir von Leiterkernbereich, da die Einzelleiter durchgängig verlaufen, insbesondere massiv, herkömmlich gefertigte Leiter, zumindest alle mit gleichbleibender Leiterquerschnittsfläche, insbesondere auch gleichbleibender Leiterquerschnittsform im Leiterkernbereich)
- 31 Leiterflechtbereich, insbesondere additiv gefertigt, mit formangepassten, insbesondere verbreiterten Einzelleitern 13 und massiven verroebelten Einzelleitern 10 (Leiterflechtbereich, kann zweiteilig sein, kann aber auch reiner Füllbereich sein; Durchgängige Leiterquerschnittsform für "Durchgängige Leiter")
- 4 erfindungsgemäßer Mehrgliedriger elektrischer Leiter
- 40 Leiterkernbereich, gerade Einzelleiter 10
- 41 Leiterflechtbereich, insbesondere additiv gefertigt, mit formangepassten Einzelleitern 14 und positionswechselnden durchgängigen Einzelleitern 10 mit durchgängig gleicher Leiterquerschnittsfläche und -form
- 5 erfindungsgemäßer Mehrgliedriger elektrischer Leiter
- 50 Leiterkernbereich, gerade Einzelleiter 10
- 51 Leiterflechtbereich, insbesondere additiv gefertigt,

mit formangepassten positionswechselnden Einzelleitern 15 mit durchgängig gleicher Leiterquerschnittsfläche

5 Patentansprüche

1. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5), aufweisend Leiterkernbereiche (20, 30, 40, 50) umfassend mehrere Einzelleiter (10) und aufweisend Leiterflechtbereiche (21, 31, 41),
10 welche Leiterflechtbereiche (21, 31, 41, 51) ausgestaltet sind, mittels jeweils wenigstens eines Leiterfüllbereichs eine vorgebbare Außengeometrie (h, b) des mehrgliedrigen Leiters (2, 3, 4, 5) auszubilden.
2. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach Anspruch 1, wobei die Leiterflechtbereiche (21, 31, 41, 51) Einzelleiter (10) und Leiterfüllbereiche aufweisen.
3. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Leiterfüllbereich additiv gefertigt ist.
- 25 4. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Leiterfüllbereich einen Einzelleiter verringerter Höhe (12) aufweist, verbreiterte Einzelleiter (13) aufweist und/oder formangepasste Einzelleiter (14, 15) aufweist.
- 30 5. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Einzelleiter (10, 12, 13, 14, 15) Kupfer umfassen oder aus Kupfer sind.
- 35 6. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Einzelleiter (10, 14, 15) massive Einzelleiter mit einer Materialreinheit von wenigstens 99,96% sind, insbesondere herkömmlich gefertigte Leiter.
- 40 7. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, welcher als Roebelleiter ausgeführt ist oder dessen Leiterkernbereiche (20, 30, 40, 50) als Roebelleiter ausgeführt sind.
- 45 8. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Einzelleiter (10, 14, 15) über die Länge des Leiters (2, 3, 4, 5) hinweg eine gleiche Querschnittsfläche aufweisen.
- 50 9. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Einzelleiter (10) über die Länge eines Leiterkernbereichs (20, 30, 40, 50) hinweg eine gleiche Quer-

schnittsform aufweisen.

10. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, aufweisend einen Leiteranschlussbereich, in welchem Leiteranschlussbereich die Einzelleiter (10) verschaltet sind. 5
11. Mehrgliedriger elektrischer Leiter (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche, angeordnet in einer Nut einer elektrischen Maschine. 10
12. Verwendung eines mehrgliedrigen elektrischen Leiters (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche in einer Wicklung, insbesondere eines Transformators. 15
13. Verfahren zur Herstellung eines mehrgliedrigen Leiters (2, 3, 4, 5) nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 11, umfassend wenigstens einen Schritt zur Fertigung der Leiterkernbereiche (20, 30, 40, 50) und einen Schritt zur Fertigung der Leiterflechtbereiche (21, 31, 41), insbesondere der Leiterfüllbereiche. 20
14. Verfahren nach Anspruch 13, weiterhin umfassend einen Schritt zur Fertigung eines Leiteranschlussbereichs, in welchem Leiteranschlussbereich die Verschaltung der Einzelleiter (10) erfolgt, insbesondere mittels additiver Fertigung. 25
30
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 14, wobei der Leiterfüllbereich mittels eines additiven Fertigungsverfahrens gefertigt wird, insbesondere ein oberer und ein unterer Leiterfüllbereich additiv gefertigt wird. 35

40

45

50

55

FIG 1
(SdT)

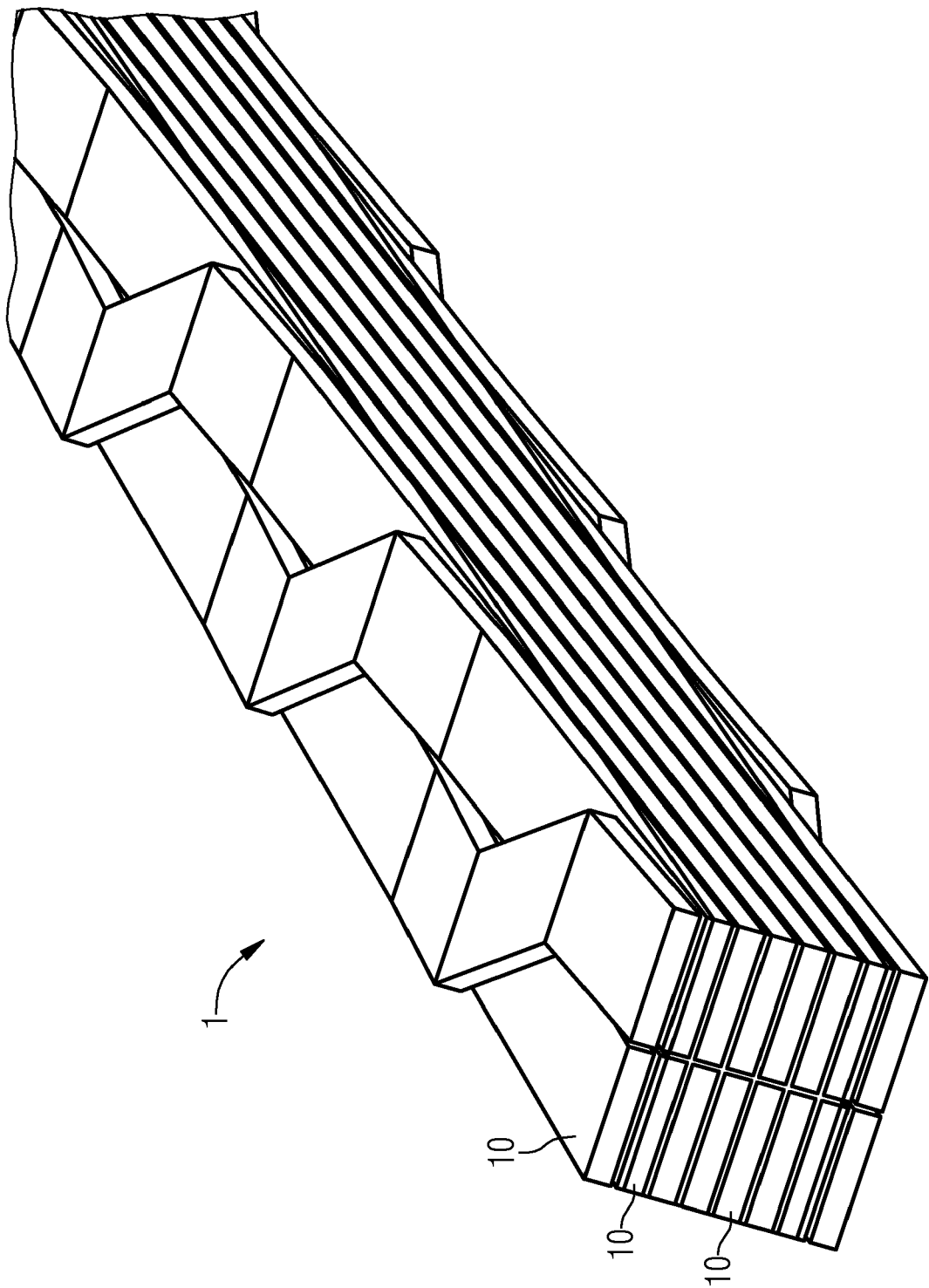


FIG 2

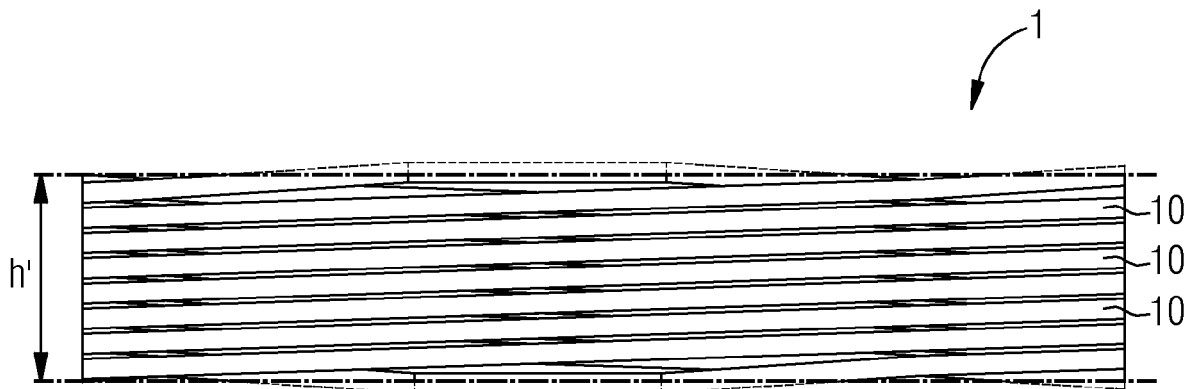


FIG 3

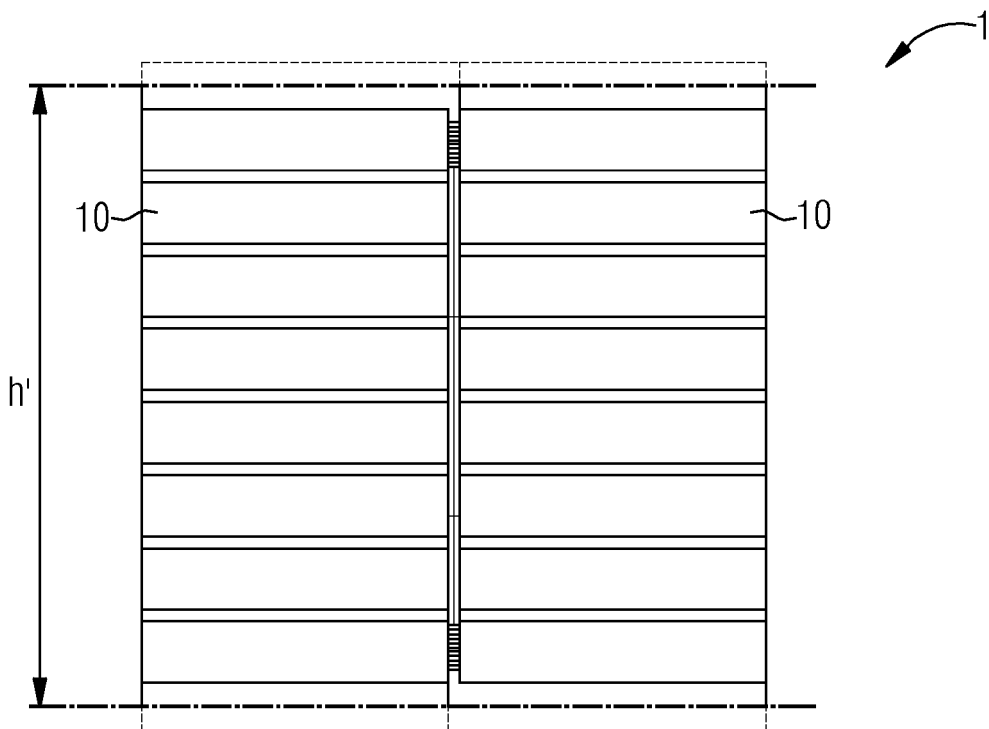


FIG 4

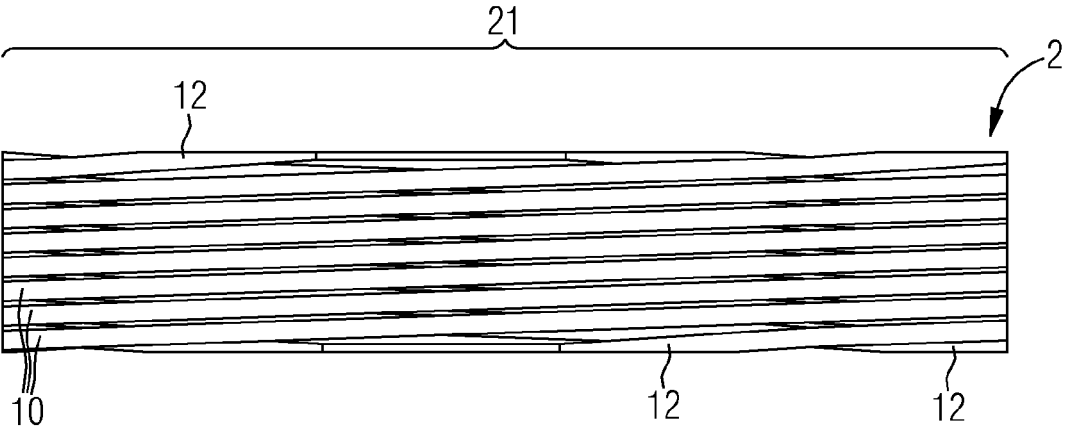
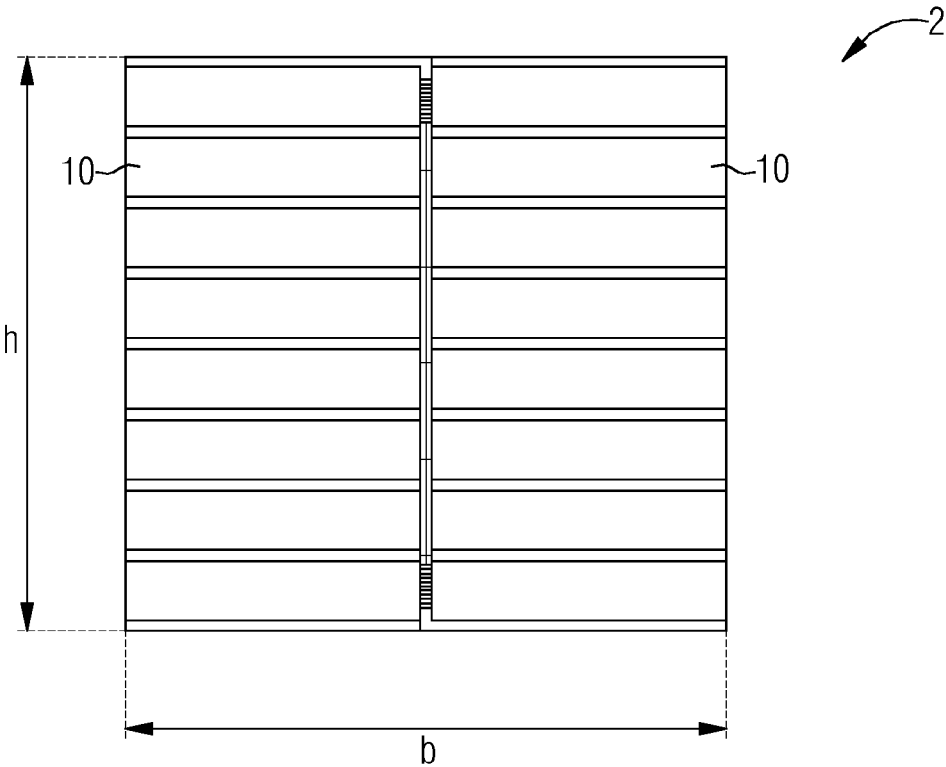


FIG 5



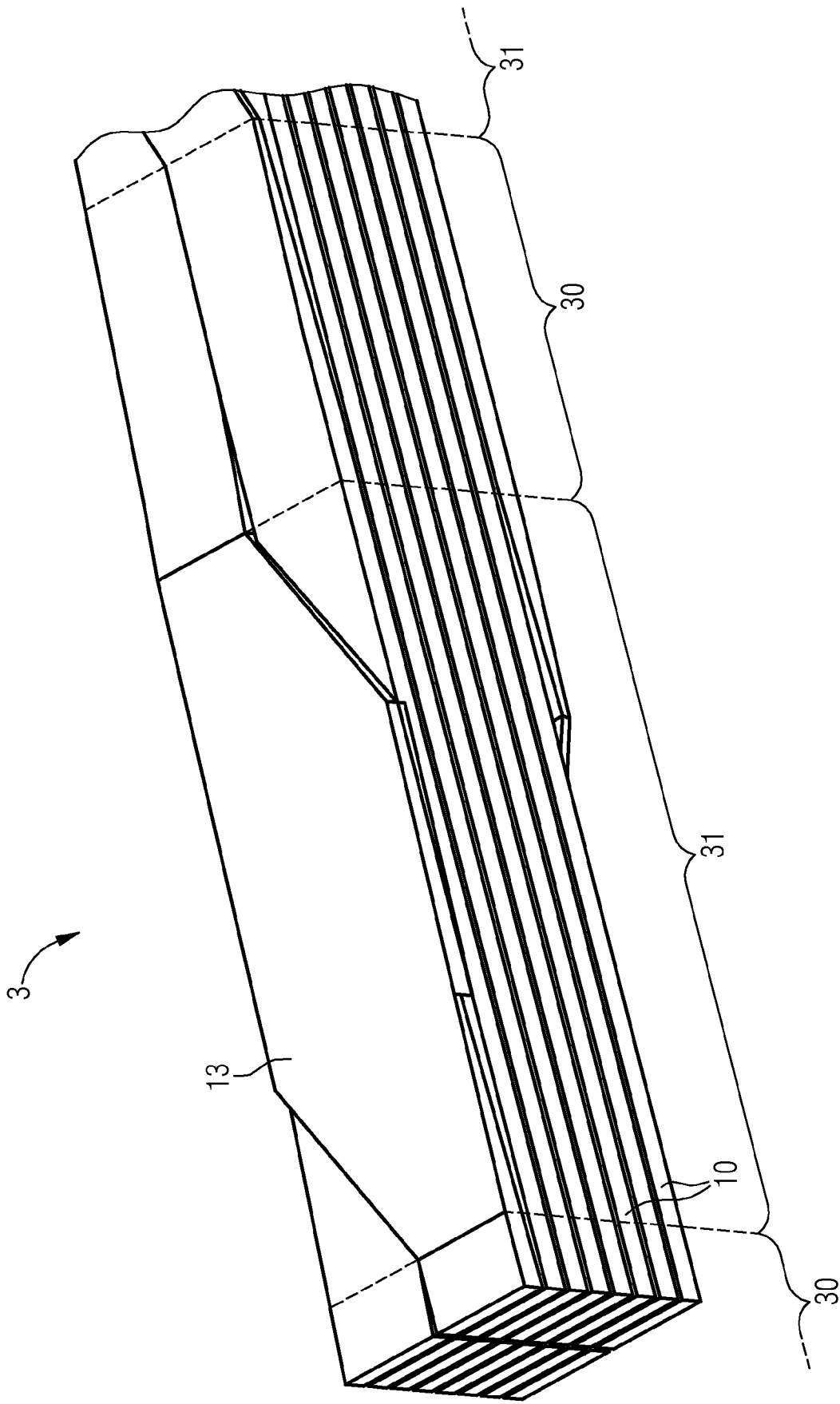


FIG 6

FIG 7

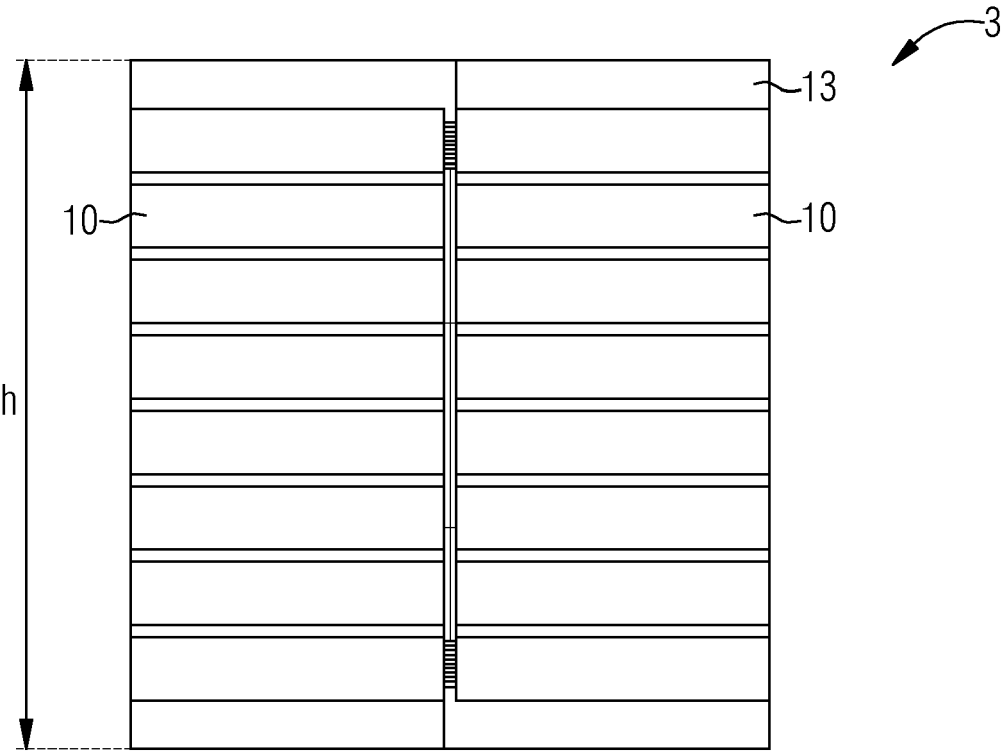
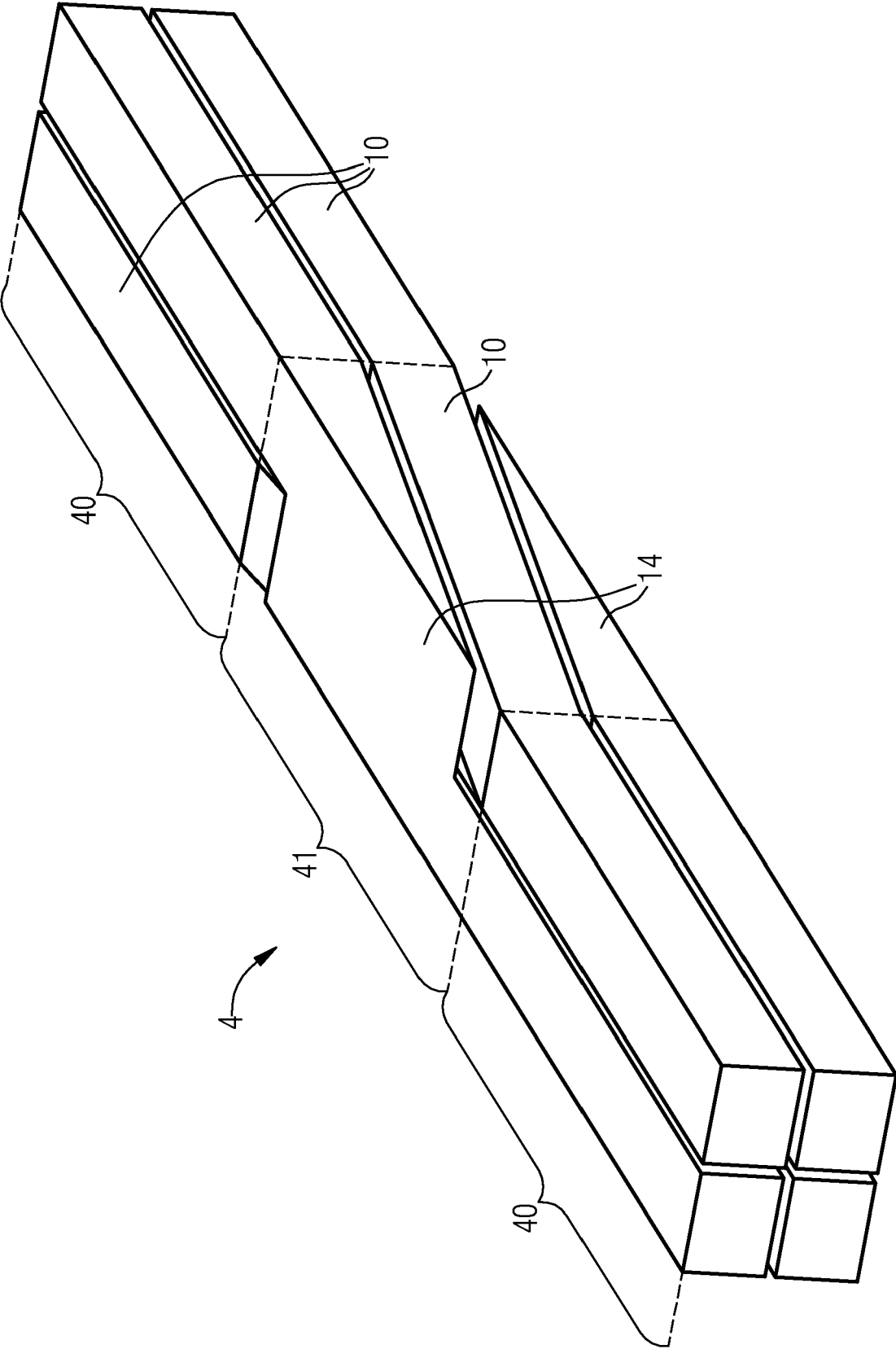


FIG 8



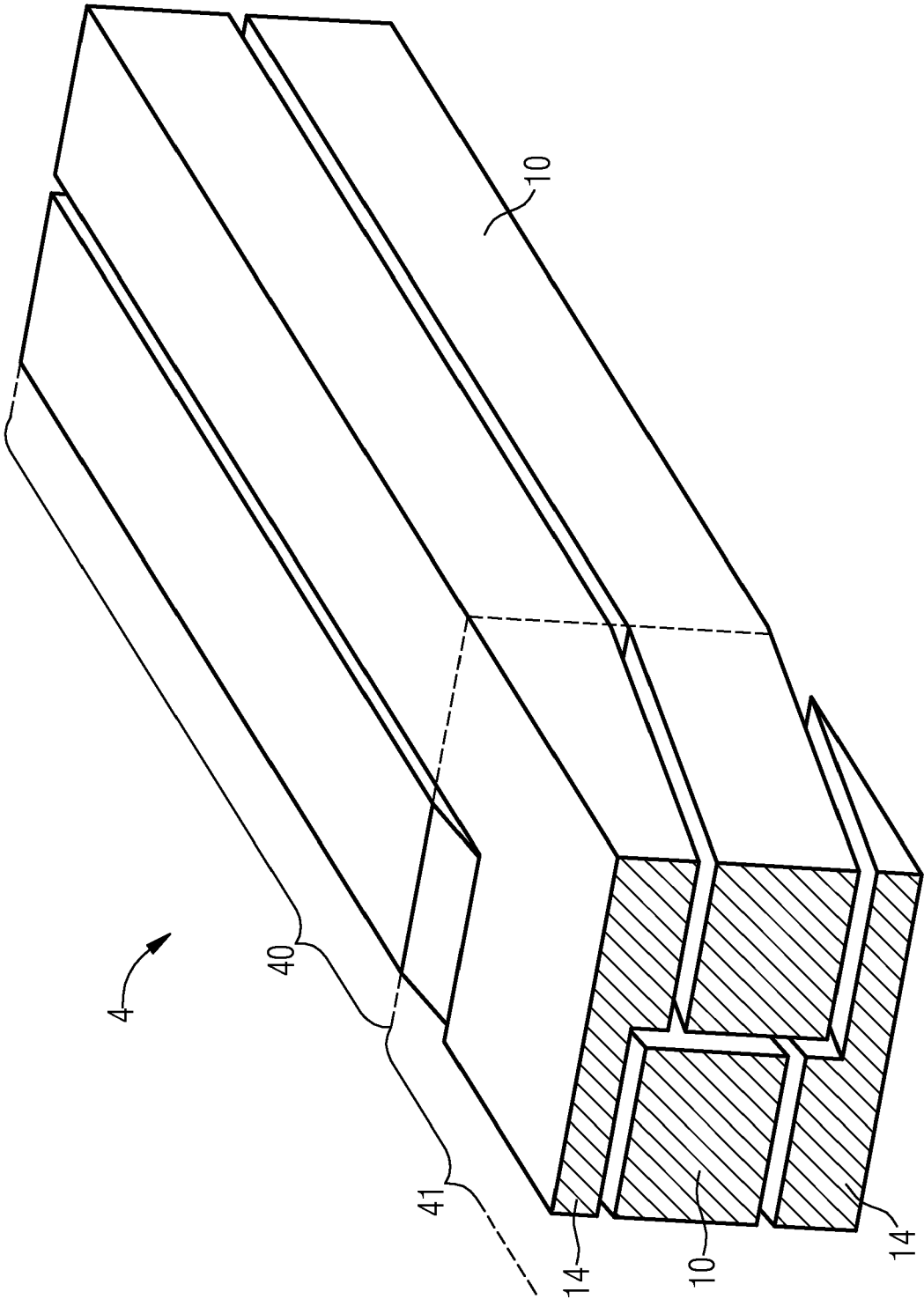


FIG 9

FIG 10

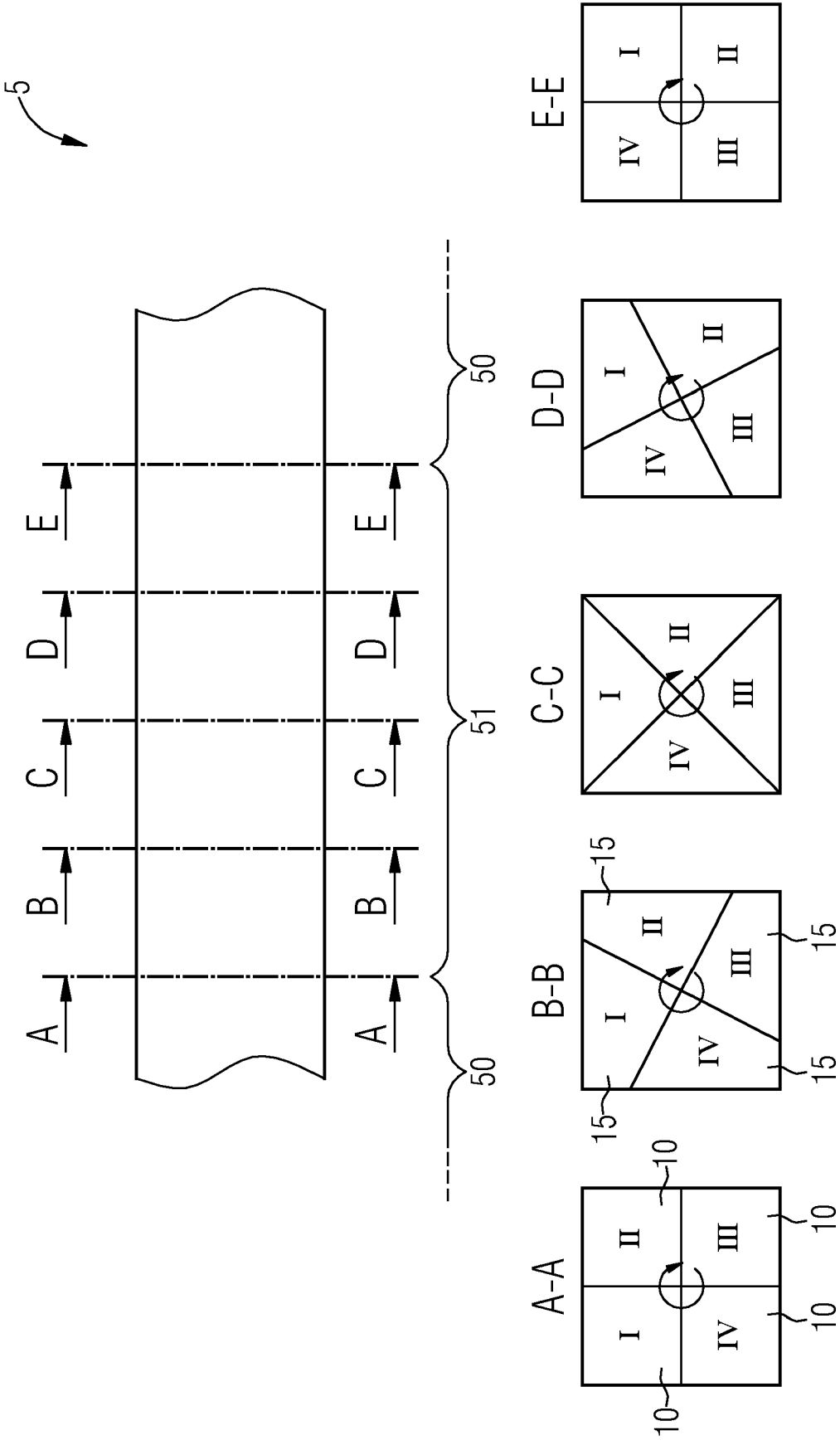
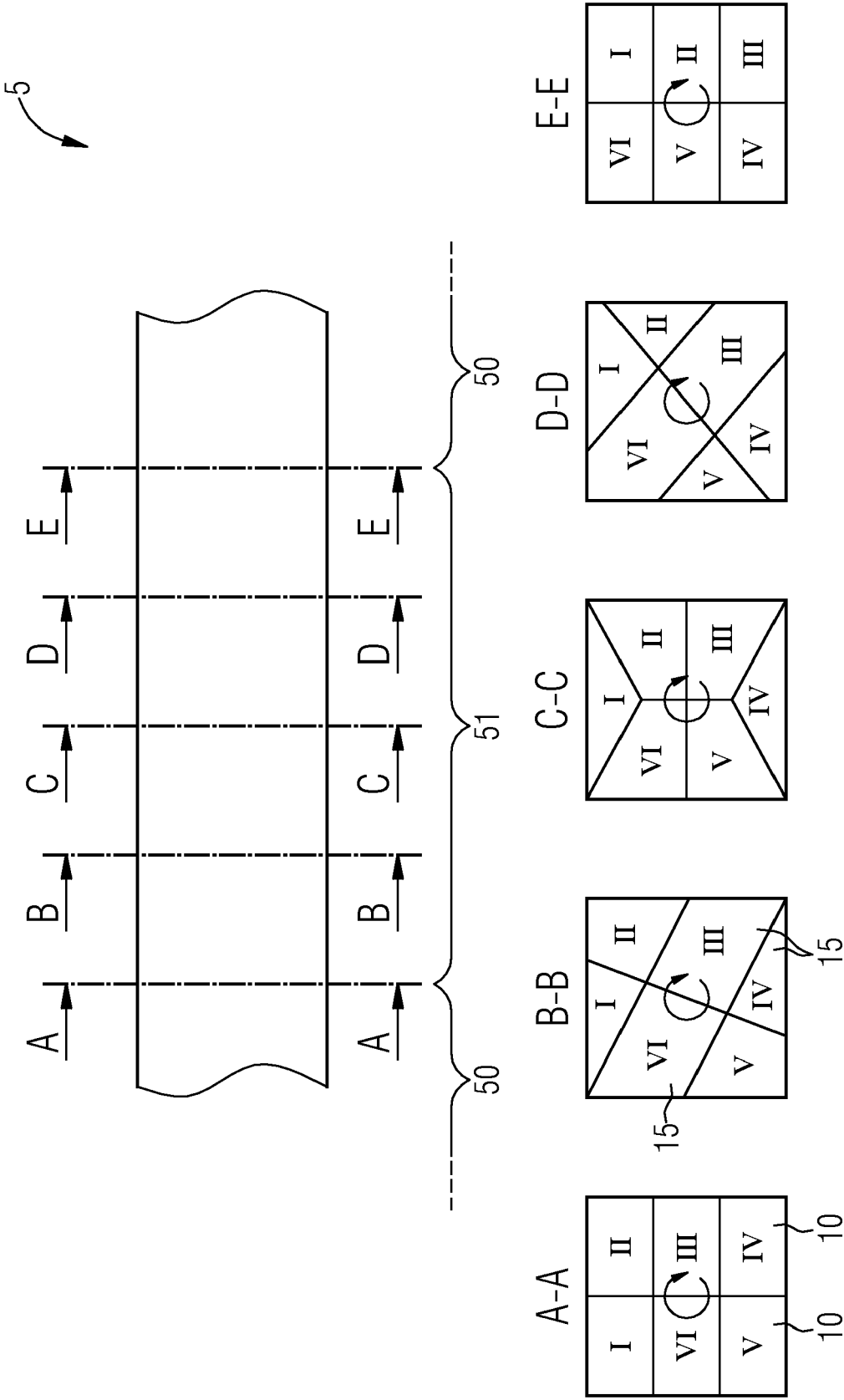


FIG 11





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 19 4270

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2015/114676 A1 (VIENNE GRÉGOIRE [CH] ET AL) 30. April 2015 (2015-04-30) * Absätze [0051], [0060]; Abbildung 7 * -----	1, 2, 4-14	INV. H01B7/30
X	EP 4 044 200 A1 (HITACHI ENERGY SWITZERLAND AG [CH]) 17. August 2022 (2022-08-17) * Absatz [0034]; Abbildung 8 * -----	1-8, 10-15	
X	US 4 262 163 A (DURRELL JAMES M ET AL) 14. April 1981 (1981-04-14) * Abbildungen 4, 6 * -----	1, 2, 4-6, 8-10, 12-14	
X	US 680 277 A (PRIEST EDWARD D [US]) 13. August 1901 (1901-08-13) * Abbildungen 4-6 * -----	1, 2, 4-6, 8-10, 12-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 29. Januar 2024	Prüfer Alberti, Michele
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 19 4270

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
 Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

29-01-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2015114676 A1	30-04-2015	KEINE	
15	EP 4044200 A1	17-08-2022	CN 116848596 A	03-10-2023
			EP 4044200 A1	17-08-2022
			WO 2022175178 A1	25-08-2022
20	US 4262163 A	14-04-1981	GB 2062369 A	20-05-1981
			US 4262163 A	14-04-1981
	US 680277 A	13-08-1901	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82