



(11)

**EP 3 335 280 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**05.01.2022 Patentblatt 2022/01**

(51) Int Cl.:  
**H01R 4/68 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **16756585.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2016/001370**

(22) Anmeldetag: **10.08.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2017/025191 (16.02.2017 Gazette 2017/07)**

(54) **VERBINDER FÜR SUPRALEITFÄHIGE LEITER UND VERWENDUNG DES VERBINDERS**

CONNECTOR FOR SUPERCONDUCTING CONDUCTORS, AND USE OF THE CONNECTOR

CONNECTEUR POUR CONDUCTEURS SUPRACONDUCTEURS ET UTILISATION DU CONNECTEUR

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **WEISS, Klaus-Peter**  
**76297 Stutensee (DE)**

(30) Priorität: **12.08.2015 DE 102015010634**

(74) Vertreter: **Müller-Boré & Partner**  
**Patentanwälte PartG mbB**  
**Friedenheimer Brücke 21**  
**80639 München (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**20.06.2018 Patentblatt 2018/25**

(56) Entgegenhaltungen:  
**GB-A- 2 498 961 JP-A- H0 343 971**  
**JP-A- 2003 123 866 JP-A- 2005 310 395**  
**JP-A- 2010 010 061**

(73) Patentinhaber: **Karlsruher Institut für Technologie**  
**76131 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:  
• **FIETZ, Walter**  
**76344 Eggenstein-Leopoldshafen (DE)**  
• **WOLF, Michael J.**  
**75177 Pforzheim (DE)**  
• **HELLER, Reinhard**  
**76887 Bad Bergzabern (DE)**

Bemerkungen:

Die Akte enthält technische Angaben, die nach dem Eingang der Anmeldung eingereicht wurden und die nicht in dieser Patentschrift enthalten sind.

**EP 3 335 280 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Verbinder für supraleitfähige Leiter sowie eine Verwendung des Verbinders.

**[0002]** Supraleiter sind Materialien, deren elektrischer Widerstand unterhalb einer bestimmten Temperatur, der Übergangstemperatur, komplett verschwindet. Folglich haben Supraleiter keine elektrischen DC-Verluste, sofern sie bei genügend tiefen Temperaturen betrieben werden. Ein Leiter für den Stromtransport oder eine Spule aus solchen supraleitenden Materialien weist folglich keine DC-Verluste auf. Somit kann ein Strom über solchen Leiter sehr effektiv übertragen werden. Insbesondere können mit supraleitenden Magneten hohe Magnetfelder sehr effizient erzeugt werden. Man unterscheidet Tieftemperatur- und Hochtemperatur-Supraleiter nach dem Wert der Temperatur des Phasenübergangs vom supraleitenden zum normalleitenden Zustand. Bei Tieftemperatur-Supraleitern liegt dieser typischerweise unter 30 K, bei Hochtemperatur-Supraleitern zum Teil sehr deutlich höher, z.B. über der Siedetemperatur des Stickstoffs ( $T = -196^\circ\text{C}$ ). Daher werden Hochtemperatur-Supraleiter (HTS) auch für weitergehende Anwendungen diskutiert, da - im Vergleich zu Tieftemperatur-Supraleitern - der Aufwand für die Kühlung deutlich reduziert ist. Dazu zählen u.a. die Energieübertragung, rotierende Maschinen, wie z.B. Generatoren, Motoren, etc., oder Magnete, z.B. für Teilchenbeschleuniger.

**[0003]** Hochtemperatur-Supraleiter aus Seltenerd-Barium-Kupfer-Oxid-Materialien (engl. Rare Earth Barium Copper Oxide, kurz REBCO) sind im Hinblick auf die Feld- und Temperaturbereiche sowie auf die Stromdichte die derzeit auf dem Markt erhältlichen interessantesten HTS-Materialien. Diese Materialien werden in Form von dünnen Bändern hergestellt, bei denen der Supraleiter als dünne Schicht mit einer Dicke von ungefähr  $1\text{ }\mu\text{m}$  auf ein Substrat aufgebracht wird, so dass ein Band mit einer typischen Dicke von  $100\text{ }\mu\text{m}$  bei einer Breite im Millimeter-Bereich entsteht. Für diese flachen Bänder können keine klassischen Verseilungstechniken zur Herstellung von supraleitfähigen Leitern bzw. Kabeln hoher Stromtragfähigkeit angewandt werden. Vielmehr werden in neuesten Ansätzen Stapel von Supraleiterbändern hergestellt, um aus den Supraleiterbändern elektrische Leiter bzw. Kabel für höhere Ströme zu fertigen.

**[0004]** Bei der Übertragung hoher elektrischer Leistungen durch Supraleiter müssen die Leiter entsprechend gekühlt werden. Um hohe Stromdichten im Bündel bzw. Kabel zu erzielen, müssen diese somit auch möglichst kompakt sein. Gleichzeitig ist aber auch eine hohe mechanische Stabilität notwendig, z.B. im Hinblick auf mechanische Abstützung mit möglichst geringem Wärmeinput, thermischen Zyklen oder elektromagnetische Kräfte.

**[0005]** Um solche supraleitfähigen Leiter bzw. Kabel in Anwendungen zu nutzen, sind jedoch nicht nur die Leiter selbst, sondern auch elektrische Verbindungen, mit denen die supraleitfähigen Leiter zusammengefügt bzw.

verbunden werden können, von entscheidender Bedeutung. Insbesondere ist es gerade bei solchen supraleitfähigen Leitern wichtig, dass ein durch die Verbindung entstehender elektrischer Verbinderwiderstand und/oder Verbindungswiderstand möglichst gering oder vernachlässigbar ist. Unter Verbinderwiderstand wird im Sinne dieser Beschreibung insbesondere der elektrische Widerstand des Verbinders selbst verstanden. Die Summe aus dem Verbinderwiderstand und gegebenenfalls auftretenden Kontaktwiderständen zwischen den Leitern und dem Verbinder wird im Folgenden als Verbindungswiderstand bezeichnet.

**[0006]** Herkömmlicherweise werden die einzelnen Supraleiter-Bänder eines supraleitfähigen Leiters oder Kabels individuell mit den Supraleiter-Bändern eines weiteren supraleitfähigen Leiters oder Kabels kontaktiert. Dies ist aber sehr zeit- und kostenaufwendig und daher nicht für industrielle Zwecke geeignet.

**[0007]** Eine weitere bekannte Möglichkeit, supraleitfähige Kabel miteinander zu verbinden, ist die sogenannte Lap-Joint-Verbindung. Hierbei werden die supraleitfähigen Leiter z.B. in einen Kupfer-Block derart eingelötet, dass sich die Enden der zu verbindenden Leiter überlappen. Durch den Überlapp kann der Strom über die komplette eingelötete Länge der supraleitfähigen Leiter direkt von dem einen Leiter in den anderen fließen. Je nach Überlappungsgrad kann der elektrische Verbinderwiderstand gering gehalten werden.

**[0008]** Jedoch weisen die herkömmlichen Lösungen Nachteile auf. So ist es z.B. sehr zeitaufwendig, direkte Verbindungen der einzelnen Supraleiterbänder herzustellen. Darüber hinaus können solche Verbindungen vergleichsweise instabil sein. Bei den Lap-Joint Verbindungen ist ein möglichst großer Überlapp der zu verbindenden Leiter vorteilhaft, um den Verbinderwiderstand zu reduzieren. Dies geht jedoch auf Kosten der Kompaktheit. Zudem sind die herkömmlichen Verbindungsmethoden bzw. Verbinder sehr unflexibel in der Handhabung, insbesondere beim Verlegen von supraleitfähigen Leitern bzw. Kabeln. Ein flexibles Verbinden bzw. Verlegen supraleitfähiger Leiter bzw. Kabel spielt vor allem deshalb eine wichtige Rolle, weil die Supraleiterstapel, aus denen die Leiter bzw. Kabel in der Regel gefertigt sind, sich nur sehr eingeschränkt biegen lassen.

**[0009]** Die Druckschriften JP 2005 310395 A, JP H03 43971 A, JP 2010 010061 A, GB 2 498 961 A und JP 2003 123866 A offenbaren Vorrichtungen und Verfahren zum Verbinden zweier Supraleiter.

**[0010]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Verbinder für supraleitfähige Leiter bzw. Kabel bereitzustellen, welcher kompakt, einfach handhabbar und flexibel einsetzbar ist.

**[0011]** Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0012]** Ein erster unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft einen Verbinder zum elektrischen Verbinden zumindest eines ersten supraleitfähigen Leiters

mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter, umfassend:

- ein elektrisch leitfähiges Basiselement mit einem ersten Endabschnitt, an dem der zumindest eine erste supraleitfähige Leiter elektrisch kontaktierbar, insbesondere anlötfar, ist und einem zweiten Endabschnitt, an dem der zumindest eine zweite supraleitfähige Leiter elektrisch kontaktierbar ist, wobei das Basiselement zumindest eine Nut aufweist; und
- zumindest ein supraleitfähiges Zusatzelement, das zumindest bereichsweise in der Nut des Basiselements angeordnet ist und sich von dem ersten Endabschnitt zu dem zweiten Endabschnitt des Basiselements erstreckt, wobei das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement unabhängig von den miteinander zu verbindenden Leitern in dem Verbind-  
er integriert ist.

**[0013]** Das Basiselement bzw. der Basiskörper des Verbinders ist in erster Linie das mechanische Verbindungs- oder Zwischenstück zwischen den elektrisch zu verbindenden supraleitenden Leitern bzw. Kabeln. Das Basiselement ist aber auch elektrisch leitfähig, d.h. zumindest normalleitfähig. Vorzugsweise ist das Basiselement zumindest teilweise oder vollständig aus einem leitfähigen Metall wie z.B. Kupfer, Aluminium oder Silber gebildet. Beispielsweise ist das Basiselement ein Kupferblock. Das Basiselement weist einen ersten Endabschnitt bzw. ein erstes Ende und einen zweiten Endabschnitt bzw. ein zweites Ende auf. Der erste Endabschnitt bzw. das erste Ende des Basiselements ist ausgelegt, um mit zumindest einem ersten supraleitfähigen Leiter bzw. Kabel kontaktiert, d.h. elektrisch verbunden, zu werden. Beispielsweise kann der erste Endabschnitt mit einem, zwei, drei, vier, usw. ersten supraleitfähigen Leitern kontaktiert werden. Entsprechend ist auch der zweite Endabschnitt bzw. das zweite Ende des Basiselements ausgelegt, um mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter bzw. Kabel kontaktiert bzw. elektrisch verbunden zu werden. Beispielsweise kann der zweite Endabschnitt mit einem, zwei, drei, vier, usw. zweiten supraleitfähigen Leitern kontaktiert werden. Insbesondere kann jeder Endabschnitt des Verbinders bzw. des Basiselements ein oder mehrere vorgesehene Kontaktstellen zum Kontaktieren eines oder mehrerer supraleitfähiger Leiter bzw. Kabel aufweisen.

**[0014]** Mit einem ersten und zweiten Leiter sind im Sinne dieser Beschreibung zwei elektrisch zu verbindende Leiter gemeint. Unter Kontaktieren wird ein elektrisches Verbinden, insbesondere ein thermisches Zusammenfügen bzw. Anlöten oder auch ein Pressen in geeigneten Materialien wie Indium, verstanden.

**[0015]** Der zumindest eine erste und der zumindest eine zweite Leiter sind nicht Bestandteil des erfindungsgemäßen Verbinders. Lediglich in einem montierten Zustand des Verbinders ist der zumindest eine erste Leiter mit dem ersten Endabschnitt des Verbinders und/oder

ist der zumindest eine zweite Leiter mit dem zweiten Endabschnitt des Verbinders verbunden.

**[0016]** Das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement umfasst vorzugsweise einen Supraleiter bzw. ein Supraleiterband und am bevorzugtesten einen Hochtemperatur-Supraleiter bzw. ein Hochtemperatur-Supraleiterband, so dass bei entsprechender Kühlung, d.h. bei Temperaturen unterhalb der Übergangstemperatur des Supraleiters eine supraleitende elektrische Verbindung zwischen dem ersten Endabschnitt und dem zweiten Endabschnitt des Verbinders besteht. Mit anderen Worten ist das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement derart angeordnet, dass es unterhalb der Übergangstemperatur des supraleitfähigen Zusatzelements den ersten Endabschnitt und den zweiten Endabschnitt supraleitend miteinander verbindet. Das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement wirkt somit wie ein supraleitfähiger Bypass, weshalb der erfindungsgemäße Verbinder von den Erfindern auch als "SC-ByPass-Connector" bezeichnet wird.

**[0017]** Im montierten Zustand bewirkt das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement eine im Wesentlichen supraleitende elektrische Verbindung zwischen dem zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiter und dem zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiter. Mit "im Wesentlichen supraleitend" ist gemeint bzw. soll berücksichtigt werden, dass gegebenenfalls Kontaktwiderstände an den Kontaktstellen zwischen den Leitern und dem Verbinder möglich sind.

**[0018]** Das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement ist insbesondere kein Bestandteil eines zu verbindenden Leiters, sondern ein eigener Bestandteil des erfindungsgemäßen Verbinders. Mit anderen Worten ist das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement unabhängig von den miteinander zu verbindenden Leitern in dem Verbinder integriert. Das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement ist zumindest bereichsweise in dem Basiselement angeordnet bzw. integriert. Dabei umfasst der Ausdruck "zumindest bereichsweise" die Begriffe "teilweise", "abschnittsweise" oder "vollständig". Insbesondere ist das zumindest eine supraleitfähige Basiselement zumindest bereichsweise innerhalb des Basiselements, insbesondere in einer Nut des Basiselements, angeordnet.

**[0019]** Das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement in dem erfindungsgemäßen Verbinder bewirkt vorteilhafterweise, dass der Strom bei der Verbindung zweier oder mehrerer Leiter nicht über die volle Strecke durch das Basiselement fließen muss, sondern über das zumindest eine Zusatzelement, welches bei genügend tiefen Temperaturen, d.h. bei Temperaturen unterhalb der Übergangstemperatur des Zusatzelements, keinen elektrischen Widerstand aufweist. Somit kann der elektrische Widerstand des Verbinders weitgehend minimiert bzw. vernachlässigt werden. Zudem ist kein Überlapp der zu verbindenden Leiter notwendig, so dass der erfindungsgemäße Verbinder auch sehr kompakt sein kann.

**[0020]** Im Gegensatz zu herkömmlichen Verbind-

dungstypen, die meist darauf beruhen, die einzelnen Supraleiter-Bänder der zu verbindenden Leiter individuell zu kontaktieren, können mittels des erfindungsgemäßen Verbinders vorteilhafterweise Kontakte zwischen ganzen Leiter bzw. Kabel realisiert werden. Solche Kontakte sind einfach herstellbar und daher auch für eine industrielle Nutzung geeignet.

**[0021]** Es versteht sich, dass der erfindungsgemäße Verbinder nicht nur zum elektrischen Verbinden von supraleitfähigen Leitern bzw. Kabeln, sondern auch zum Verbinden von beliebigen anderen, insbesondere normalleitenden, Leitern bzw. Kabeln geeignet ist.

**[0022]** Das Basiselement weist zumindest eine Nut auf, in der das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement zumindest bereichsweise angeordnet ist. Alternativ oder zusätzlich ist das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement mit dem Basiselement in elektrischem Kontakt oder elektrisch mit dem Basiselement verbunden. Beispielsweise ist das supraleitfähige Zusatzelement in die Nut eingelegt, eingepresst und/oder angelötet. Die Nut kann an einer Oberfläche bzw. Außenseite des Basiselements angeordnet bzw. ausgebildet sein. Eine Ausnehmung kann im Inneren des Basiselements, insbesondere als Durchgangsöffnung von dem ersten zum zweiten Endabschnitt, angeordnet bzw. ausgebildet sein..

**[0023]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Basiselement mehrere Basiselement-Teile. Mit anderen Worten kann sich das Basiselement aus mehreren Basiselement-Teilen zusammensetzen. Im montierten oder zusammengesetzten Zustand des Verbinders bildet die Gesamtheit der Basiselement-Teile das Basiselement. Insbesondere können die Basiselement-Teile derart ausgebildet sein, dass im montierten Zustand des Verbinders zwischen zwei Basiselement-Teilen eine Nut oder Ausnehmung in dem Basiselement ausgebildet ist.

**[0024]** Alternativ oder zusätzlich umfasst das Basiselement ein Gelenk bzw. ein Scharnier. Auf diese Weise ist es vorteilhafterweise möglich, das Basiselement bzw. den Verbinder in einfacher Weise zu biegen.

**[0025]** Alternativ oder zusätzlich ist das Basiselement teilweise oder vollständig aus Kupfer gebildet. Beispielsweise umfasst das Basiselement einen oder mehrere Kupfer-Blöcke. Insbesondere kann das Basiselement ein Kupfer-Block sein.

**[0026]** Alternativ oder zusätzlich umfasst bzw. ist das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement zumindest ein Supraleiterband, insbesondere ein Hochtemperatur-Supraleiterband. Vorzugsweise umfasst das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement einen Stapel aus Supraleiterbändern bzw. ist das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement ein Stapel aus Supraleiterbändern.

**[0027]** Ein Supraleiterband ist ein Band, welches ein Substrat umfasst, auf das ein Supraleiter, insbesondere ein Hochtemperatur-Supraleiter wie z.B. REBCO, als dünne Schicht, beispielsweise mit einer Dicke von etwa

1  $\mu\text{m}$ , aufgebracht ist. Das Substrat kann z.B. eine Dicke von etwa 100  $\mu\text{m}$  aufweisen. Ein Supraleiterband hat somit beispielsweise ebenfalls eine Dicke von etwa 100  $\mu\text{m}$  und kann z.B. eine Breite von einigen Millimetern aufweisen.

**[0028]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Basiselement mehrere Basiselement-Teile bzw. Basiselement-Abschnitte, die insbesondere ineinander verschiebbar sind, um Längenänderungen auszugleichen, wobei eine Länge des zumindest einen supraleitfähigen Zusatzelements größer ist als die Summe der Längen der Basiselement-Teile. Mit anderen Worten ist eine Länge des zumindest einen supraleitfähigen Zusatzelements größer als eine Länge des Basiselements. Beispielsweise kann das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement, insbesondere in einem mittleren Abschnitt des Verbinders, bogenförmig um das Basiselement angeordnet sein. Mit anderen Worten kann das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement, insbesondere in einem mittleren Abschnitt des Verbinders, C-förmig ausgebildet bzw. gebogen sein. Vorzugsweise weist der gebogene Abschnitt des zumindest einen supraleitfähigen Zusatzelements einen Radius  $> 1\text{ cm}$  auf. Somit kann gewährleistet werden, dass das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement bzw. dessen Supraleiterband oder dessen Supraleiterbänder im Wesentlichen degradationsfrei gebogen ist bzw. sind und somit den Strom bei Winkel- oder Längenänderungen des Basiselements weiterhin überträgt bzw. übertragen.

**[0029]** Vorzugsweise umfasst der Verbinder bzw. das Basiselement bzw. zumindest eines der Basiselement-Teile eine Verschiebe-Nut, in der ein oder mehrere Basiselement-Teile bewegbar bzw. verschiebbar sind. Mit Hilfe der Nut ist das Basiselement bzw. der Verbinder in seiner Länge variabel bzw. variierbar.

**[0030]** Bei einem Basiselement, welches mehrere Basiselement-Teile umfasst, kann das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement bzw. der zumindest eine supraleitfähige Bandstapel in einfacher Weise z.B. auf der Innenseite der Basiselement-Teile angeordnet bzw. angebracht sein. Die mit dem Verbinder zu verbindenden Leiter bzw. Kabel können zudem in einfacher Weise mit den Endabschnitten des Verbinders kontaktiert, insbesondere eingepresst oder eingelötet werden. Der Zwischenraum zwischen Kabel und Verbinder kann in einfacher Weise verringert und damit optimiert werden.

**[0031]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der Verbinder bzw. das Basiselement geeignet, n erste supraleitfähige Leiter mit n zweiten supraleitfähigen Leitern elektrisch zu verbinden, wobei der Verbinder n oder ein ganzzahliges Vielfaches von n supraleitfähige Zusatzelemente umfasst und wobei n eine natürliche ganze Zahl größer Null ist. Insbesondere ist n gleich 1, 2, 3, 4, 5, usw.

**[0032]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das zumindest eine leitfähige Basiselement und insbesondere auch das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement geradlinig oder gewinkelt bzw. gebogen

ausgebildet. Alternativ oder zusätzlich ist das zumindest eine leitfähige Basiselement und insbesondere auch das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement derart geformt, dass in einem montierten Zustand des Verbinders eine Längsachse des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters und eine Längsachse des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters einen Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  einschließen bzw. bilden. Dabei bedeutet z.B. ein Winkel von  $0^\circ$  einen geradlinigen Verbind-  
 5 der und ein Winkel von  $180^\circ$  einen U-förmigen Verbind-  
 10

**[0033]** In dem montierten Zustand ist der erste Endabschnitt des Basiselements mit zumindest einem ersten supraleitfähigen Leiter kontaktiert bzw. verbunden und/oder ist der zweite Endabschnitt des Basiselements mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter kontaktiert bzw. elektrisch verbunden.

**[0034]** Die Form des Verbinders, d.h. des Basiselements und/oder des supraleitfähigen Zusatzelements lässt sich beliebig anpassen, so dass sich gerade Verbindungen genauso wie gewinkelte Verbindungen verwirklichen lassen. Somit ist es nicht erforderlich, den supraleitfähigen Leiter bzw. das supraleitfähige Kabel stark zu biegen. Eine solche Verbiegung führt nämlich bei den derzeit erhältlichen supraleitfähigen Leitern, insbesondere bedingt durch die gestapelten Supraleiter-Einzelbänder bzw. des dadurch gebildeten Supraleiterkörpers der Leiter, in der Regel zu einer Degradation des Supraleiters. Eine solche Degradation kann mit dem erfindungsgemäßen Verbinder vermieden werden. Denn im Vergleich zu Supraleiterstapel können Supraleiter-Einzelbänder in einer einfachen Biegerichtung relativ stark gebogen werden, beispielsweise in Radien von wenigen Zentimetern. Somit sind unter Verwendung eines supraleitfähigen Zusatzelements, welches ein einziges oder nur wenige Supraleiterbänder umfasst, auch entsprechend stark gewinkelte bzw. gebogene Verbind-  
 20 der realisierbar.

**[0035]** Mit dem erfindungsgemäßen Verbinder kann somit in einfacher Weise ein beliebiger Weg bzw. eine beliebige Strecke, z.B. in Rohren, Kanälen oder Schächten, mit im Wesentlichen geradlinigen supraleitfähigen Leitern und mit Hilfe von entsprechenden erfindungsgemäßen Verbindern bzw. Winkelstücken ausgelegt bzw. verlegt werden. Man könnte eine gewisse Ähnlichkeit zum Verlegen von Wasserleitungen sehen, wenn man den Aspekt der Kühlung vernachlässigt: Die Verbind-  
 25 der nehmen die Rolle der Press- oder LötfitTINGS ein, die supraleitfähigen Leiter die Rolle der Leitungsrohre.

**[0036]** Ein weiterer unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft eine Verwendung des erfindungsgemäßen Verbinders zum Verbinden zumindest eines ersten supraleitfähigen Leiters mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter.

**[0037]** Vorzugsweise umfasst der zumindest eine erste und der zumindest eine zweite supraleitfähige Leiter jeweils eine Vielzahl von Supraleiterbändern, die jeweils zu einem Bandstapel angeordnet sind und jeweils einen Supraleiterkörper des jeweiligen supraleitfähigen Leiters

bilden.

**[0038]** Insbesondere umfasst der zumindest eine erste supraleitfähige Leiter eine Vielzahl von Supraleiterbändern, die zu einem ersten Bandstapel angeordnet sind und einen ersten Supraleiterkörper des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters bilden. Entsprechend umfasst der zumindest eine zweite supraleitfähige Leiter eine Vielzahl von Supraleiterbändern, die zu einem zweiten Bandstapel angeordnet sind und einen zweiten Supraleiterkörper des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters bilden.

**[0039]** Insbesondere weist der Supraleiterkörper einen kreuzförmigen Querschnitt auf.

**[0040]** Insbesondere weist der Bandstapel des Supraleiterkörpers Supraleiterbänder mit genau zwei verschiedenen Breiten auf.

**[0041]** In einer bevorzugten Ausführungsform wird der erste Endabschnitt des Verbinders elektrisch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters kontaktiert. Alternativ oder zusätzlich wird der zweite Endabschnitt des Verbinders elektrisch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters kontaktiert.

**[0042]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der erste Endabschnitt des Verbinders elektrisch mit einem Hüllrohr des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters kontaktiert. Alternativ oder zusätzlich wird der zweite Endabschnitt des Verbinders elektrisch mit einem Hüllrohr des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters kontaktiert.

**[0043]** Es ist auch möglich, dass der erste Endabschnitt des Verbinders sowohl mit dem Hüllrohr als auch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters elektrisch kontaktiert wird. Entsprechend ist es möglich, dass der zweite Endabschnitt des Verbinders elektrisch sowohl mit dem Hüllrohr als auch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters kontaktiert wird.

**[0044]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt das elektrische Kontaktieren durch ein Einpressen oder ein thermisches Zusammenfügen, insbesondere durch ein Verbinden mittels Aufheizen bzw. durch ein Einlöten.

**[0045]** Für den oben genannten weiteren unabhängigen Aspekt und insbesondere für diesbezügliche bevorzugte Ausführungsformen gelten auch die vor- oder nachstehend gemachten Ausführungen zu den Ausführungsformen des ersten Aspekts. Insbesondere gelten für einen unabhängigen Aspekt der vorliegenden Erfindung und für diesbezügliche bevorzugte Ausführungsformen auch die vor- und nachstehend gemachten Ausführungen zu den Ausführungsformen der jeweils anderen Aspekte.

**[0046]** Insbesondere wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung auch ein supraleitfähiges System bereitgestellt, welches einen ersten supraleitfähigen Leiter, einen zweiten supraleitfähigen Leiter und den erfin-

dungsgemäßen Verbinder umfasst. Der Verbinder dient insbesondere zum elektrischen Verbinden des ersten und zweiten supraleitfähigen Leiters. Insbesondere verbindet der Verbinder den ersten supraleitfähigen Leiter mit dem zweiten supraleitfähigen Leiter elektrisch. Insbesondere weist der erste und/oder der zweite supraleitfähige Leiter bzw. der Bandstapel bzw. der Supraleiterkörper des ersten und/oder des zweiten supraleitfähigen Leiters, wie vorstehend und/oder nachstehend beschrieben, einen kreuzförmigen Querschnitt auf. Der kreuzförmige Querschnitt wird insbesondere dadurch realisiert, dass der Supraleiterkörper aus einem Bandstapel gebildet ist, welcher ausschließlich Bänder mit zwei verschiedenen Breiten aufweist oder ausschließlich aus Bändern mit zwei verschiedenen Breiten besteht.

**[0047]** Im Folgenden werden einzelne Ausführungsformen zur Lösung der Aufgabe anhand der Figuren beispielhaft beschrieben. Dabei weisen die einzelnen beschriebenen Ausführungsformen zum Teil Merkmale auf, die nicht zwingend erforderlich sind, um den beanspruchten Gegenstand auszuführen, die aber in bestimmten Anwendungsfällen gewünschte Eigenschaften bereit stellen. So sollen auch Ausführungsformen als unter die beschriebene technische Lehre fallend offenbart angesehen werden, die nicht alle Merkmale der im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen aufweisen. Ferner werden, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, bestimmte Merkmale nur in Bezug auf einzelne der im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen erwähnt. Es wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Ausführungsformen daher nicht nur für sich genommen sondern auch in einer Zusammenschau betrachtet werden sollen. Anhand dieser Zusammenschau wird der Fachmann erkennen, dass einzelne Ausführungsformen auch durch Einbeziehung von einzelnen oder mehreren Merkmalen anderer Ausführungsformen modifiziert werden können. Es wird darauf hingewiesen, dass eine systematische Kombination der einzelnen Ausführungsformen mit einzelnen oder mehreren Merkmalen, die in Bezug auf andere Ausführungsformen beschrieben werden, wünschenswert und sinnvoll sein kann, und daher in Erwägung gezogen und auch als von der Beschreibung umfasst angesehen werden soll.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

##### **[0048]**

- Figur 1 zeigt eine schematische Skizze einer herkömmlichen Lap-Joint-Verbindung;
- Figur 2 zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Figur 3 zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

- Figur 4a zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 5 Figur 4b zeigt eine perspektivische Detailansicht des Verbinders gemäß Figur 4a;
- Figur 4c zeigt eine Querschnittsansicht des Verbinders gemäß Figur 4a;
- 10 Figur 5 zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 15 Figur 6a zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Figur 6b zeigt eine perspektivische Detailansicht des Verbinders gemäß Figur 6a;
- 20 Figur 7a zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 25 Figur 7b zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- 30 Figur 8 zeigt eine schematische Zeichnung des Querschnittes eines beispielhaften supraleitfähigen Leiters, welcher mittels des erfindungsgemäßen Verbinders mit einem anderen Leiter verbunden werden kann;
- 35 Figur 9 zeigt eine schematische Zeichnung des Querschnittes eines weiteren beispielhaften supraleitfähigen Leiters, welcher mittels des erfindungsgemäßen Verbinders mit einem anderen Leiter verbunden werden kann.
- 40

**[0049]** Die **Figur 1** zeigt eine schematische Skizze einer herkömmlichen Lap-Joint-Verbindung von zwei elektrischen Leitern. Bei dieser Lap-Joint-Verbindung besteht der Verbinder lediglich aus einem elektrisch leitfähigen Zwischenstück 15, welches Ausnehmungen aufweist, in denen die zu verbindenden Leiter eingelötet werden können.

**[0050]** Wie in der **Figur 1** dargestellt, sind ein erster Leiter 10 und ein zweiter Leiter 20 in Ausnehmungen eines Kupfer-Blocks 15 derart eingelötet, dass sich der erste Leiter 10 und der zweite Leiter 20 überlappen. Auf diese Weise kann Strom über die komplett eingelötete Länge der Leiter 10 bzw. 20 direkt vom ersten Leiter 10 in den zweiten Leiter 20 oder umgekehrt fließen. Der Verbinder bzw. das Zwischenstück 15 weist keinen zusätzlichen Supraleiter auf.

**[0051]** Alternativ zur Lap-Joint-Verbindung werden

herkömmlicherweise die Supraleiter des ersten Leiters 10 und die Supraleiter des zweiten Leiters 20 in einzelne Bestandteile aufgefächert und dann jeweils einzeln miteinander verbunden.

**[0052]** Die **Figur 2** zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders 100 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Verbinder 100 ist in dieser ersten Ausführungsform geradlinig ausgebildet und in einem montierten Zustand dargestellt.

**[0053]** Der Verbinder 100 umfasst ein Basiselement 30 und zumindest ein supraleitfähiges Zusatzelement 40. In dem Beispiel der **Figur 2** umfasst der Verbinder 100 insbesondere sechs supraleitfähige Zusatzelemente 40. Jedes dieser supraleitfähigen Zusatzelemente 40 ist in einer zugehörigen Ausnehmung bzw. Nut des Basiselements 30 angeordnet und erstreckt sich von einem ersten Endabschnitt bzw. Ende 32 zu einem zweiten Endabschnitt bzw. Ende 34 des Basiselements 30.

**[0054]** In dem Beispiel der **Figur 2** ist in dem montierten Zustand des Verbinders 100 der erste Endabschnitt 32 des Verbinders 100 mit drei ersten supraleitfähigen Leiter bzw. Kabel 10 kontaktiert bzw. elektrisch verbunden. Entsprechend ist der zweite Endabschnitt 34 in dem montierten Zustand des Verbinders 100 mit drei zweiten supraleitfähigen Leiter 20 kontaktiert bzw. elektrisch verbunden. Insbesondere sind die supraleitfähigen Leiter 10, 20 jeweils an die entsprechenden Enden 32, 34 des Verbinders 100 angelötet.

**[0055]** In dem Beispiel der **Figur 2** sind jeweils drei supraleitfähige Zusatzelemente 40 an einer Oberseite des Basiselements 30 angeordnet, während drei weitere supraleitfähige Zusatzelemente 40 an einer der Oberseite gegenüberliegenden Unterseite des Basiselements 30 angeordnet sind. Insbesondere liegen sich jeweils zwei supraleitfähige Zusatzelemente gegenüber, d.h. jeweils ein supraleitfähiges Zusatzelement der Oberseite des Basiselements 30 liegt einem supraleitfähigen Zusatzelement der Unterseite des Basiselements 30 gegenüber. Jeder der ersten supraleitfähigen Leiter 10 kontaktiert im montierten Zustand des Verbinders 100 zumindest ein, insbesondere ein zu der vorgesehenen Kontaktstelle, zugehöriges supraleitfähiges Zusatzelement 40. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Strom, zumindest unterhalb der Übergangstemperatur der supraleitenden Zusatzelemente 40, im Wesentlichen durch die supraleitenden Zusatzelemente 40 des Verbinders 100 fließt. Der Verbinder- bzw. der Verbindungswiderstand des Verbinders 100 kann somit minimiert werden.

**[0056]** Die **Figur 3** zeigt eine schematische Zeichnung eines Verbinders 100 gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Verbinder 100 unterscheidet sich in dieser weiteren Ausführungsform von der Ausführungsform gemäß **Figur 2** nur dadurch, dass der Verbinder 100 gewinkelt bzw. gebogen ausgebildet ist. Insbesondere sind das Basiselement 30 und auch die supraleitenden Zusatzelemente 40 gewinkelt bzw. gebogen ausgebildet.

**[0057]** Wie ebenfalls in der **Figur 3** dargestellt, sind

das zumindest eine leitfähige Basiselement 30 und auch das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement 40 derart geformt ist, dass in dem montierten Zustand des Verbinders 100, eine Längsachse des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters 10 und eine Längsachse des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters 20 einen Winkel  $\alpha$  einschließen bzw. bilden. Bei dem geradlinigen Verbinder 100 gemäß der **Figur 2** ist  $\alpha = 0^\circ$ . Bei dem Verbinder gemäß der **Figur 3** beträgt  $\alpha$  etwa  $90^\circ$ . Der Winkel  $\alpha$  kann prinzipiell jeden Wert größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $180^\circ$  einnehmen. Für  $\alpha = 180^\circ$  ist der Verbinder U-förmig ausgebildet. Insbesondere kann eine Vielzahl an Verbindern 100 mit unterschiedlichen Winkeln  $\alpha$  hergestellt werden, so dass diese je nach Bedarf eingesetzt werden können.

**[0058]** Die **Figuren 4a bis 4c** zeigen schematische Zeichnungen eines Verbinders 100 gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform ist das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement 40 des Verbinders innerhalb des Basiselements 30, d.h. auf einer Innenseite des Basiselements 30 bzw. des Verbinders 100 angeordnet. Damit lässt sich ein sehr niedriger Kontaktwiderstand erzielen, da der Strom nur durch eine dünne Lotschicht vom Supraleiter des Leiters bzw. Kabels 10 bzw. 20 zum supraleitfähigen Zusatzelement 40 des Verbinders 100 fließen muss. Die Menge an Supraleiter im Verbinder entspricht vorzugsweise mindestens der Menge an Supraleiter im Leiter bzw. Kabel 10 bzw. 20.

**[0059]** Wie in der Detailansichten der **Figuren 4b und 4c** zu erkennen ist, umfasst das Basiselement 30 vier Basiselement-Teile 30a bis 30d. Die Basiselement-Teile 30a bis 30d sind jeweils als Viertelschalen ausgebildet. Jeweils an einer Innenseite dieser Basiselement-Teile 30a bis 30d sind zwei supraleitfähige Zusatzelemente 40 angeordnet, insbesondere eingelegt, eingepresst oder eingelötet. Im montierten bzw. zusammengefügt Zustand des Verbinders 100 sind die Basiselement-Teile 30a bis 30d um die zu verbindenden Leiter- bzw. Kabelenden 10 bzw. 20 angeordnet.

**[0060]** Es versteht sich, dass auch andere Ausführungsformen, bei denen der Verbinder 100 bzw. das Basiselement 30 mehrere Basiselement-Teile umfasst, möglich sind. Beispielsweise kann das Basiselement ein, zwei, drei, vier, fünf, usw., Basiselement-Teile umfassen. Auch die Anzahl und die Anordnung an supraleitfähigen Zusatzelementen 40 können variieren.

**[0061]** Die **Figur 5** zeigt eine schematische Zeichnung des Verbinders gemäß den **Figuren 4a bis 4c** zusammen mit zwei Heiz- und Pressvorrichtungen 30e und 30f. Diese Heiz- und Pressvorrichtungen 30e und 30f dienen zum Aufheizen und Pressen des Verbinders 100 während des Verbindungsvorgangs und werden danach entfernt.

**[0062]** Die **Figuren 6a und 6b** zeigen schematische Zeichnungen eines Verbinders 100 gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform ist der Verbinder 100 gewinkelt ausgebildet. Das Basiselement 30 umfasst zwei Basise-

lement-Teile 30g und 30h. Das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement 40 bzw. die acht supraleitfähigen Zusatzelemente 40 sind jeweils in einer Ausnehmung zwischen den beiden Basiselement-Teilen 30g und 30h, d.h. innerhalb des Basiselements 30 angeordnet. Der Verbinder 100 ist in dieser Ausführungsform ausgelegt, zwei Leiter bzw. Kabel 10 und 20 zu verbinden, welche jeweils einen Supraleiterkörper 50 mit kreuzförmigem Querschnitt aufweisen.

**[0063]** Die Leiter bzw. Kabel 10 und 20 weisen jeweils ein Hüllrohr 80 auf, welches den Supraleiterkörper 50 umgibt. Sowohl der Supraleiterkörper 50 als auch das Hüllrohr 80 können mit den Endabschnitten des Verbinders 100 kontaktiert werden. Insbesondere können die Kabelenden zwischen die Basiselement-Teile 30g und 30h gelegt und dann mit diesen verbunden, insbesondere verlötet und/oder gepresst, werden.

**[0064]** Bei dem gewinkelten Verbinder 100 sind die supraleitenden Zusatzelemente bzw. die Supraleiterbänder alle in der gleichen Ebene orientiert, um sie so entlang ihrer einfachen Biegeachse degradationsfrei um den 90°-Winkel zu führen.

**[0065]** Die **Figuren 7a und 7b** zeigen schematische Zeichnungen eines Verbinders 100 gemäß weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

**[0066]** In der Ausführungsform der **Figur 7a** weist der Verbinder 100 in einem mittleren Abschnitt des Verbinders 100 ein Gelenk bzw. Scharnier 37 auf, mit dessen Hilfe ein Winkel des Verbinders 100 variierbar bzw. einstellbar ist. Dies ist in der **Figur 7a** durch einen gebogenen Pfeil schematisch angedeutet. Die sich durch den Verbinder erstreckenden supraleitenden Zusatzelemente 40 bzw. Supraleiterbänder sind in dem mittleren Abschnitt des Verbinders 100 C-förmig gebogen und weisen somit im Vergleich zum Basiselement 30 bzw. zu den Basiselement-Teilen 30i und 30j, wie auch zum Verbinder 100 selbst, eine größere Länge auf. Der minimale Biegeradius von REBCO-Bändern beträgt in einer einfachen Biegerichtung typischerweise 1 cm. Die supraleitenden Bänder weisen daher vorzugsweise einen C-förmigen Bogen mit einem Radius  $> 1\text{ cm}$  auf, so dass auf diese Weise die Biegung des Supraleiters degradationsfrei bleibt.

**[0067]** In der Ausführungsform der **Figur 7b** kann der Verbinder 100 entlang einer Nut bzw. Verschiebe-Nut in seiner Länge variiert werden bzw. seine Länge eingestellt werden. Dies ist in der **Figur 7b** durch einen geraden Pfeil schematisch angedeutet. Dies ist insbesondere beim Abkühlen des Verbinders 100 unter die Übergangstemperatur von Vorteil, um dabei auftretende Längenänderungen zu kompensieren.

**[0068]** Die sich durch den Verbinder erstreckenden supraleitenden Zusatzelemente bzw. Supraleiterbänder 40 sind in dem mittleren Abschnitt des Verbinders 100 C-förmig gebogen. Die supraleitenden Bänder weisen daher vorzugsweise einen C-förmigen Bogen mit einem Radius  $> 1\text{ cm}$  auf, so dass auf diese Weise die Biegung des Supraleiters degradationsfrei bleibt und der Strom bei

Längenänderungen des Basiskörpers weiterhin übertragen werden kann.

**[0069]** Der Querschnitt des Verbinders 100 ist vorzugsweise derart gewählt, dass im Quench-Fall der Strom bis zur Abschaltung über das Basiselement 30 bzw. die Basiselement-Teile fließen kann.

**[0070]** Der erfindungsgemäße Verbinder 100 kann somit zum Verbinden zumindest eines ersten supraleitfähigen Leiters mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter verwendet werden. Dabei kann der zumindest eine erste und der zumindest eine zweite supraleitfähige Leiter jeweils eine Vielzahl von Supraleiterbändern umfassen, die jeweils zu einem Bandstapel angeordnet sind und jeweils einen Supraleiterkörper des jeweiligen supraleitfähigen Leiters bilden.

**[0071]** In den **Figuren 8 und 9** sind zwei Beispiele eines supraleitfähigen Leiters gezeigt, welche mit dem erfindungsgemäßen Verbinder 100 elektrisch bzw. supraleitend verbunden werden können.

**[0072]** Die **Figur 8** zeigt ein schematisches Bild des Querschnittes eines beispielhaften supraleitfähigen Leiters 10 bzw. 20, welcher mittels des erfindungsgemäßen Verbinders mit einem weiteren Leiter verbunden werden kann. Der supraleitfähige Leiter 10 bzw. 20 umfasst mehrere Supraleiterbänder 3, die jeweils dieselbe Breite aufweisen und aufeinandergestapelt sind. Der Querschnitt der aufeinandergestapelten Supraleiterbänder 3 ist in diesem Beispiel rechteckig bzw. quadratisch. Durch den Bandstapel ist ein Supraleiterkörper 50 ausgebildet.

**[0073]** In der **Figur 9** ist ein schematisches Bild des Querschnittes eines weiteren beispielhaften supraleitfähigen Leiters 10 bzw. 20 gezeigt, welcher mittels des erfindungsgemäßen Verbinders mit einem weiteren Leiter verbunden werden kann. Im Vergleich zu dem supraleitfähigen Leiter aus der **Figur 8** weist der Bandstapel bzw. der Supraleiterkörper 50 keinen quadratischen, sondern einen kreuzförmigen Querschnitt auf. Dies wird dadurch erreicht, dass Supraleiterbänder 1 bzw. 2 mit jeweils zwei unterschiedlichen Breiten verwendet werden, um den Supraleiterstapel bzw. den Supraleiterkörper 50 zu bilden.

**[0074]** Die Endabschnitte 32 bzw. 34 des Verbinders 100 können jeweils mit dem Supraleiterkörper 50 eines supraleitfähigen Leiters bzw. Kabels kontaktiert werden. Ein supraleitfähiger Leiter kann auch ein Hüllrohr 80 umfassen. Insbesondere kann der Supraleiterkörper 50 eines supraleitfähigen Leiters durch ein Hüllrohr 80 umgeben sein. Dieses Hüllrohr 80 kann ebenfalls an einen Endabschnitt 32, 34 des Verbinders 100 kontaktiert werden. Auf diese Weise ist eine Verbindung bzw. Kontaktierung in sehr einfacher und stabiler Weise möglich.

**[0075]** Die erfindungsgemäßen Verbinder 100 bzw. das damit verbundene modulare Verbindungskonzept, d.h. der Bereitstellung einer Vielzahl von Verbindern mit unterschiedlichen Winkeln  $\alpha$ , erlaubt die einfache technische Einsetzbarkeit supraleitfähiger Leiter bzw. Kabel auch bei komplexen Geometrien. Mit Hilfe des Verbinders 100 lassen sich die supraleitfähigen Leiter analog



zu einer Wasserleitung verlegen. Dabei nimmt der Verbinder die Rolle eines Press- oder Lötfittings ein, während die supraleitfähigen Leiter bzw. Kabel die Rolle von zu verbindenden Leitungsrohren einnehmen.

## Bezugszeichenliste

### [0076]

|     |                                                                     |  |
|-----|---------------------------------------------------------------------|--|
| 1   | Supraleiterband                                                     |  |
| 2   | Supraleiterband                                                     |  |
| 5   | Supraleiterband                                                     |  |
| 10  | Erster supraleitfähiger Leiter bzw. erstes supraleitfähiges Kabel   |  |
| 15  | Zwischenstück / Kupferblock                                         |  |
| 20  | Zweiter supraleitfähiger Leiter bzw. zweites supraleitfähiges Kabel |  |
| 30  | Basiselement / Kupferblock                                          |  |
| 30a | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30b | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30c | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30d | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30e | Heiz- und Pressvorrichtung                                          |  |
| 30f | Heiz- und Pressvorrichtung                                          |  |
| 30g | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30h | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30i | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30j | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30k | Teil des Basiselements                                              |  |
| 30l | Teil des Basiselements                                              |  |
| 32  | Erster Endabschnitt / erstes Ende                                   |  |
| 34  | Zweiter Endabschnitt / zweites Ende                                 |  |
| 37  | Gelenk / Scharnier                                                  |  |
| 40  | Supraleitfähiges Zusatzelement                                      |  |
| 50  | Supraleiterstapel / Supraleiterkörper                               |  |
| 80  | Hüllrohr                                                            |  |
| 100 | Verbinder                                                           |  |

## Patentansprüche

1. Verbinder (100) zum elektrischen Verbinden zumindest eines ersten supraleitfähigen Leiters (10) mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter (20), umfassend:

- ein elektrisch leitfähiges Basiselement (30) mit einem ersten Endabschnitt (32), an dem der zumindest eine erste supraleitfähige Leiter (10) elektrisch kontaktierbar ist und einem zweiten Endabschnitt (34), an dem der zumindest eine zweite supraleitfähige Leiter (20) elektrisch kontaktierbar ist, wobei das Basiselement (30) zumindest eine Nut aufweist; **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verbinder (100) zumindest ein supraleitfähiges Zusatzelement (40) aufweist, das zumindest bereichsweise in der Nut des Basiselements (30) angeordnet ist und sich

von dem ersten Endabschnitt (32) zu dem zweiten Endabschnitt (34) des Basiselements (30) erstreckt, wobei das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement (40) unabhängig von den miteinander zu verbindenden Leitern (10, 20) in dem Verbinder (100) integriert ist.

2. Verbinder (100) nach Anspruch 1, wobei das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement (40) mit dem Basiselement (30) elektrisch in Kontakt ist.

3. Verbinder (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Basiselement (30) mehrere Basiselement-Teile (30a-30d; 30g-30h; 30i-30j; 30k-30l) umfasst und/oder wobei das Basiselement (30) ein Gelenk (37) umfasst und/oder wobei das Basiselement (30) teilweise oder vollständig aus Kupfer gebildet ist und/oder wobei das zumindest eine supraleitfähige Zusatzelement (40) ein Supraleiterband oder ein Stapel aus Supraleiterbändern umfasst.

4. Verbinder (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Basiselement (30) mehrere Basiselement-Teile (30i-30j; 30k-30l) umfasst und wobei eine Länge des zumindest einen supraleitfähigen Zusatzelements (40) größer ist als die Summe der Längen der Basiselement-Teile (30i-30j; 30k-30l).

5. Verbinder (100) nach Anspruch 4, wobei das Basiselement (30) eine Verschiebe-Nut umfasst, in der zumindest eines der Basiselement-Teile (30k, 30l) verschiebbar ist.

6. Verbinder (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Basiselement (30) geeignet ist, n erste supraleitfähige Leiter (10) mit n zweiten supraleitfähigen Leitern (20) elektrisch zu verbinden, wobei der Verbinder (100) n oder ein ganzzahliges Vielfaches von n supraleitfähige Zusatzelemente (40) umfasst und wobei n eine natürliche ganze Zahl größer Null ist.

7. Verbinder (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei

das zumindest eine leitfähige Basiselement (30) geradlinig oder gewinkelt ausgebildet ist, und/oder wobei

das zumindest eine leitfähige Basiselement (30) derart geformt ist, dass in einem montierten Zustand des Verbinders (100), eine Längsachse des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters (10) und eine Längsachse des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters (20) einen Winkel zwischen 0° und 180° einschließen.

8. Verwendung des Verbinders (100) nach einem der

vorangehenden Ansprüche zum Verbinden zumindest eines ersten supraleitfähigen Leiters (10) mit zumindest einem zweiten supraleitfähigen Leiter (20).

9. Verwendung nach Anspruch 8, wobei der zumindest eine erste und der zumindest eine zweite supraleitfähige Leiter jeweils eine Vielzahl von Supraleiterbändern (1, 2; 5) umfasst, die jeweils zu einem Bandstapel angeordnet sind und jeweils einen Supraleiterkörper (50) des jeweiligen supraleitfähigen Leiters bilden. 10
10. Verwendung nach Anspruch 9, wobei der Supraleiterkörper (50) einen kreuzförmigen Querschnitt aufweist. 15
11. Verwendung nach Anspruch 9 oder 10, wobei der Bandstapel des Supraleiterkörpers (50) Supraleiterbänder (1, 2) mit genau zwei verschiedenen Breiten aufweist. 20
12. Verwendung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei der erste Endabschnitt (32) des Verbinders (100) elektrisch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters (10) und/oder wobei der zweite Endabschnitt (34) des Verbinders (100) elektrisch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters (20) kontaktiert wird. 25 30
13. Verwendung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei der erste Endabschnitt (32) des Verbinders (100) elektrisch mit einem Hüllrohr (80) des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters (10) kontaktiert wird, und/oder wobei der zweite Endabschnitt (34) des Verbinders (100) elektrisch mit einem Hüllrohr (80) des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters (20) kontaktiert wird. 35 40
14. Verwendung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei der erste Endabschnitt (32) des Verbinders (100) sowohl mit dem Hüllrohr (80) als auch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen ersten supraleitfähigen Leiters (10) elektrisch kontaktiert wird, und/oder wobei der zweite Endabschnitt (34) des Verbinders (100) sowohl mit dem Hüllrohr (80) als auch mit dem Supraleiterkörper des zumindest einen zweiten supraleitfähigen Leiters (20) elektrisch kontaktiert wird. 45 50
15. Verwendung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei das elektrische Kontaktieren durch ein Einpressen oder ein thermisches Zusammenfügen erfolgt. 55

## Claims

1. A connector (100) for electrically connecting at least one first superconducting conductor (10) to at least one second superconducting conductor (20), comprising: 5
  - an electrically conductive base element (30) with a first end portion (32) on which the at least one first superconducting conductor (10) can be electrically contacted and a second end portion (34) on which the at least one second superconducting conductor (20) can be electrically contacted, wherein the base element (30) has at least one groove; **characterized in that** the connector (100) has at least one superconducting additional element (40) that is arranged at least in regions in the groove in the base element (30) and extends from the first end portion (32) to the second end portion (34) of the base element (30), wherein the at least one superconducting additional element (40) is integrated into the connector (100) independently of the conductors (10, 20) to be connected to each other.
2. The connector (100) according to claim 1, wherein the at least one superconducting additional element (40) is in electrical contact with the base element (30).
3. The connector (100) according to claim 1 or 2, wherein the base element (30) comprises multiple base element parts (30a-30d; 30g-30h; 30i-30j; 30k-30l) and/or wherein the base element (30) comprises a joint (37) and/or wherein the base element (30) is formed partially or completely from copper and/or wherein the at least one superconducting additional element (40) comprises a superconducting band or a stack of superconducting bands. 35 40
4. The connector (100) according to one of the preceding claims, wherein the base element (30) comprises multiple base element parts (30i-30j; 30k-30l) and wherein a length of the at least one superconducting additional element (40) is larger than the sum of the lengths of the base element parts (30i-30j; 30k-30l). 45
5. The connector (100) according to claim 4, wherein the base element (30) comprises a displacement groove in which at least one of the base element parts (30k, 30l) can be displaced. 50
6. The connector (100) according to one of the preceding claims, wherein the base element (30) is suitable for electrically connecting n first superconducting conductors (10) to n second superconducting conductors (20), wherein the connector (100) comprises n or a whole-number multiple of n superconducting 55

additional elements (40) and wherein n is a natural whole number greater than zero.

7. The connector (100) according to one of the preceding claims, wherein
  - the at least one conductive base element (30) is designed to be straight or curved, and/or wherein
  - the at least one conductive base element (30) is formed such that, in an installed state of the connector (100), a longitudinal axis of the at least one first superconducting conductor (10) and a longitudinal axis of the at least one second superconducting conductor (20) encloses an angle between 0° and 180°.
8. A use of the connector (100) according to one of the preceding claims to connect at least one first superconducting conductor (10) to at least one second superconducting conductor (20).
9. The use according to claim 8, wherein the at least one first and the at least one second superconducting conductors each comprise a plurality of superconducting bands (1, 2; 5), which are each arranged for form a band stack and each form a superconducting body (50) of the respective superconducting conductor.
10. The use according to claim 9, wherein the superconducting body (50) has a cross-shaped cross-section.
11. The use according to claim 9 or 10, wherein the band stack of the superconducting body (50) has superconducting bands (1, 2) with exactly two different widths.
12. The use according to one of claims 9 to 11, wherein the first end portion (32) of the connector (100) is electrically contacted by the superconducting body of the at least one first superconducting conductor (10) and/or wherein the second end portion (34) of the connector (100) is electrically contacted by the superconducting body of the at least one second superconducting conductor (20).
13. The use according to one of claims 8 to 12, wherein the first end portion (32) of the connector (100) is electrically contacted by a casing tube (80) of the at least one first superconducting conductor (10), and/or wherein the second end portion (34) of the connector (100) is electrically contacted by a casing tube (80) of the at least one second superconducting conductor (20).
14. The use according to one of claims 8 to 13, wherein the first end portion (32) of the connector (100) is

electrically contacted both by the casing tube (80) and by the superconducting body of the at least one first superconducting conductor (10), and/or wherein the second end portion (34) of the connector (100) is electrically contacted both by the casing tube (80) and by the superconducting body of the at least one second superconducting conductor (20).

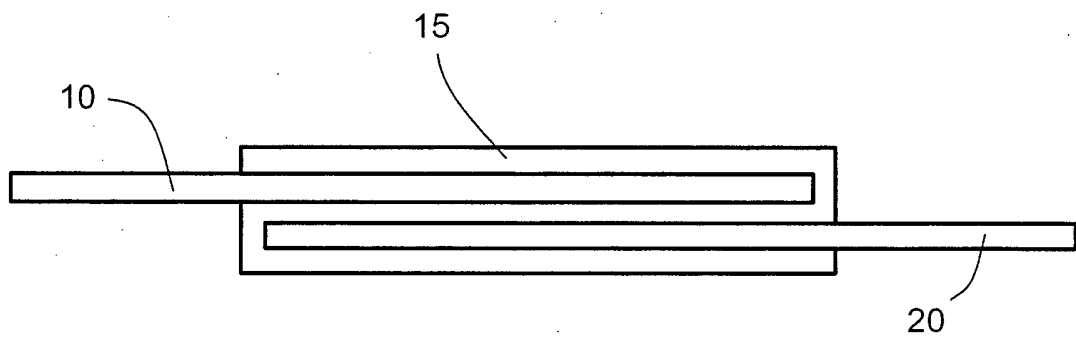
15. The use according to one of claims 12 to 14, wherein the electrical contact takes place through pressing or thermal joining.

## Revendications

1. Connecteur (100) pour la connexion électrique d'au moins un premier conducteur supraconducteur (10) à au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20), comportant :
  - un élément de base (30) électriquement conducteur avec une première section terminale (32) avec laquelle l'au moins un premier conducteur supraconducteur (10) peut être mis en contact électrique, et une deuxième section terminale (34) avec laquelle l'au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20) peut être mis en contact, l'élément de base (30) présentant au moins une rainure ; **caractérisé en ce que** le connecteur (100) présente au moins un élément supplémentaire supraconducteur (40), lequel est disposé au moins partiellement dans la rainure de l'élément de base (30) et s'étend à partir de la première section terminale (32) vers la deuxième section terminale (34) de l'élément de base (30), l'au moins un élément supplémentaire supraconducteur (40) étant intégré dans le connecteur (100) indépendamment des conducteurs (10, 20) à relier entre eux.
2. Connecteur (100) selon la revendication 1, dans lequel l'au moins un élément supplémentaire supraconducteur (40) est en contact électrique avec l'élément de base (30).
3. Connecteur (100) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'élément de base (30) comporte plusieurs parties d'élément de base (30a-30d ; 30g-30h ; 30i-30j ; 30k-30l) et/ou dans lequel l'élément de base (30) comporte une articulation (37) et/ou dans lequel l'élément de base (30) est partiellement ou entièrement constitué de cuivre et/ou dans lequel l'au moins un élément supplémentaire supraconducteur (40) comporte une bande supraconductrice ou une pile de bandes supraconductrices.
4. Connecteur (100) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément de base (30)

- comporte plusieurs parties d'élément de base (30i-30j ; 30k-30l) et dans lequel une longueur de l'au moins un élément supplémentaire supraconducteur (40) est supérieure à la somme des longueurs des parties d'élément de base (30i-30j ; 30k-30l). 5
5. Connecteur (100) selon la revendication 4, dans lequel l'élément de base (30) comporte une rainure de coulissement, dans laquelle l'une au moins des parties d'élément de base (30k, 30l) peut coulisser. 10
6. Connecteur (100) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément de base (30) est adapté pour connecter électriquement n premiers conducteurs supraconducteurs (10) à n deuxièmes conducteurs supraconducteurs (20), dans lequel le connecteur (100) comporte n ou un multiple entier de n éléments supplémentaires supraconducteurs (40) et dans lequel n est un nombre entier naturel supérieur à zéro. 15 20
7. Connecteur (100) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel
- l'au moins un élément de base (30) conducteur est conçu rectiligne ou coudé, et/ou dans lequel 25
  - l'au moins un élément de base (30) conducteur est formé de telle façon que dans un état monté du connecteur (100), un axe longitudinal de l'au moins un premier conducteur supraconducteur (10) et un axe longitudinal de l'au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20) forment un angle entre 0° et 180°. 30
8. Utilisation du connecteur (100) selon l'une des revendications précédentes, pour la connexion d'au moins un premier conducteur supraconducteur (10) à au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20). 35 40
9. Utilisation selon la revendication 8, dans laquelle l'au moins un premier et l'au moins un deuxième conducteur supraconducteur comportent une pluralité de bandes supraconductrices (1, 2 ; 5), lesquelles sont disposées respectivement en une pile de bandes et forment respectivement un corps de supraconducteur (50) du conducteur supraconducteur respectif. 45
10. Utilisation selon la revendication 9, dans laquelle le corps de supraconducteur (50) présente une section transversale cruciforme. 50
11. Utilisation selon la revendication 9 ou 10, dans laquelle la pile de bandes du corps de supraconducteur (50) présente des bandes supraconductrices (1, 2) de précisément deux largeurs différentes. 55
12. Utilisation selon l'une des revendications 9 à 11, dans laquelle la première section terminale (32) du connecteur (100) est mise en contact électrique avec le corps de supraconducteur de l'au moins un premier conducteur supraconducteur (10) et/ou dans laquelle la deuxième section terminale (34) du connecteur (100) est mise en contact électrique avec le corps de supraconducteur de l'au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20).
13. Utilisation selon l'une des revendications 8 à 12, dans laquelle la première section terminale (32) du connecteur (100) est mise en contact électrique avec une gaine (80) de l'au moins un premier conducteur supraconducteur (10), et/ou dans laquelle la deuxième section terminale (34) du connecteur (100) est mise en contact électrique avec une gaine (80) de l'au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20).
14. Utilisation selon l'une des revendications 8 à 13, dans laquelle la première section terminale (32) du connecteur (100) est mise en contact électrique aussi bien avec la gaine (80) qu'avec le corps de supraconducteur de l'au moins un premier conducteur supraconducteur (10), et/ou dans laquelle la deuxième section terminale (34) du connecteur (100) est mise en contact électrique aussi bien avec la gaine (80) qu'avec le corps de supraconducteur de l'au moins un deuxième conducteur supraconducteur (20).
15. Utilisation selon l'une des revendications 12 à 14, dans laquelle la mise en contact électrique est effectuée par sertissage ou par assemblage thermique.

Fig. 1



Stand der Technik

Fig. 2

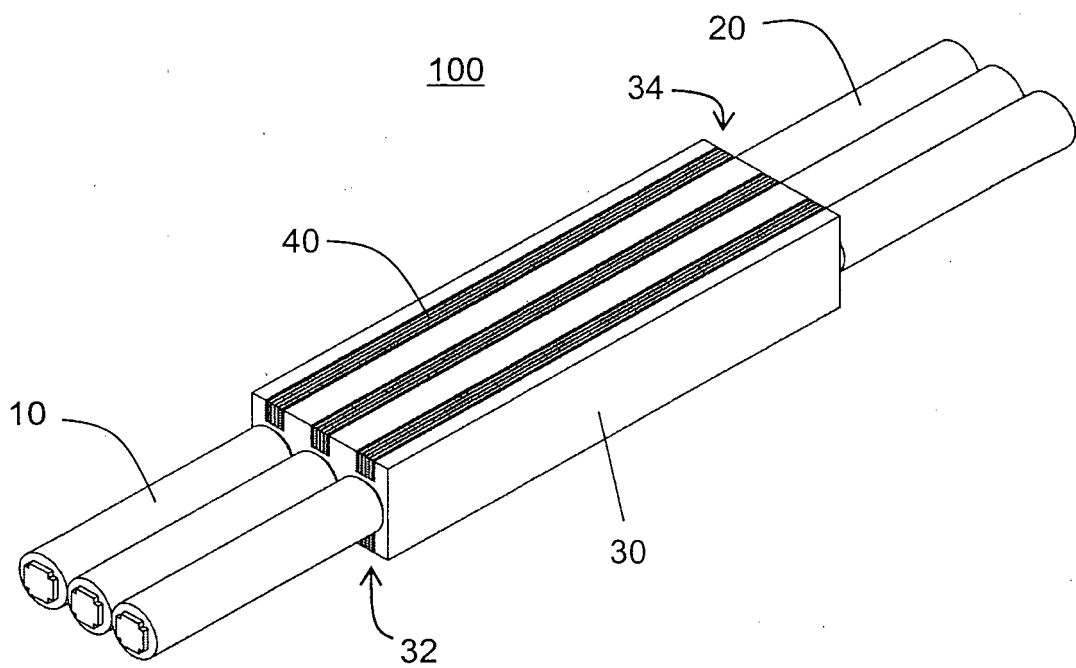


Fig. 3

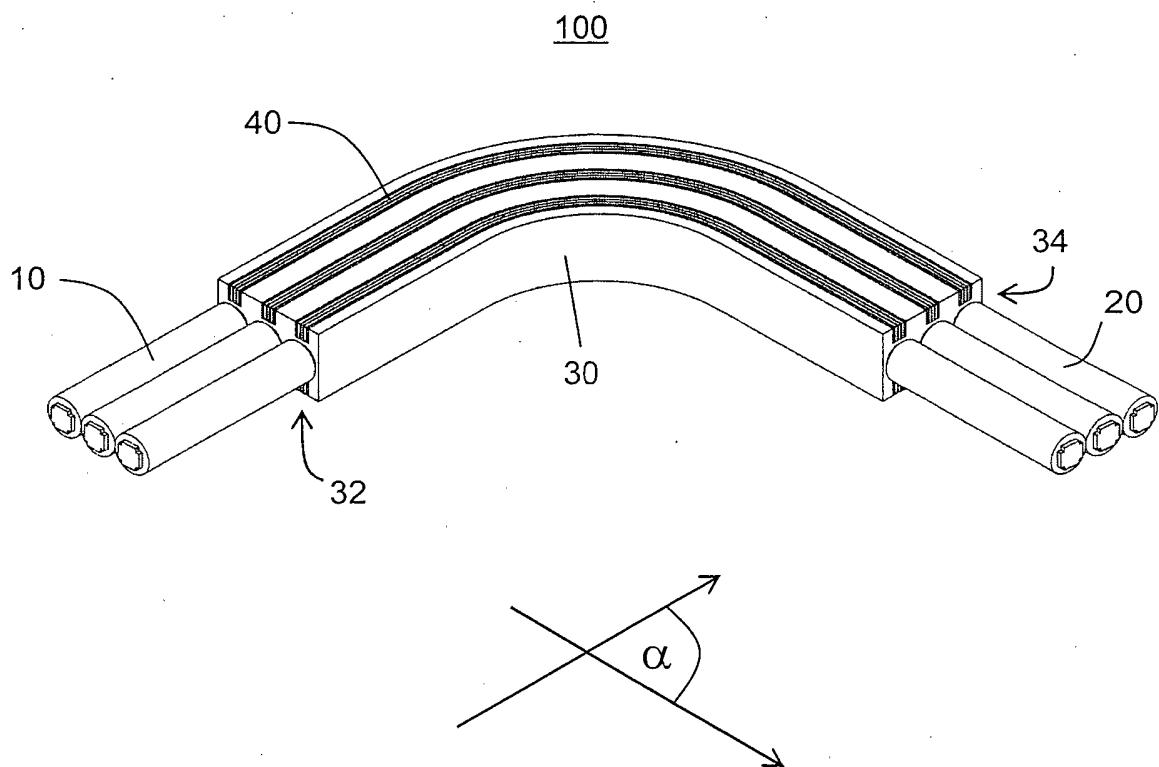


Fig. 4a

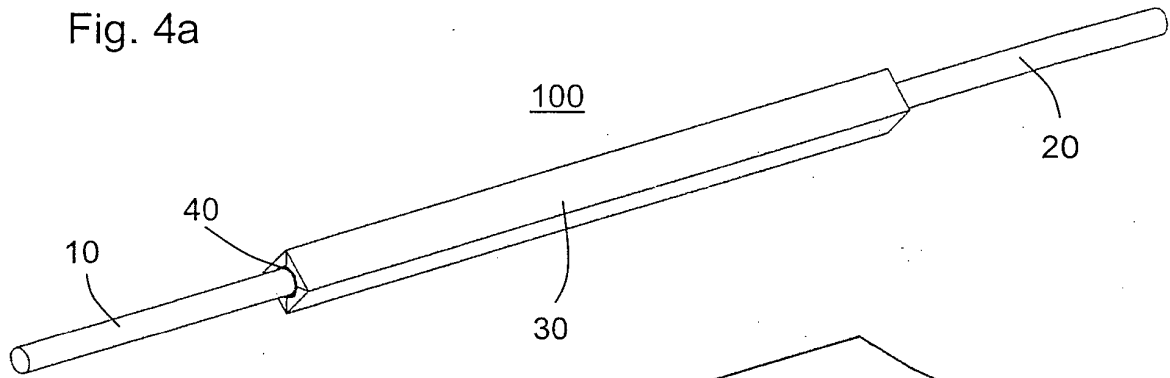


Fig. 4b

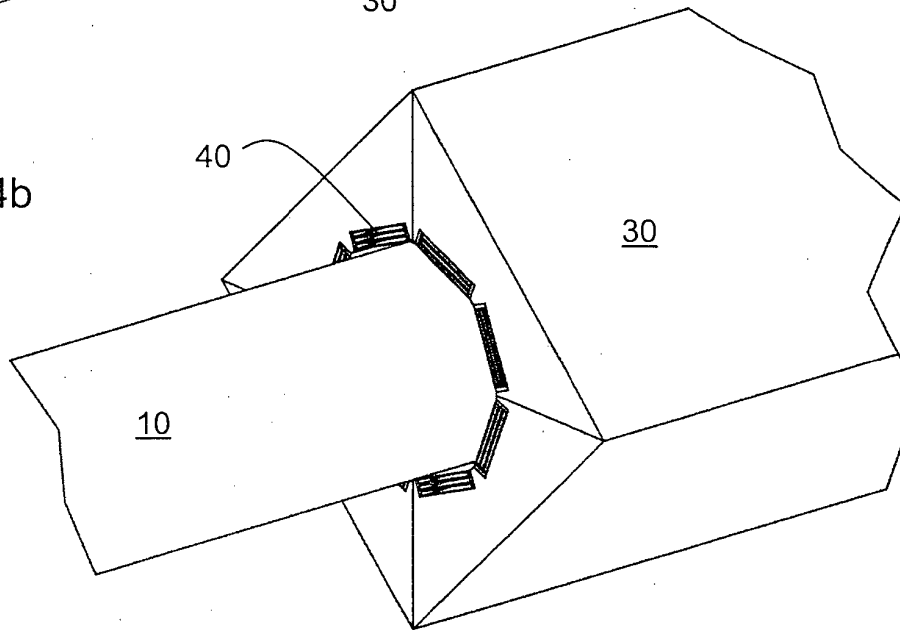


Fig. 4c

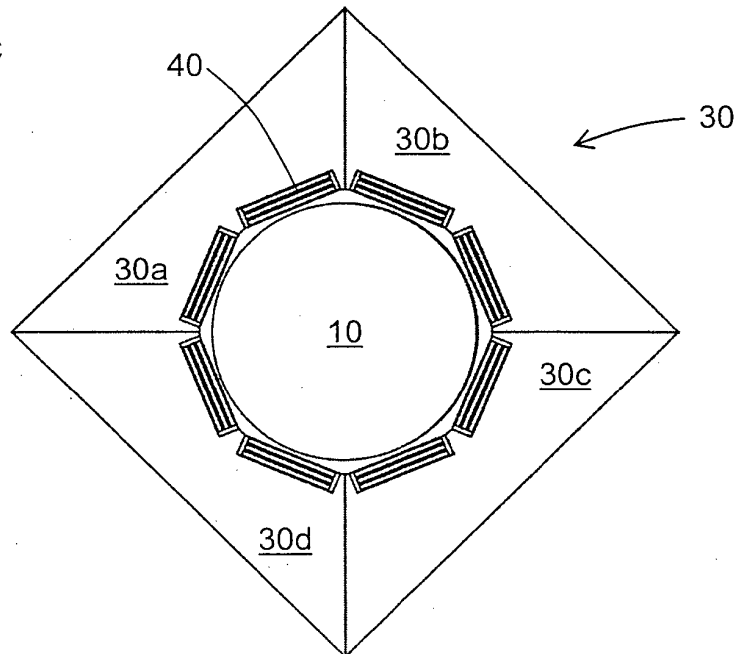




Fig. 5

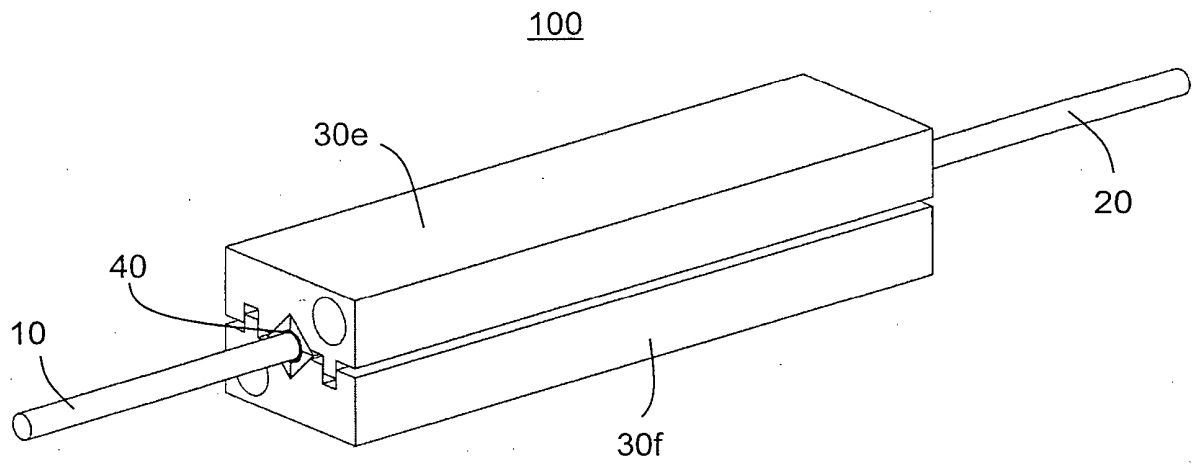


Fig. 6a

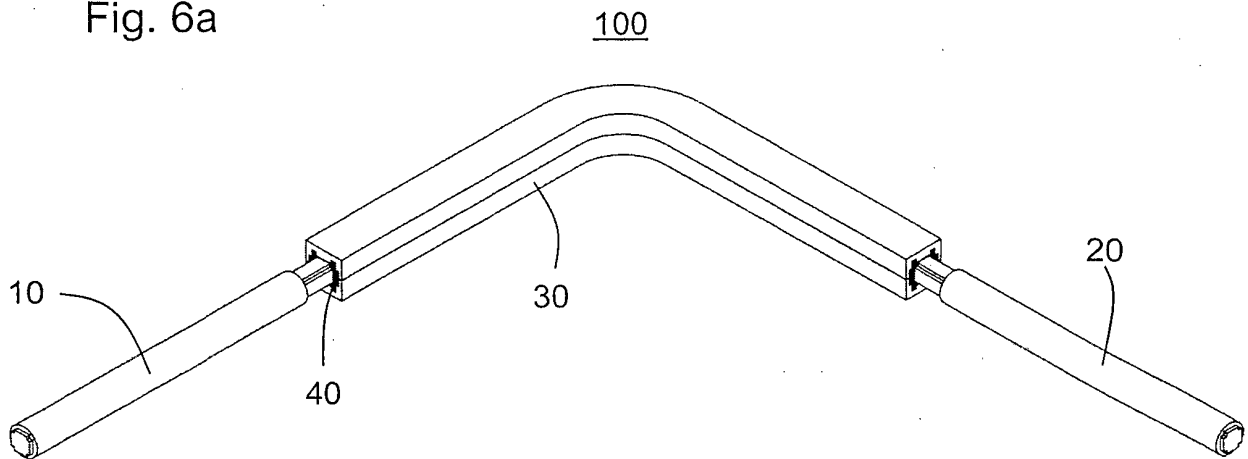


Fig. 6b

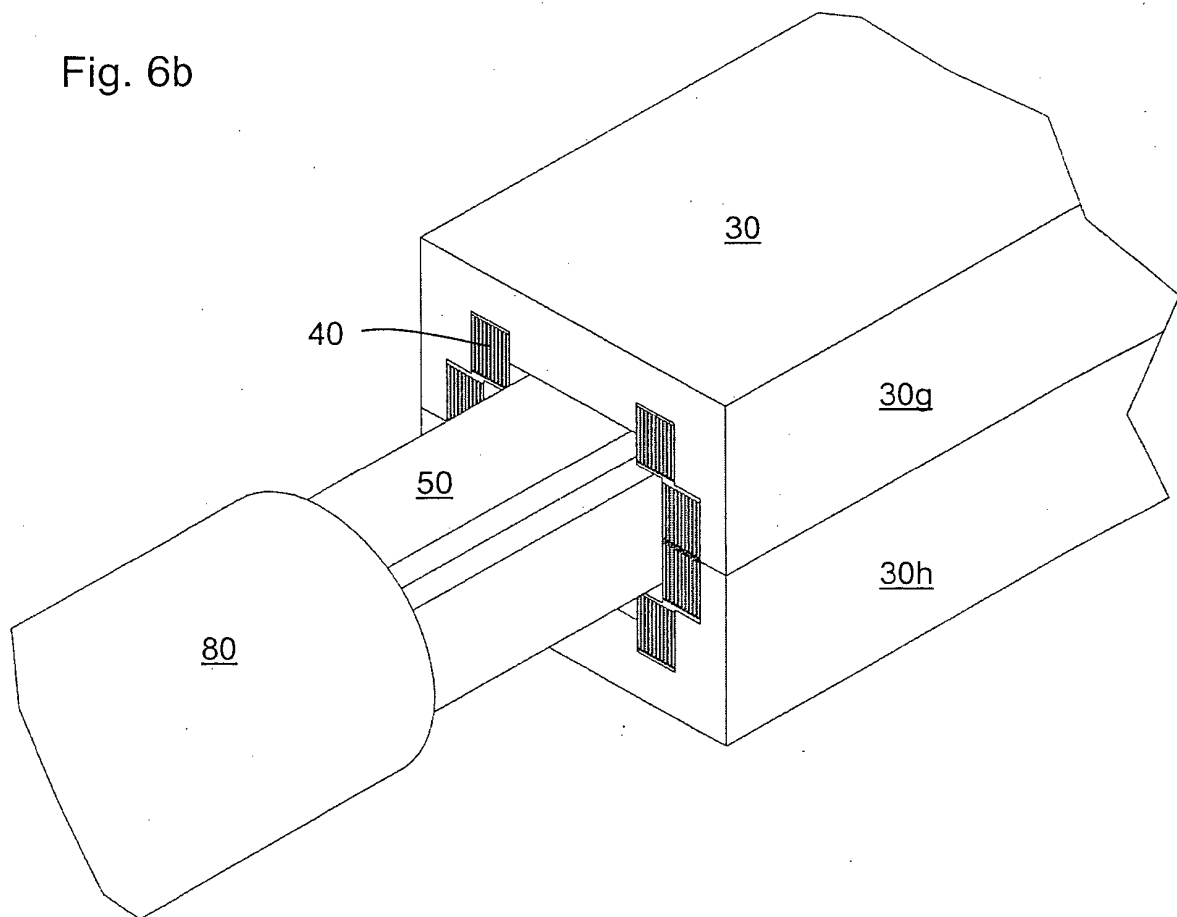


Fig. 7a

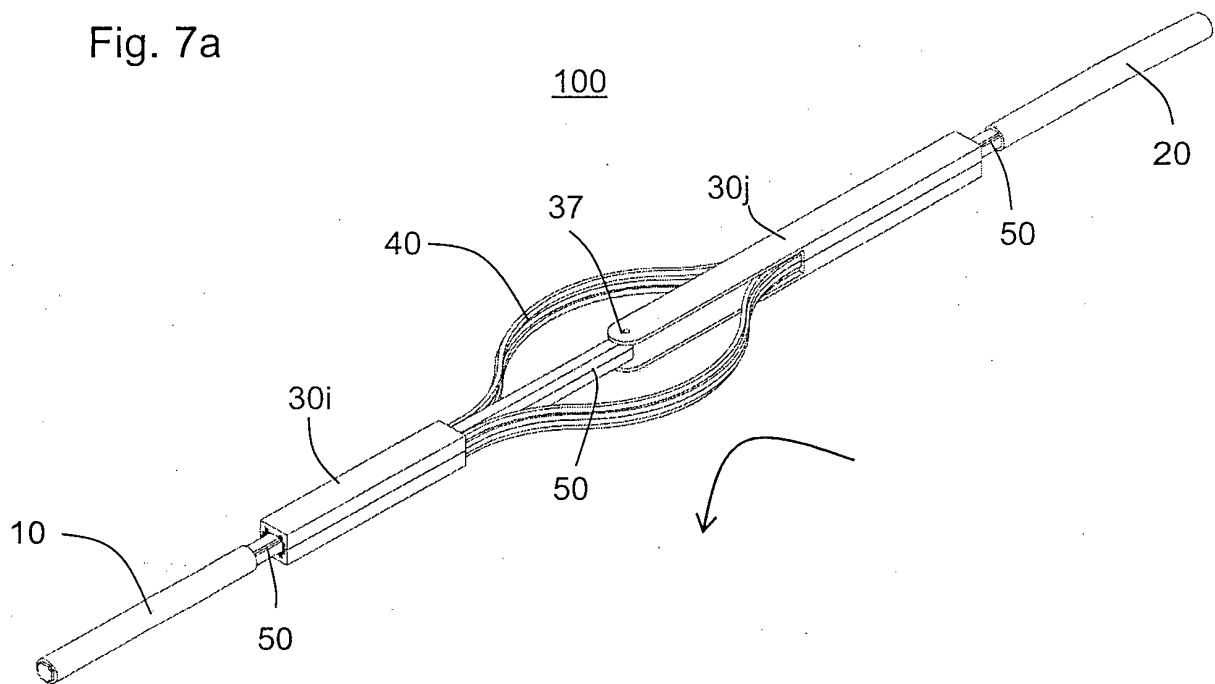


Fig. 7b

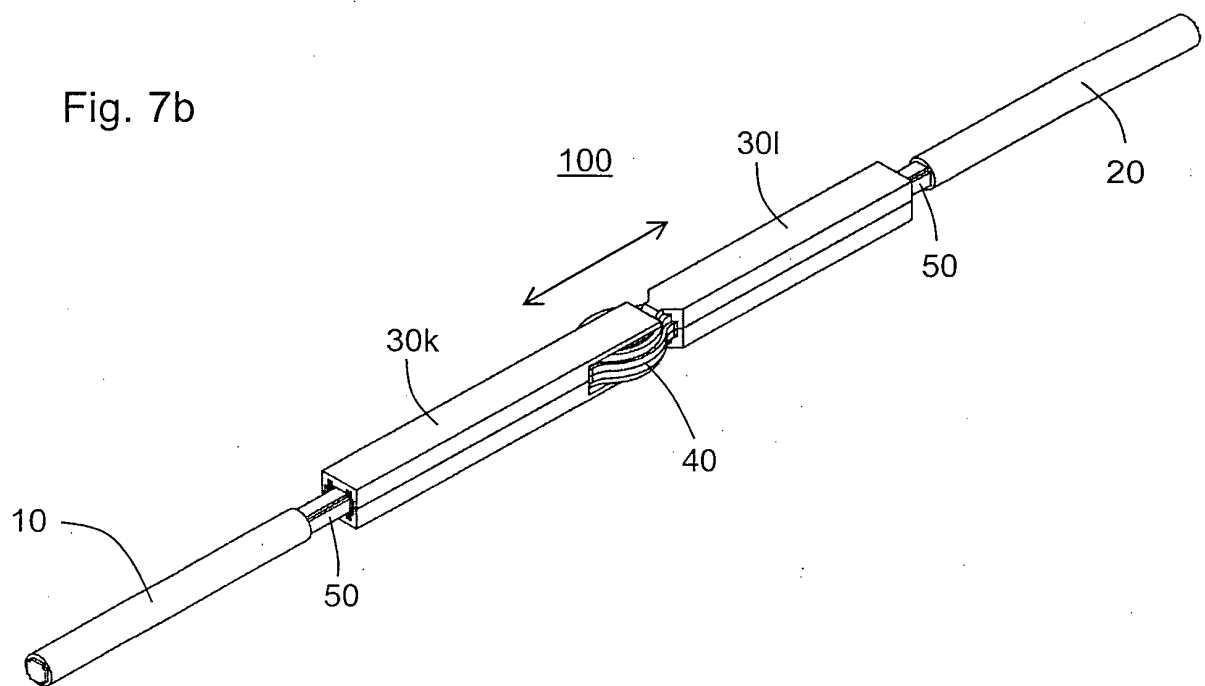


Fig. 8

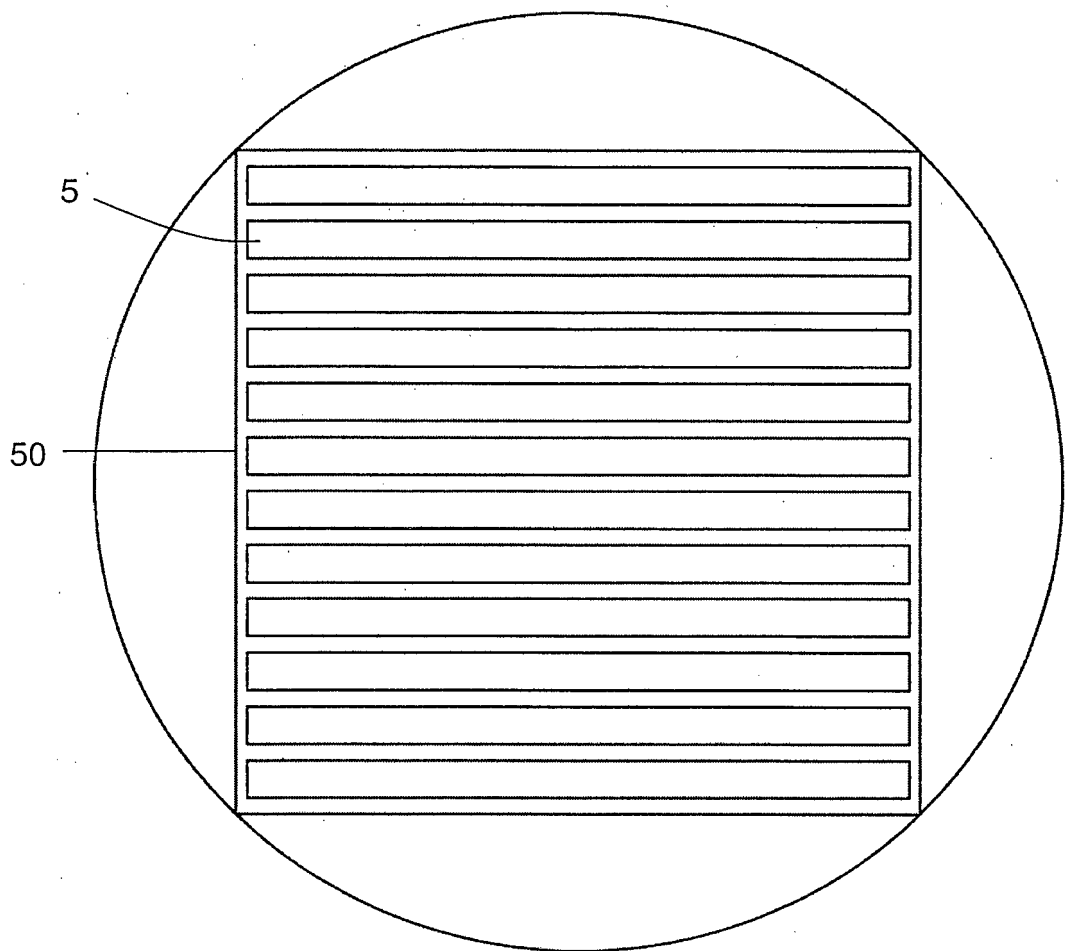
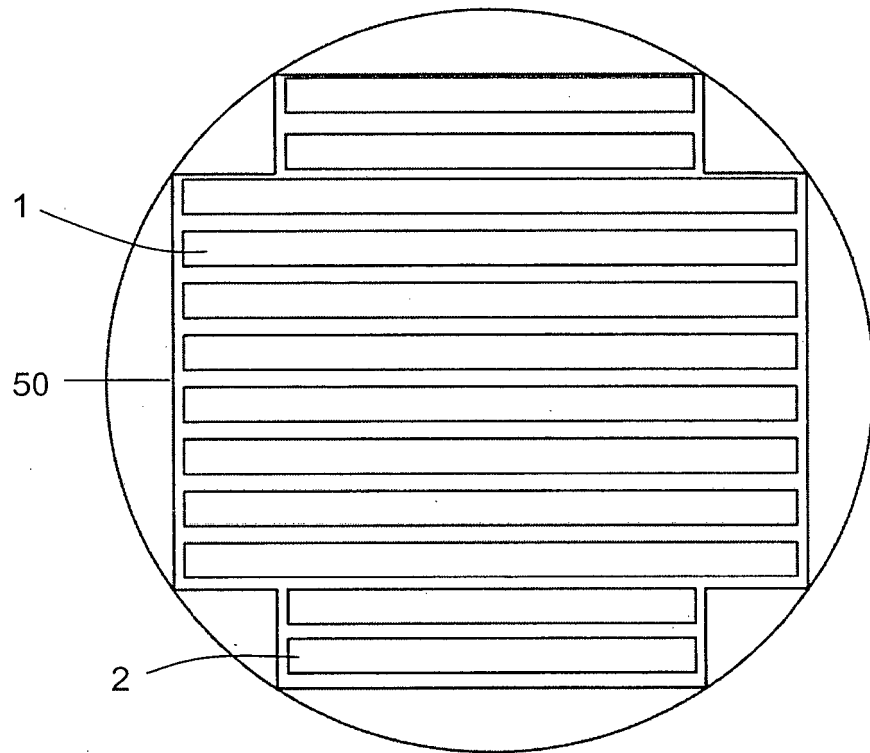


Fig. 9



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- JP 2005310395 A [0009]
- JP H0343971 A [0009]
- JP 2010010061 A [0009]
- GB 2498961 A [0009]
- JP 2003123866 A [0009]