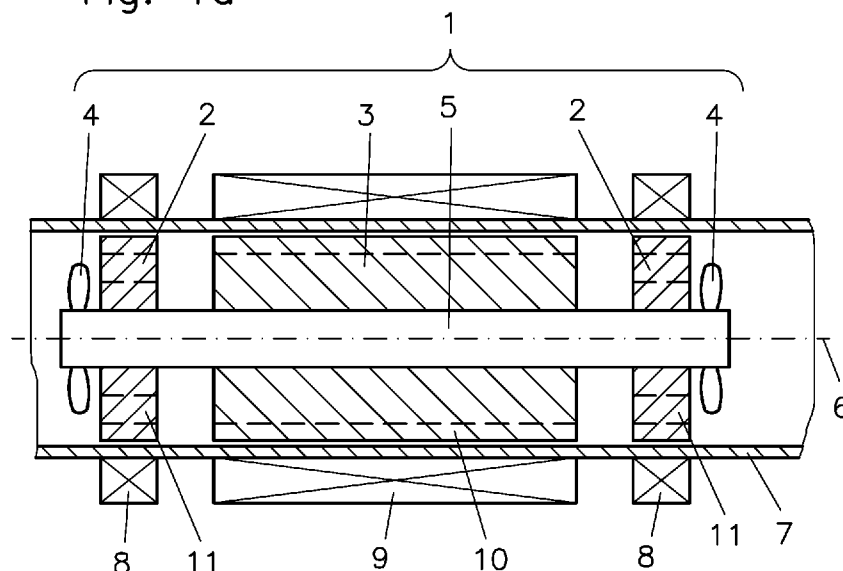


(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/256434 A1

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AI, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,

(54) Bezeichnung: PUMPE FÜR EINE KRYOGENE FLÜSSIGKEIT

Fig. 1a



(57) Zusammenfassung: Pumpe für eine kryogene Flüssigkeit in einem Förderrohr (7) mit einem Elektromotor, umfassend einen Motorstator (9) als ein Teil des Förderrohrs oder um das Förderrohr, einen Rotor (1) im Innern des Förderrohrs und des Motorstators, umfassend einen Motorrotor (3) sowie mindestens ein fluidmechanisches Förderelement (4) für eine Wandlung einer Rotation des Rotors in einer Fluidströmung im Förderrohr sowie eine Rotationslagerung (2, 8) für den Rotor, wobei der Motorrotor (3) einen Käfigläufer aus

SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

einem Hochtemperatursupraleiter (HTS) umfasst, sowie der Motorstator (9) mit einem elektromagnetischen Wechselfeld betreibbar ist.

PUMPE FÜR EINE KRYOGENE FLÜSSIGKEIT

5 Die Erfindung betrifft eine Pumpe für eine kryogene Flüssigkeit oder Flüssigkeitsmischung, in einem Förderrohr mit einem Motor gemäß des ersten Patentanspruchs.

Kryogene Flüssigkeiten sind durch eine Kühlung verflüssigte
10 Stoffe mit Siedetemperaturen insbesondere unterhalb von 150 Kelvin. Im Rahmen dieser Anmeldung schränken sich diese kryogenen Flüssigkeiten zudem auf die Stoffe ein, die einen Schmelzpunkt unterhalb der Sprungtemperatur T_c von Supraleitern aufweisen. Die Sprungtemperatur T_c liegt im Rahmen dieser An-
15 meldung bevorzugt zwischen 40K und 110K (aktuelle Obergrenze von 110K durch HTS BSCCO gegeben, keine HTS mit höheren Sprungtemperatur bekannt). Wichtige kryogene Flüssigkeiten sind insbesondere Helium (Siedepunkt 4,222 K), Wasserstoff (Siedepunkt 20,268 K), Stickstoff (Siedepunkt 77,35 K), Argon
20 (Siedepunkt 87,15 K) oder Sauerstoff (Siedepunkt 90,18 K).

Viele herkömmliche Pumpen für kryogene Flüssigkeiten in einem kryogenen Leitungssystem sind derart konstruiert, dass ein Pumpenkörper wie z.B. eine im Leitungssystem durch einen Motor
25 außerhalb des Leitungssystem angetrieben wird. Zum Einsatz kommen beispielsweise Kreiselumpen. Zur Kraftübertragung kommen dabei zumeist mechanische Elemente zum Einsatz, die in nachteilhafter Weise eine Wärmebrücke aus dem kryogenen Leitungssystem darstellen und Wärmeverluste im Kalten verursachen.
30 Dies begrenzt auch die Effizienz der Pumpe.

US 11242853 B2 offenbart beispielhaft eine Pumpe für flüssige Kältemittel mit einem Pumpenkörper, der über mechanische Übertragungsmittel von einem Motor im Pumpengehäuse angetrieben
35 wird.

In **DE 1 653 448 A1** wird eine Pumpe für kryogene Flüssigkeiten mit einem Kolben aus einem supraleitenden Material offenbart. Der Kolben ist in einem Zylinder angeordnet, an dessen Enden
5 sich jeweils ein freies Volumen mit je einem Einlass und einem Auslassventil für die Flüssigkeiten anschließt. Mittels eines elektromagnetischen Wechselfeldes wird der Kolben hin- und herbewegt wobei die beiden freien Volumina sich zyklisch vergrößern und verkleinern und über die Ventile eine Pumpwirkung
10 hervorrufen.

Auch in der **DE 10 2008 011 456 A1** wird eine frei schwingende Kolbenpumpe für kryogene Flüssigkeiten offenbart, angetrieben durch einen elektrodynamischen Linearmotor.

15

Kolbenpumpen erzeugen jedoch im Gegensatz zu Kreiselumpen keine konstanten, sondern pulsierende Flüssigkeitsströme.

Pumpen für Kryogene sollen tiefkalte Flüssigkeiten (oder Gase)
20 möglichst effizient und mit minimalem Wärmeeintrag transportieren. Wärmelasten bilden sind insbesondere durch

- Kältebrücken durch mechanische und/oder elektrische Komponenten von warm nach kalt (z.B. Leitungen, Durchführungen, Wellen, Lager) sowie
- 25 - Wärme, die durch die beweglichen Teile in der Flüssigkeit selbst erzeugt werden (z.B. Strömungswiderstände, Reibung, ohm'sche Verluste/Wärme, Wechselfeldverluste)

Davon ausgehend liegt eine **Aufgabe** der Erfindung darin, eine
30 Pumpe für eine kryogene Flüssigkeit oder Flüssigkeitsmischung vorzuschlagen, die sich für die Erzeugung eines konstanten Flüssigkeitsstroms bei gleichzeitig reduzierten Wärmeverlusten eignet.

Die Aufgabe wird mit einer Pumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Unteransprüche mit Rückbezug auf diesen geben vorteilhafte Ausgestaltungen wider.

- 5 Zur Lösung der Aufgabe wird eine Pumpe für eine Flüssigkeit in einem Förderrohr mit einem Elektromotor vorgeschlagen. Die Pumpe umfasst einen Motorstator, einen Rotor und eine Rotationslagerung für den Rotor. Wesentlich ist, dass der Motorstator einen Teil des Förderrohrs bildet oder um das Förderrohr angeordnet ist. Der Rotor umfasst einen Motorrotor sowie
10 mindestens ein fluidmechanisches Förderelement für eine Wandlung einer Rotation des Rotors in einer Fluidströmung im Förderrohr. Der Rotor befindet sich komplett im Innern des Förderrohrs, zumindest der Motorrotor auch innerhalb des Motorstators. Der Rotor ist durch die Rotationslagerung vorzugsweise um eine Rotationsachse drehbar und konzentrisch zum umgebenden und vorzugsweise geraden Förderrohrabschnitt gelagert.
- 20 Ein wesentlicher Grundgedanke liegt somit in der Integration des Antriebsmotors im Förderrohr, wobei der Stator um die Leitung angeordnet ist oder die Förderrohrwandung bildet und der Rotor in der Leitung angeordnet ist und zumindest der Motorrotor in dieser im Magnetfeld des Stators drehbar gelagert eine
25 Drehbewegung ausführt. Rotor, fluidmechanisches Förderelement und eventuelle mechanische Elemente dazwischen bilden allein die mechanisch rotierenden Teile, die komplett im Förderrohr angeordnet sind. Sie werden durch den Flüssigkeitsstrom umströmt und sind in vorteilhafter Weise schon gar nicht geeignet, eine Kältebrücke zwischen Flüssigkeitsstrom und Umgebung
30 außerhalb des Förderrohrs zu bilden.

Ein wesentliches Merkmal der Pumpe betrifft den Motorrotor, der einen Käfigläufer aus einem Hochtemperatursupraleiter

(HTS), vorzugsweise bandförmiges HTS RE-123 (REBaCuO), bandförmiges HTS Bi-2223 oder Bi-2212 (jeweils Verbindungen aus BiSrCaCuO), umfasst, der bevorzugt durch die kryogene Flüssigkeit, die den Rotor mit dem Motorrotor umspült, unter seine
5 kritische Sprungtemperatur herunterkühlbar ist. Die kryogene Flüssigkeit sorgt so für einen verschwindenden Widerstand im HTS und ermöglicht so ein Betreiben der HTS beispielsweise in der sog. Shubnikov-Phase mit nicht-verschwindender Magnetisierung und verlustfreien Stromdichten. Wärmelasten durch
10 ohm'sche Verluste werden so drastisch reduziert. Ein weiteres wesentliches Merkmal umfasst den Motorstator, der ein rotierendes elektromagnetisches (Wechsel)feld erzeugt. Er umfasst vorzugsweise Motorstatorwindungen aus Kupfer. Eine damit ausgestattete Pumpe umfasst damit einen Käfigläufermotor der be-
15 sonders effektiv und neuartig im synchronen Betrieb (verschwindender Schlupf) arbeitet.

Käfigläufermotoren weisen einen sog. Käfig im Motorrotor (Läufer) mit mehreren am Rotorumfang angeordneten Streben aus dem
20 vorgenannten HTS auf. Die Streben sind über den Rotorumfang abstandsgleich zueinander verteilt angeordnet und dabei vorzugsweise axial parallel (oder zur Vermeidung von Rastmomenten mit einem kleinen Winkel) zur Rotationsachse ausgerichtet. Eine optionale Ausgestaltung sieht einen Käfig mit zwei umlau-
25 fenden Endringen vor, die weiter bevorzugt ebenfalls aus dem vorgenannten HTS bestehen und die jeweilig eines der beiden Enden aller Streben miteinander kurzschließen. Vorzugsweise sind Streben und Endringe einstückig oder bilden eine zusammenhängende Beschichtung.

30 Eine bevorzugte Ausgestaltung sieht längsgeschlitzte Streben auf. Die Streben weisen dabei bevorzugt nur einen mittigen Längsschlitz auf, der die Strebe in zwei Halbstreben teilt, die weiter bevorzugt jeweils einen gleichbleibenden und gleich-
35 chen Querschnitt aufweisen. In der bevorzugten Ausgestaltung

verbleiben die Enden der Streben ungeschlitzt, wobei die vorgenannten Endringe weiter bevorzugt entfallen. Jede dieser Streben bildet dann einen supraleitenden Ringleiter; der Motorrotor ist durch die Verwendung von HTS damit ein synchron arbeitender Kurzschlussläufer. Stromzuführungen zum Motorrotor sind nicht erforderlich. Die Breite der Schlitze sowie die Abstände der nichtverbundenen Strebenpaare in Umfangsrichtung bestimmen die Polzahl und die magnetischen Flußdichten über den Rotormantel.

Ein weiterer Grundgedanke der Lösung liegt in der thermischen Zweiteilung der Pumpe in einen kälteren kryogenen Bereich mit Temperaturen unterhalb der Sprungtemperatur des im Rotor eingesetzten HTS sowie einen wärmeren Bereich mit Temperaturen oberhalb der genannten Sprungtemperatur, vorzugsweise Umgebungstemperatur. Der kältere kryogene Bereich umfasst den vollständig im Innern des Förderrohrs angeordneten und dort von der kryogenen Flüssigkeit umspülten Rotor, der dann in vorteilhafter Weise supraleitend betreibbar ist. Im wärmeren Bereich sind dagegen der Motorstator und die Lagerstatoren bevorzugt mit Kupferwindungen zur Erzeugung von auf den Rotor wirkenden Magnetfeldern angeordnet, die dann bevorzugt im nicht supraleitenden Temperaturbereich betreibbar sind (Vorteil: geringere kryotechnisch bedingten Verluste). Besonders vorteilhaft hierbei ist das Fehlen von Festkontakte wie z.B. elektrisch Schleifkontakte, Wellendurchführungen oder Wälz- oder Gleitlager durch die Förderrohrwandung zum Rotor, als mögliche Wärmeübertragungsbrücken zwischen den beiden vorgenannten Bereichen.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Käfigläufermotoren folgen die vorgeschlagenen Ausgestaltungen nicht der allgemeinen Topologie von konventionellen Rotoren; die Streben und Endringe weisen insbesondere keine elektrische Kontaktierung und damit im vorgeschlagenen Einsatzbereich in vorteilhafter Weise auch

keine Wärmeübertragungselemente aus dem Förderrohr auf. Es ist indiziert, dass bei den vorgeschlagenen Käfigläufern aufgrund der stabilen Magnetisierung des synchronen Statorfeldes auf Endringe verzichtet werden kann.

5

Konventionelle Käfigläufermotoren der zuvor vorgeschlagenen Ausgestaltungen sind ausschließlich als Asynchron-Motoren betreibbar; der vorgeschlagene und beanspruchte Motor arbeitet dagegen nur transient asynchron, im eingeschwungenen Zustand dann aber synchron. Ein im Förderrohr eingesetzter Motorrotor erfordert dabei weder eine elektrische noch im Falle einer kontaktlosen Lagerung (z.B. bei magnetischer Lagerung oder Strömungslagerung) eine mechanische Verbindung, sondern wird vollständig durch die kryogenen Flüssigkeit ummantelt.

15

In konventionellen Käfigläufermotoren ist die mechanische Wellenarbeit E_{mechan} identisch mit der im Käfigläufer dissipierten ohm'schen Wärme $E_{ohm} = RI^2$, die in die umgebende Flüssigkeit abgegeben wird. Letztere fällt allerdings nur dann an, wenn die vorgenannten Streben und Ringleiter aus nicht supraleitenden Materialien bestehen. In kryogenen Flüssigkeiten wie z.B. auch bei der vorliegenden Verwendung als Kyropumpe verbietet sich folglich der Einsatz von Motorrotoren mit nicht supraleitenden Materialien aufgrund der dabei entstehenden und durch die Flüssigkeit aufzunehmende Wärme. Zwar erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit von Metallen bei Abkühlung, jedoch verbleibt ein ohm'scher Restwiderstand. Dieser wird oft durch den RRR-Wert (Residual-Resistance-Ratio: Verhältnis von Raumtemperaturwiderstand zum Widerstand bei $T = 4.2$ K) angegeben. RRR-Werte zwischen 100 und 200 sind für sehr reine Metalle erreichbar. Verbunden mit dem elektrischen Restwiderstand R bei Betrieb mit einem elektrischen Strom I ist die ohm'sche Wärmelast $E_{ohm} = RI^2$.

30

Ferner verlieren herkömmliche Ferrit-Magnete (in einem konventionellen, permanent-magnetisch erregten Rotor) bei Temperaturen unter -40°C dauerhaft (irreversibel) einen Teil der Magnetisierung, sind also für tiefkalte Flüssigkeiten nicht geeignet. Auch alternative Neodym-Magnete zeigen einen nichtlinearen Verlauf der Magnetisierung bei abnehmender Temperatur, was auch deren Verwendung ausschließt. Allerdings reduziert sich die Magnetisierung bei kryogenen Temperaturen unter -138°C reversibel durch eine Änderung der Magnetisierungsrichtung um ca. 10 bis 20%. Weiterhin ist eine Verschlechterung (Versprödung) der mechanischen Eigenschaften bei tiefen Temperaturen zu berücksichtigen. Ein Einsatz von Permanent-Magneten im Motorrotor von Kryofluidpumpen ist zwar grundsätzlich möglich, reduziert aber deren Leistungsvermögen bei in kryogenen Flüssigkeiten vorherrschenden tiefen Temperaturen signifikant.

Der Motorrotor umfasst vorzugsweise zumindest eines der fluidmechanischen Fördererelemente und/oder Verbindungsmittel zwischen Motorrotor und dem mindestens einen fluidmechanischen Fördererelement. Die Verbindungsmittel bilden eine bevorzugt starre Koppelung von Motorrotor und Fördererelemente in der Pumpe.

Die kryogene Flüssigkeit ist im Rahmen der Erfindung vorzugsweise eine Flüssigkeit oder Flüssigkeitsmischung, deren Siedetemperatur sich unterhalb der kritischen Sprungtemperatur des HTS der Streben und der Endringe befindet. Die kryogene Flüssigkeit befindet sich während der Verwendung der Pumpe zur Förderung dieser im Förderrohr in einem flüssigen Aggregatzustand, d.h. gemeinsam mit dem Motorrotor in einem Temperaturbereich unterhalb der kritischen Sprungtemperatur. In vorteilhafter Weise werden die supraleitenden Eigenschaften des Motorrotors durch den kryogenen Fluidstrom sichergestellt und zugleich außer der Förderrohrwandung keine Kältebrücke er-

zeugt. Bevorzugt ist der Motorstator mit einem elektromagnetischen Wechselfeld betreibbar, wobei die Wechselfeldfrequenz zusammen mit den Nut- und Polzahlen die Drehzahl des Motorrotors vorgibt.

5

Die Lagerungen des Rotors sind vorzugsweise passive Magnetlagerungen als Rotationslagerungen, jeweils mit einem Lagerrotor aus einem supraleitenden Material in einem bevorzugt ortsfesten Magnetfeld eines Lagerstators.

10

Der Motorrotor ist mit dem Rotor im Förderrohr gelagert, d.h. er ist über eine Rotationslagerung in seiner Beweglichkeit geführt. Die Rotationslagerung weist vorzugsweise eine oder mehrere passive Magnetlagerungen auf. In diesen werden vorzugsweise ein rotierender Lagerrotor aus einem supraleitenden Material als Komponenten des Rotors in einem Magnetfeld eines Lagerstators mit Permanent- und/oder Elektromagneten in oder um das Förderrohr kontaktlos gelagert. Die Lagerrotoren sind in vorteilhafter Weise vollständig im Flüssigkeitsstrom angeordnet und werden durch diesen temperiert. Eine Verwendung von Magnetlagerungen vermeidet oder mindert mechanische Kontakte zu Komponenten, die mit dem Förderrohr oder anderen Bereichen, die gegenüber der Temperatur der kryogenen Flüssigkeit wärmer sind. Damit reduziert sich auch der Wärmeeintrag durch Wärmeleitung in den Rotor.

25

Eine bevorzugte Ausführungsform sieht eine Rotationslagerung für die Rotation des Rotors nur um eine Rotationsachse konzentrisch zum Förderrohr vor.

30

Verwendet man für den kalten Teil, d.h. den Lagerrotor des Lagers HTS-Magnete, so vermeidet man die Degradation der konventionellen Permanent-Magnete und profitiert vom höheren Magnetisierungspotenzial der HTS. Der wärmere Teil des Magnetlagers umfasst den Lagerstator, bei dem die Magnete vorzugsweise

35

außerhalb des Förderrohrs angeordnet sind und in dieser Position bevorzugt mit konventionellen Magneten und/ oder elektromagnetischen Spulen ausführbar ist.

- 5 Die Pumpe mit den vorgenannten Merkmalen ist eine Axialpumpe mit einem rotierenden Rotor, die die Fluidströmung im Förderrohr zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig axial fördert, also parallel zur Rotationsachse. Insbesondere wenn die Rotationsachse konzentrisch zum Förderrohr ist, ist für
- 10 eine Axialförderung in vorteilhafter Weise keine Strömungsumlenkung erforderlich, die durch einen zusätzlichen Strömungswiderstand nur für eine zusätzliche Wärmelast in der zu fördernden kryogenen Flüssigkeit führen würde.
- 15 Der Motorrotor umfasst im Rahmen einer Ausgestaltung zumindest eines der fluidmechanischen Förderelemente. Sie sind vorzugsweise als Gewindegänge in den Motorrotor eingearbeitet oder als Schaufeln auf diese aufgesetzt oder als Impeller in diese eingesetzt. Ergänzend oder alternativ sind Verbindungsmittel
- 20 zwischen Motorrotor und dem mindestens einem fluidmechanischen Förderelement vorgesehen. Die Verbindungsmittel umfassen bevorzugt die vorgenannte Rotorwelle, die als Träger für den Motorrotor und dem axial vor oder hinter diesem angeordneten mindestens einem Förderelement dient.
- 25 Vorzugsweise umfasst der Motorstator Motorstatorwindungen aus Kupfer.

Die vorgeschlagene Lösung hat somit zusammenfassend folgenden

30 Eigenschaften, Merkmale und Vorteile:

- Vermeiden einer mechanischen Welle oder anderen mechanische Übertragungsmittel von Warm nach Kalt
- Vermeiden von elektrischen Stromzuführungen von Warm nach Kalt

- Verwenden von Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) als (synchron arbeitenden) Käfigläufer im Kalten
- Verwenden eines Stators im Äußeren der Leitung um den Rotor
- Bevorzugt eine magnetische Lagerung des Rotors in der
5 Leitung
- Bevorzugt eine supraleitende magnetische Lagerung des Rotors

10 Notwendig ist eine Temperatur der kryogenen Flüssigkeit unterhalb der kritischen Temperatur der HTS (also z.B. im Falle von Flüssig-Wasserstoff 21 K zu dem HTS RE-123 mit 92 K).

15 Die Erfindung und die Funktionsweise wird anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele, den folgenden Figuren und Beschreibungen näher erläutert. Sie enthalten Rotoren gemäß von nachfolgend beschriebenen vier Grundformen. Alle dargestellten Merkmale und deren Kombinationen sind nicht nur auf diese Ausführungsbeispiele begrenzt. Vielmehr sollen diese stellvertre-
20 tend für weitere mögliche, aber nicht explizit als Ausführungsbeispiele dargestellte weitere Ausgestaltungen kombinierbar angesehen werden. Es zeigen

25 **Fig.1a und b** prinzipielle Schnittansichten jeweils eine Ausführungsform einer Pumpe mit dem Förderrohr, Rotor gemäß einer ersten Grundform des Rotors sowie Lager- und Motorstator,

30 **Fig.2** einen beispielhaft dargestellten Rotor gemäß einer weiteren Ausgestaltung der ersten Grundform,

Fig.3a und b beispielhaft dargestellte Rotoren gemäß einer zweiten Grundform,

35 **Fig.4** einen beispielhaft dargestellten rohrförmigen Rotor gemäß einer dritten Grundform,

Fig.5 einen beispielhaft dargestellten Rotor gemäß einer vierten Grundform sowie

- 5 **Fig.6a bis c** verschiedene Ausgestaltungen des Motorrotors im Detail in der bevorzugten Käfigläuferbauform.

Die vorgeschlagene Pumpe umfasst in den in **Fig.1a und 1b** dargestellten Ausführungsformen einen Rotor **1**, umfassend zwei Lagerrotoren **2**, einen Motorrotor **3** sowie zwei fluidmechanische Fördererelemente **4** auf einer Rotorwelle **5**. Der Rotor ist um eine Rotationsachse **6** rotierbar axial in ein Förderrohr **7** eingesetzt und wird durch einen Lagerstator **8** geführt. Ein Motorstator **9** dient zur Erzeugung eines umlaufenden Magnetfelds, in
10 das der Motorrotor positioniert ist und rotierend angetrieben wird. Die beiden dargestellten fluidmechanischen Fördererelemente **4** sind bei den dargestellten Ausführungsbeispielen als Strömungsschrauben jeweils endseitig auf der Rotorwelle auf-
15 setzt, wobei die erzeugte Strömung durch axiale Aussparungen **10** oder Durchbrüchen **11** durch die Lagerrotoren und dem Motorrotor, angedeutet mit gestrichelte Linien, geleitet wird. Weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten der fluidmechanischen Fördererelemente werden nachfolgend anhand von vier Grundformen
20 des Rotors beschrieben.

Der Motorrotor ist im Innern des Förderrohrs vollständig von der kryogenen Flüssigkeit umströmt und weist weder eine Stromzuführung, z.B. elektrische Schleifkontakte, noch einen anderen mechanischen Übergang als Wärmebrücke aus dem Innern des
30 Förderrohrs auf. Vorzugsweise nimmt der Rotor die Temperatur der umgebenden kryogenen Flüssigkeit ein, während ein Wärmeaustausch zu deutlich wärmeren Bereichen im oder um das Förderrohr nicht über einen Festkörperkontakt stattfindet. Dies
35 verbessert in vorteilhafte Weise eine thermische Trennung ei-

nes kälteren Bereichs, umfassend den Rotor mit der kryogenen Flüssigkeit, von einem an diesen angrenzenden wärmeren Bereich, umfassend die in nicht kryotechnischen Temperaturbereichen betreibbaren Motor- und Lagerstatoren.

5

Das Förderrohr selbst ist vorzugsweise aus einem Material geringer Leitfähigkeit, vorzugsweise einem Kunststoff oder einem Werkstoffverbund mit mindestens einer Kunststoffschicht, hergestellt.

10

Lagerstatoren **8** und Motorstator **9** sind entweder außen auf das Förderrohr aufgesetzt (**Fig.1a**) oder eingesetzt und die Innenwandung des Förderrohrs bildend (**Fig.1b**).

15 Vorzugsweise wird bei allen Ausführungsformen vorgeschlagen, die Innenwandung des Förderrohrs zusätzlich mit einer Wärmedämmschicht (in **Fig.1a und b** nicht dargestellt) zu versehen, wodurch eine unerwünschte Wärmeübertragung zwischen der kryogenen Flüssigkeit im Innern (kälterer Bereich) auf den Motor-

20 stator und der Lagerstator (wärmerer Bereich) in vorteilhafter Weise weiter reduziert wird.

Nicht weiter nicht in **Fig.1a und b** dargestellt sind optionale Ausführungen, bei dem nur der Motorstator oder nur die Lagerstatoren in das Förderrohr eingesetzt sind und die Innenwandung des Förderrohrs bilden, während die jeweils verbleibenden Statoren auf das Förderrohr aufgesetzt sind.

25

Ebenfalls nicht in **Fig.1a und b** dargestellt sind Rotoren optional abweichenden Grundformen oder weiteren Ausführungsformen, die im Folgenden näher erläutert werden.

30

Die Lagerung des Motorrotors im Förderrohr erfolgt über eine Rotationslagerung mit Lagerstator und Lagerrotor, die magnetisch mit einander in Wechselwirkung stehen und nicht nur den

35

Rotor radial, sondern auch axial im Förderrohr führen. Anstelle einer magnetischen Rotationslagerung wird optional oder ergänzend auch eine Spaltströmungslagerung vorgeschlagen.

5 Für den Rotor werden die folgenden Ausführungsformen, die vier Grundformen repräsentieren, vorgeschlagen. Sie sind miteinander, aber auch nur in Merkmalen und Ausgestaltungen grundsätzlich miteinander kombinierbar:

10 1. **Fig.1a und b sowie 2** repräsentieren die erste Grundform in Form einer ersten Ausführungsform. Sie weist eine Rotorwelle **5** auf, die im Innern eines bevorzugt geraden Abschnitts des Förderrohrs **7**, weiter bevorzugt konzentrisch in diesem Abschnitt angeordnet ist. Der Rotor **1** wird vorzugsweise
15 über die Rotorwelle **5** gelagert, weiter bevorzugt mittels zweier Lagerungen (Motorstator **9** und Lagerrotor **2**) beidseitig des Motorrotors **3** im Förderrohr.

Im Rahmen einer ersten bevorzugten Ausgestaltung ist mindestens ein fluidmechanisches Förderelement **4** für eine Wandlung einer Rotation der Rotorwelle **5** in eine Fluidströmung axial im Abschnitt auf der Rotorwelle aufgesetzt. Die fluidmechanischen Fördermittel **4** sind vorzugsweise wie dargestellt einen Propeller oder Förderschrauben (vgl. **Fig.1a**
25 **und b**).

Eine zweite bevorzugte Ausgestaltung der Rotorwelle zeigt **Fig.2**. Sie sieht ein beidseitig offenes Rohr **12** als Rotorwelle **5** als Träger für den Motorrotor **3** und die Lagerrotoren **4** vor. Die fluidmechanischen Förderelemente **4** umfassen vorzugsweise mindestens einen Impeller **13** im Rohr, entweder als einziges Förderelement oder - wie dargestellt - in Ergänzung eines Förderelements wie z.B. einen Propeller **14**
30 auf der Rotorwelle.

Die Rotorwelle dient dabei als Verbindungsmittel zwischen Motorrotor und dem mindestens einen fluidmechanischen Förderelement, vorzugsweise allen Förderelementen.

5 2. Die zweite Grundform, repräsentiert durch **Fig.3a und b** im Beispiel einer zweiten Ausführungsform, sieht einen Motorrotor **3** mit mindestens einem eingearbeiteten Förderelement **16** (vgl. **Fig.3a**) oder aufgesetzten Förderelement (vgl. **Fig.3b**) vor, das bevorzugt gleichmäßig um den Motorrotor
10 angeordnet ist. Unterstützt werden diese Förderelemente durch ringförmige Impellereinsätze **15** in axialen Durchbrüchen in den beiden Lagerrotoren **2**. Vorzugsweise dienen die genannten Impellereinsätze zugleich als Träger für einen ringförmig auf diese aufgesetzten Lagerrotoren. Die Fluid-
15 strömung umströmt den Motorrotor in einem Mantelstrom.

Eine bevorzugte Ausgestaltung gemäß **Fig.3a** sieht durchgehende wendelförmige Nuten **16** als fluidmechanisches Förderelement im Motorrotor, d.h. in der Mantelfläche des Motorrotors **3** eingearbeitet, vor. Förderelemente und Motorrotor
20 sind vorzugsweise eine einzige Komponente, d.h. die Förderelemente sind integrale Bestandteile des Motorrotors.

Eine alternative bevorzugte Ausgestaltung gemäß **Fig.3b**
25 sieht bevorzugt wendelförmige Strömungsleitelemente **17**, aufgesetzt auf der Mantelfläche des Motorrotors **3** vor.

Die Lagerung des Motorrotors im Förderrohr erfolgt bevorzugt über eine separat vorgesehene Rotorwelle **5** wie
30 beschrieben.

3. Die dritte Grundform, repräsentiert durch **Fig.4** im Beispiel einer dritten Ausführungsform ohne Motorwelle, zeigt einen bevorzugt rohrförmigen Motorrotor **3** mit integriertem Lager-

rotor 2 und im dargestellten Beispiel eingearbeitete wendelförmige Nuten 16 sowie in eine (optionale) zentrale axiale Innenbohrung 18 eingesetzte Impeller 13 als fluidmechanische Fördererelemente 4. Der Motorrotor erstreckt sich axial sowohl über den Motorstator 9 und über die beiden Lagerstato-

4. Die vierte Grundform, repräsentiert durch **Fig.5** im Beispiel einer vierten Ausführungsform, sieht einen zwingend rohrförmigen Motorrotor 3 mit beidseitig angesetzten rohrförmigen Lagerrotoren 2 vor, die gemeinsam ein Rotorrohr 19 bilden. Eine Rotorwelle ist nicht vorgesehen und hier auch nicht erforderlich. In das Rotorrohr sind mindestens ein Impeller 13 als einziges strömungsmechanisches Element 4 eingesetzt.

Fig.6a bis c zeigen verschiedene Ausgestaltungen des Motorrotors im Detail in der bevorzugten Käfigläuferbauform mit einem supraleitenden Käfig 20 vorzugsweise aus einem HTS auf einem bevorzugt metallischen Grundkörper 21. Der Käfig ist als HTS-Schicht auf den bevorzugt eisenhaltigen Grundkörper.

Fig.6a und b repräsentieren eine erste Ausgestaltung des Käfigs 20 mit Streben 22 am Umfang des Rotorrohrs, die beidseitig in jeweils einen Endring 23 ausmünden und mit diesen eine gemeinsame HTS-Schicht auf dem Grundkörper bilden. Als Beschichtungsverfahren werden hierzu insbesondere IBAD (Ion-Beam-Assisted-Deposition = ionenstrahlgestützte Deposition z.B. für Pufferschichten) oder PLD (Pulsed-Laser-Deposition = Laserstrahlverdampfen), alternativ z.B. CVD (Chemical-Vapor-Deposition = chemische Gasphasenabscheidung) vorgeschlagen. Gegenüber der Ausgestaltung in **Fig.6a** sind in **Fig.6b** die Streben nicht geradlinig, sondern geschwungen aufgebracht, wobei die Bereiche zwischen den Streben vorzugsweise für aufgesetzte wendelförmige Strömungsleitelemente (vgl. **Fig.3b** Pos. 17)

und/oder eingearbeitete wendelförmige Nuten (vgl. **Fig.3a**, Pos. **16**) als zumindest ein Teil der fluidmechanischen Förderelemente zur Verfügung steht. Eine bevorzugte Ausgestaltung sieht eine abwechselnde Reihenfolge der genannten Strömungsleitelemente und Nuten auf.

Fig.6c zeigt dagegen die vorgenannte alternative Ausführung des Käfigs **20**, aufgebracht als HTS Schicht auf dem metallischen Grundkörper **21**. Der Käfig umfasst axiale (oder mit einem geringen Kippwinkel von maximal 30° , vorzugsweise von maximal 15° , weiter bevorzugt maximal 10° oder 5° zur Rotationsachse) auf Umfang in gleichen Abständen zueinander angeordnete Streben **22** ohne Endringe, die jeweils separat mit einem Längsschlitz **24** bis auf die jeweils beiden Endbereiche **25** in zwei Teilstreben unterteilt sind und somit jeweils einen supraleitenden Ringleiter bilden. Eine nicht weiter dargestellte Ausgestaltung dieser Ausführung sieht anstelle einer axialen eine wendelförmige Anordnung der Streben über dem Umfang des Grundkörpers vor, wobei die Zwischenräume wie zuvor beschrieben für fluidmechanische Förderelemente nutzbar sind.

Eine besondere und auch überraschende Wirkung dieser Ausführungen des Käfigs, insbesondere der letztgenannten gemäß **Fig.6c**, liegt in einer vorteilhaften Realisierbarkeit oder Unterstützung eines synchronen Betriebs (mit verschwindendem Schlupf), und zwar bevorzugt auch ohne eine Ausbildung von Induktionsschleifen über Endringe. Eine besondere Wirkung bei der Nutzung von Supraleitern liegt dabei in der Ausbildung von Kreisströmen in den Streben **22** auch ohne vollständige Käfigstruktur, und damit die synchrone Rotation des Rotors und die Funktion der Maschine ähnlich der einer permanentmagnetisch erregten Maschine. Eine solche Funktionsweise ist neuartig und mit bisherigen Induktionsmaschinen (vollständigen Käfigläufermaschinen) nicht bekannt.

Der Grundkörper muss nicht zwangsläufig metallisch sein. Bei einer Endring-losen Anordnung, wie z.B. in **Fig.6c** dargestellt, sind die einzelnen Streben **22** vorzugsweise nicht jeweils mit einer anderen Strebe **22** (in Umfangsrichtung) oder in anderer
5 Weise miteinander verbunden, es wird dann auch kein Käfig ausgebildet.

Bezugszeichenliste:

	1	Rotor
	2	Lagerrotor
5	3	Motorrotor
	4	fluidmechanisches Förderelement
	5	Rotorwelle
	6	Rotationsachse
	7	Förderrohr
10	8	Lagerstator
	9	Motorstator
	10	axiale Aussparung
	11	Durchbruch
	12	Rohr
15	13	Impeller
	14	Propeller
	15	Ringförmiger Impellereinsatz
	16	Wendelförmige Nuten
	17	Wendelförmige Strömungsleitelemente
20	18	Innenbohrung
	19	Rotorrohr
	20	Käfig
	21	Grundkörper
	22	Strebe
25	23	Endring
	24	Längsschlitz (in einer Strebe 22)
	25	Endbereich (einer geschlitzten Strebe 22)

Patentansprüche:

1. Pumpe für eine kryogene Flüssigkeit im Innern eines Förder-
5 rohrs **(7)** mit einem Elektromotor, umfassend
- a) einen Motorstator **(9)** ohne einen direkten Kontakt zum
Innern des Förderrohrs entweder als ein Teil des Förder-
rohrs oder um das Förderrohr angeordnet,
- b) einen Rotor **(1)** im Innern des Förderrohrs und des Motor-
10 stators, umfassend einen Motorrotor **(3)** sowie mindestens
ein fluidmechanisches Förderelement **(4)** für eine Wandlung
einer Rotation des Rotors in einer Fluidströmung im För-
derrohr sowie
- c) eine Rotationslagerung **(2, 8)** für den Rotor,
15 dadurch gekennzeichnet, dass
- d) der Motorrotor **(3)** einen Käfigläufer aus einem Hochtempe-
ratursupraleiter mit einer Sprungtemperatur T_c größer 40K
umfasst,
- e) der Motorrotor ohne eine Stromzuführung und berührungslos
20 im Innern des Förderrohrs angeordnet ist, sowie
- f) der Motorstator **(9)** mit einem elektromagnetischen Wech-
selfeld betreibbar ist.
2. Pumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ro-
25 tationslagerung **(2, 8)** eine oder mehrere passive Magnetla-
gerungen jeweils mit einem Lagerrotor **(2)** aus einem supra-
leitenden Material in einem Magnetfeld eines Lagerstators
(8) mit Permanentmagneten in oder um das Förderrohr **(7)**
sind.
- 30
3. Pumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
die Rotationslagerung **(2, 8)** für die Rotation des Rotors
(1) nur um eine Rotationsachse **(6)** konzentrisch zum Förder-
rohr **(7)** geeignet ist.

4. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Motorrotor (1) zumindest eines der fluidmechanischen Förderelemente (4) umfasst und/oder Verbindungsmittel zwischen Motorrotor (3) und dem mindestens
5 einen fluidmechanischen Förderelement vorgesehen sind.
5. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (1) eine Rotorwelle (5) aufweist, wobei die Rotationslagerung (2, 8) zwei Lager der
10 Rotorwelle beidseitig des Motorrotors (3) im Förderrohr (7) aufweist.
6. Pumpe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine fluidmechanische Förderelement (4) und der
15 Rotor auf der Rotorwelle (5) befestigt ist.
7. Pumpe nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Förderelement (4) mindestens einen mit der Rotorwelle gekoppelten Propeller (14) mit einer Propellerachse konzentrisch mit der Rotorwelle (5) umfasst.
20
8. Pumpe nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorwelle (5) ein beidseitig offenes Rohr (12) und der Propeller einen Impeller (13) in Rohr umfasst.
25
9. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Motorstator (9) Motorstatorwindungen aus Kupfer umfasst.
30
10. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit eine kryogene Flüssigkeit oder Flüssigkeitsmischung ist, deren Siedetemperatur

sich unterhalb der kritischen Sprungtemperatur des Hochtemperatursupraleiters befindet.

- 5 11. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Förderelement **(4)** gleichmäßig um den Motorrotor **(3)** angeordnete durchgehende wendelförmige Nuten **(16)** im Motorrotor umfasst.
- 10 12. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor **(1)** rohrförmig ist, keine Rotorwelle umfasst, der Motorrotor und die Lagerrotoren **(3)** einstückig sind und mindestens eines der Förderelemente **(4)** als Impeller **(13)** im rohrförmigen Rotor einschließt.
- 15 13. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Käfigläufer über den Umfang des Motorrotors parallel zur Rotationslagerung orientierte Streben aus dem Hochtemperatursupraleiter aufweist.
- 20 14. Pumpe nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Streben jeweils endseitig und paarweise zu Ringleitern verbunden sind.
- 25 15. Pumpe nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Streben jeweils endseitig durch je einen Endring elektrisch miteinander verbunden sind.
- 30 16. Pumpe nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Endringe und Streben durch eine durchgehende Beschichtung auf dem Umfang des Motorrotors gebildet sind.
- 35 17. Pumpe nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Förderrohr eine separate Wärmedämmschicht an der Innenwandung aufweist.

Fig. 1a

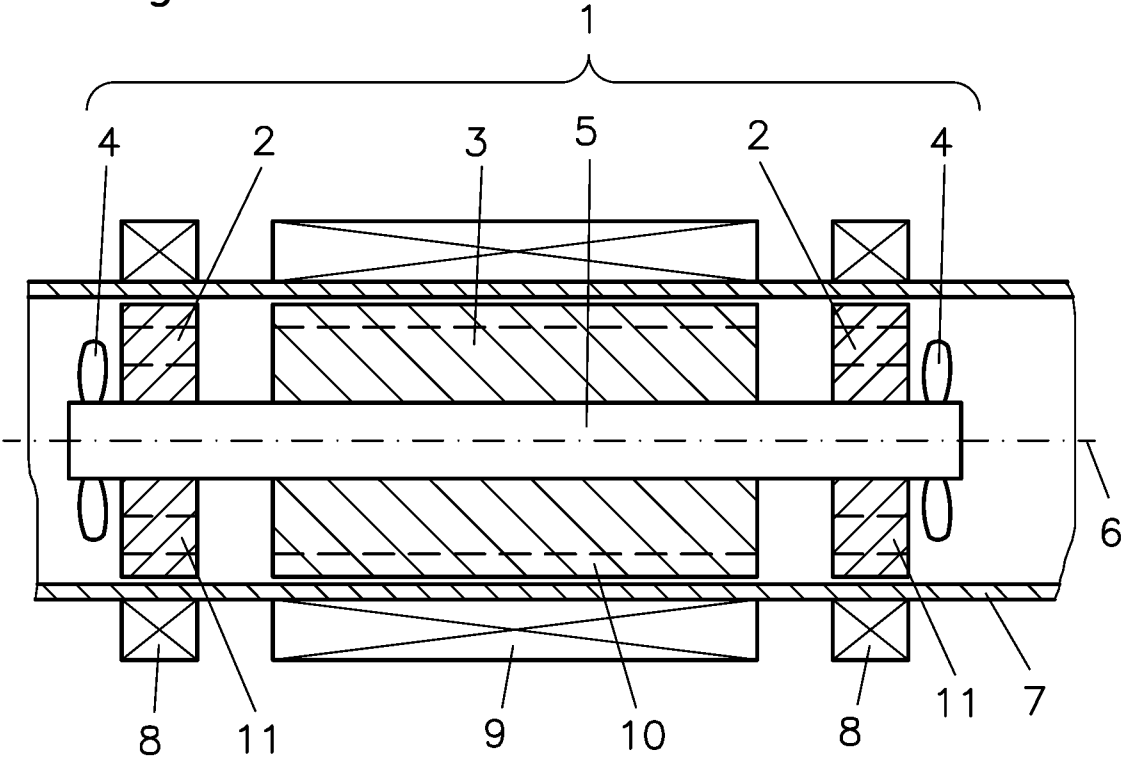


Fig. 1b

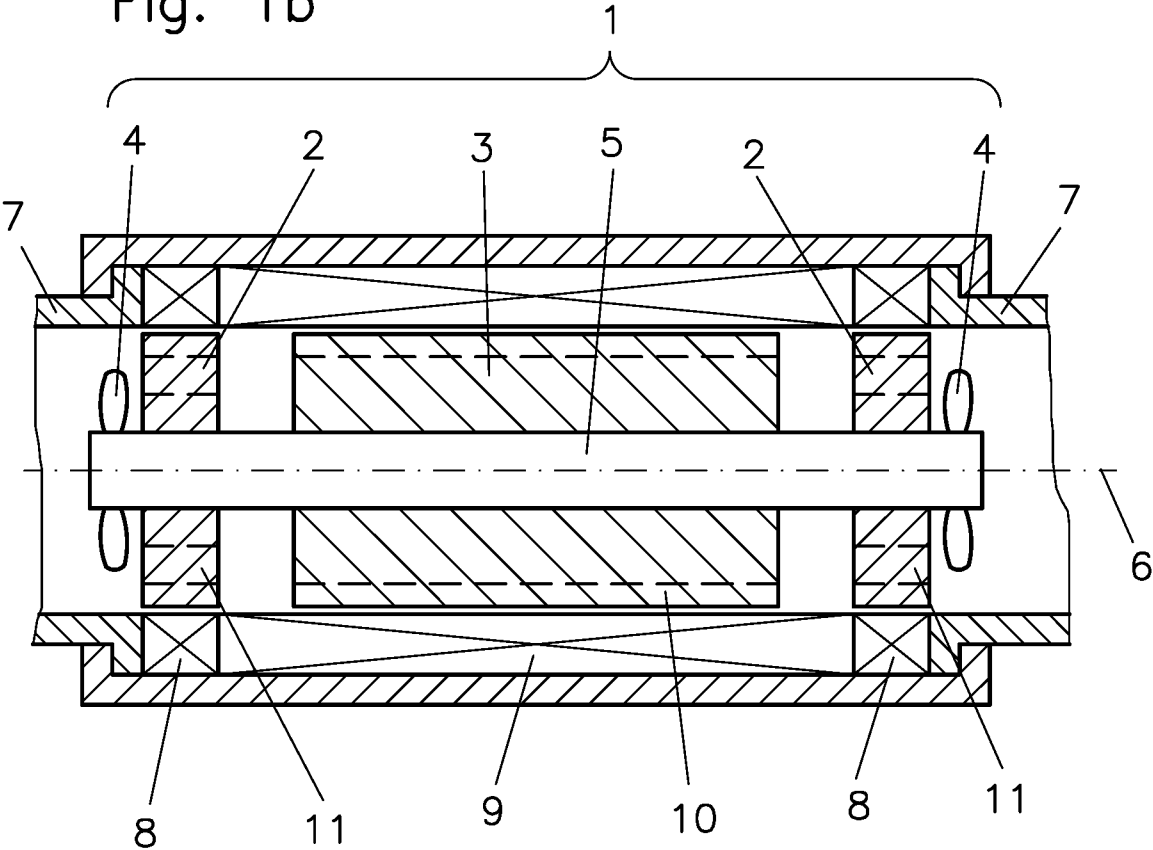


Fig. 2

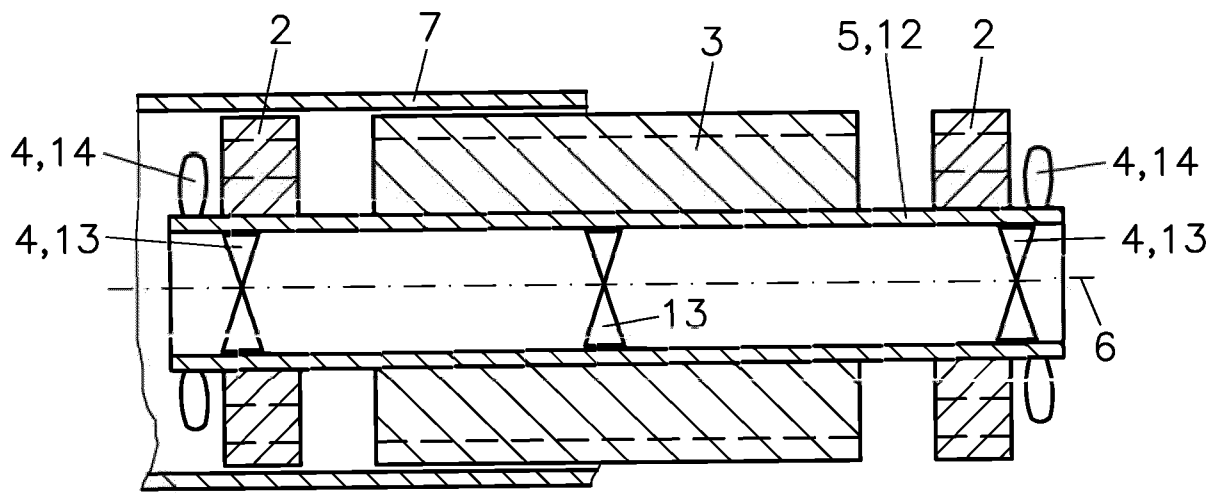


Fig. 3a

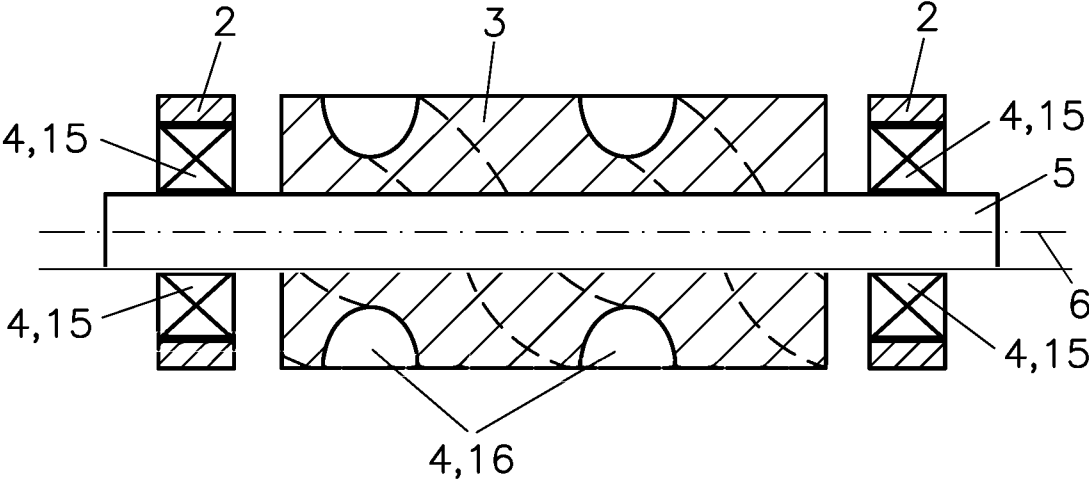


Fig. 3b

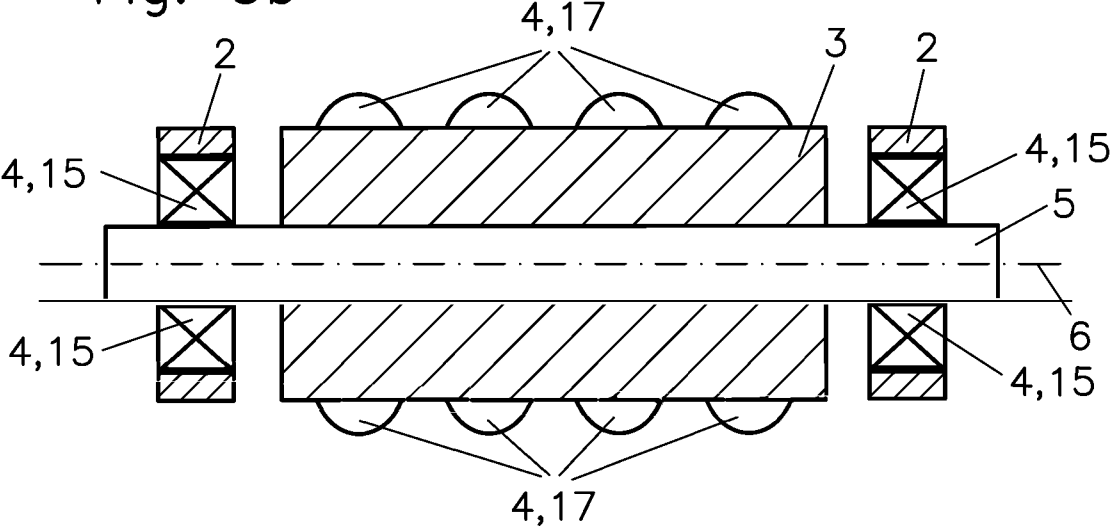


Fig. 4

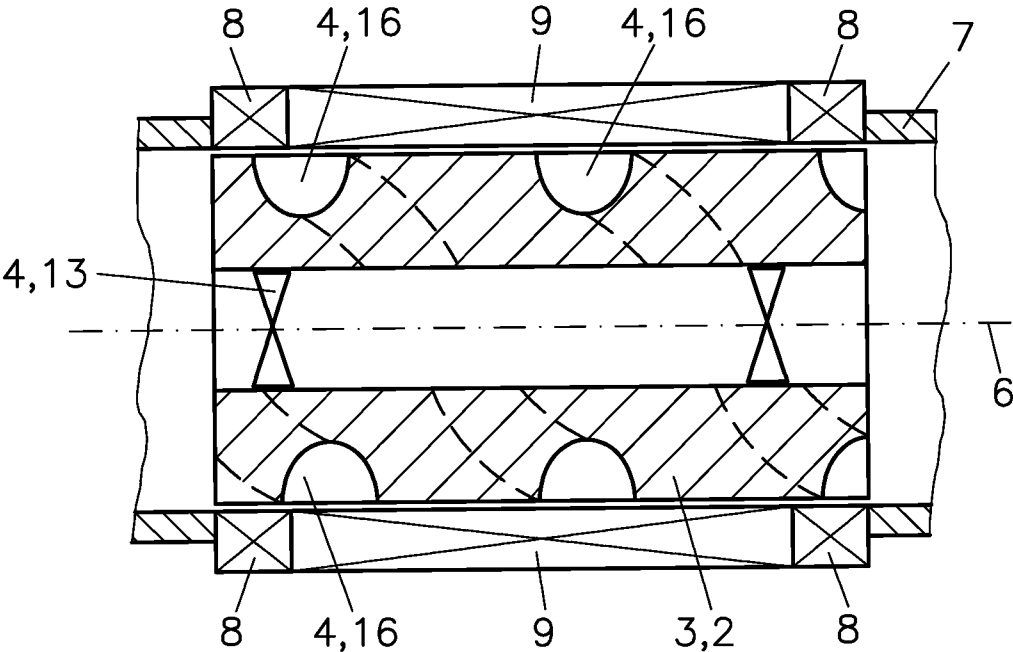


Fig. 5

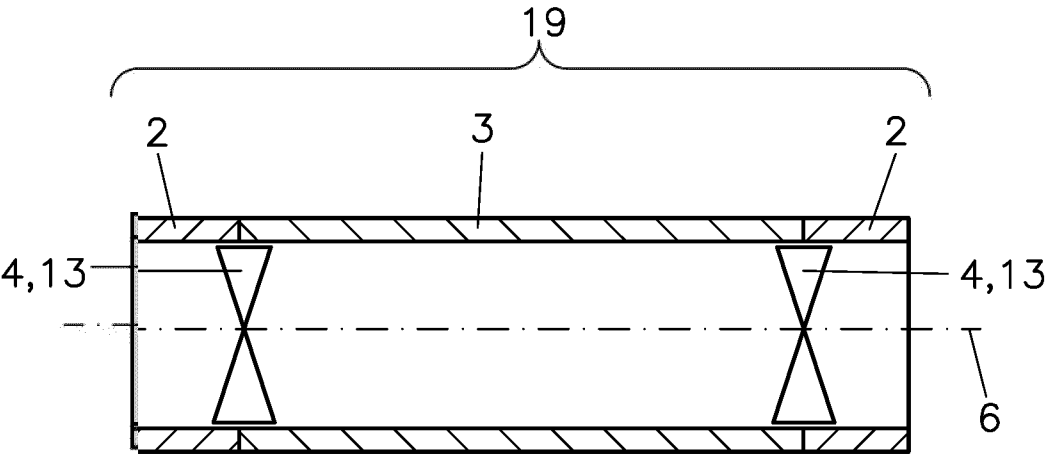
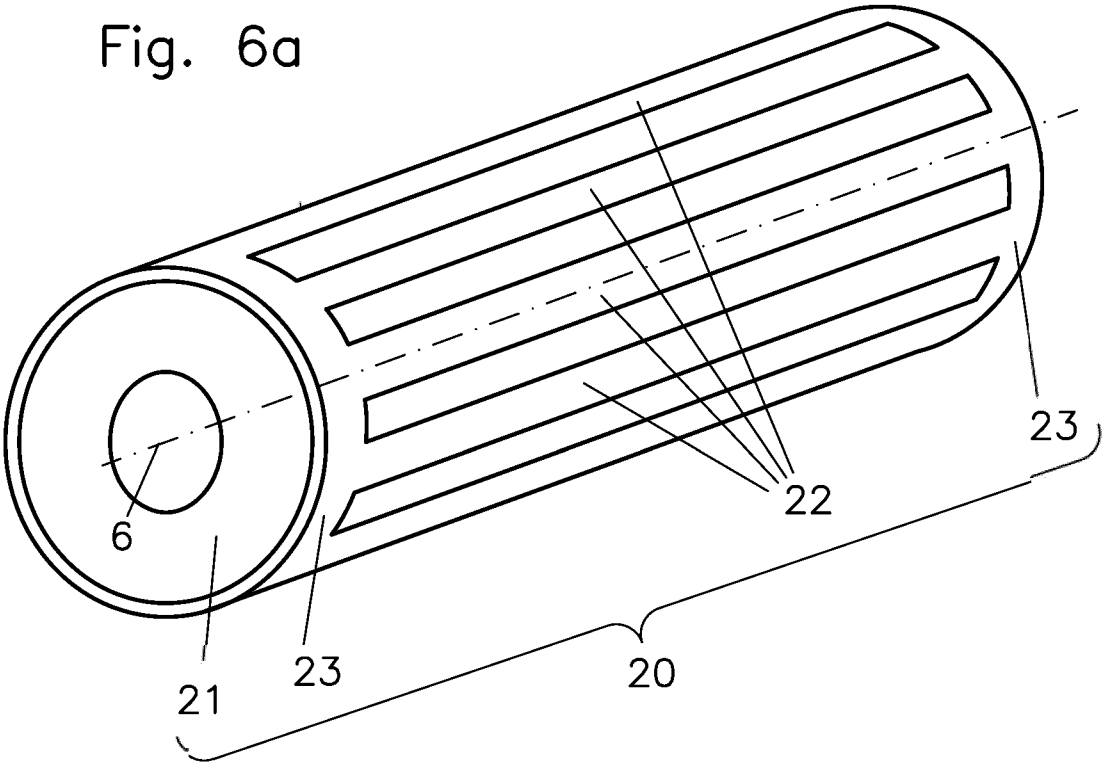


Fig. 6a



5/5

Fig. 6b

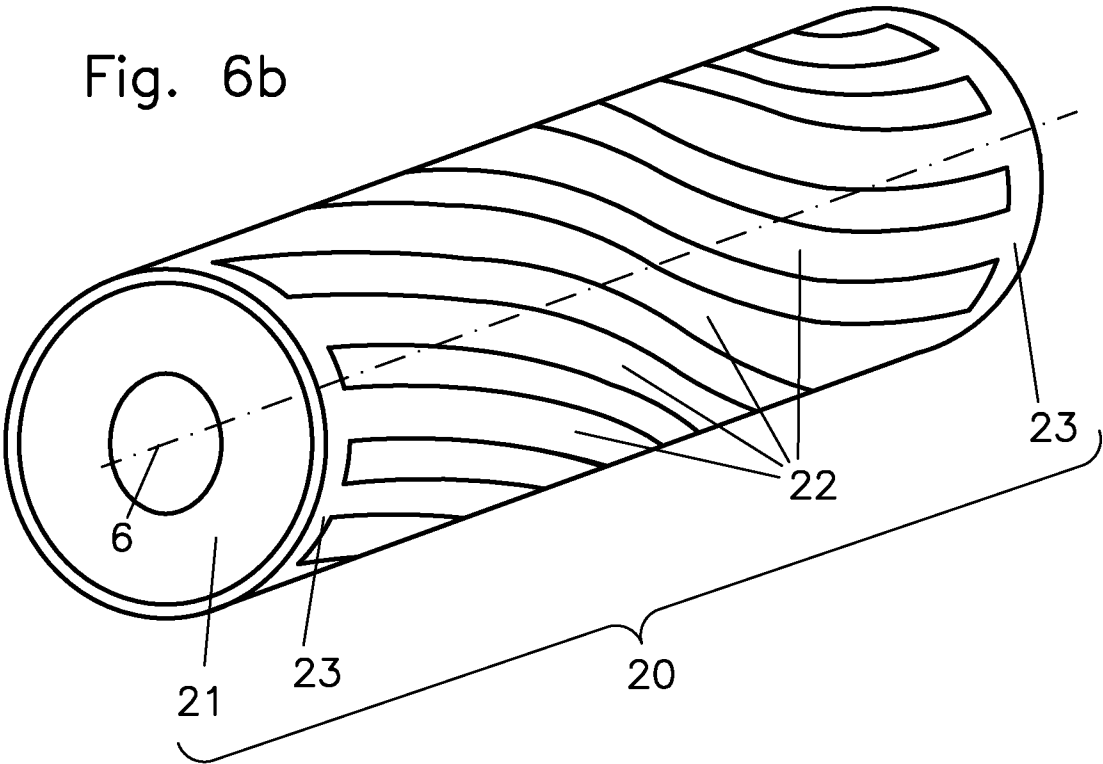
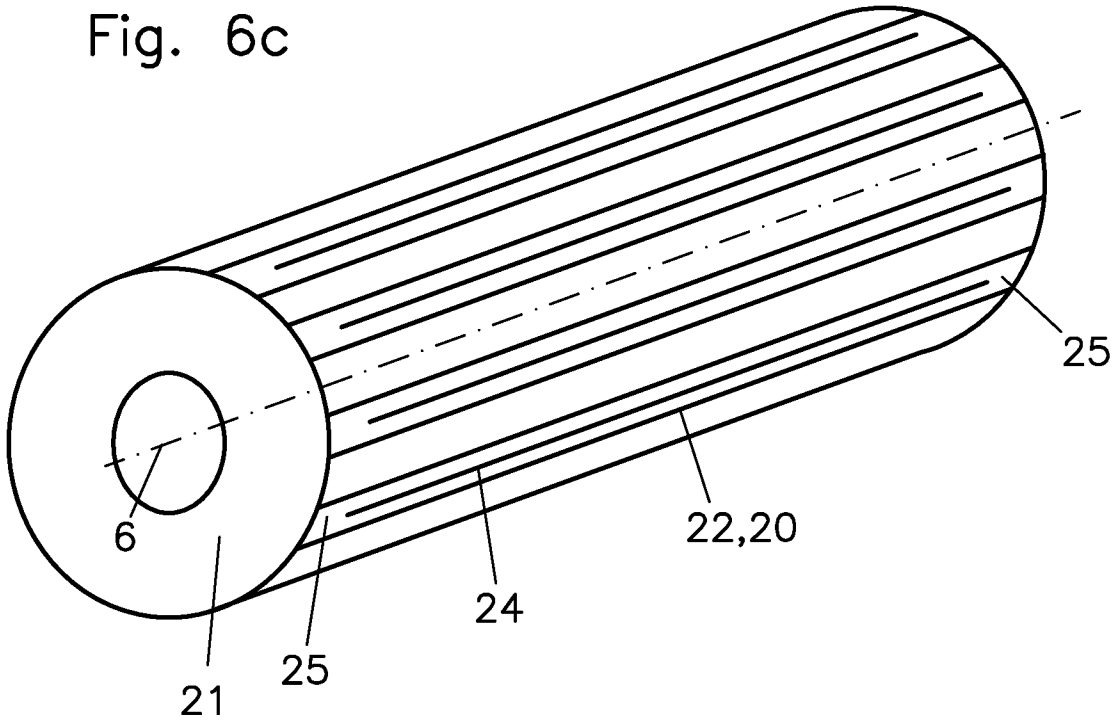


Fig. 6c



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/066166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F04D 3/00(2006.01)i; **F04D 3/02**(2006.01)i; **F04D 7/00**(2006.01)i; **F04D 13/06**(2006.01)i; **H02K 7/14**(2006.01)i;
H02K 55/04(2006.01)i; **F04D 29/02**(2006.01)i; **F16C 32/04**(2006.01)i; **F04D 29/048**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F04D; H02K; F16C; H05K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 9959237 A1 (ISIS INNOVATION [GB]; DEW HUGHES DAVID [GB] ET AL.) 18 November 1999 (1999-11-18)	1, 3, 4, 9, 10, 12, 13, 15-17
Y	page 3, line 16 - page 11, line 24 pages 1, 3	2, 5-8, 11, 14
Y	US 5341059 A (FUKUYAMA HIROMASA [JP] ET AL) 23 August 1994 (1994-08-23) column 6, line 65 - column 7, line 6 figure 4	2
Y	US 6758593 B1 (TERENTIEV ALEXANDRE N [US]) 06 July 2004 (2004-07-06) column 26, line 66 - column 28, line 15 figure 12	5-8
Y	JP S53115902 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 09 October 1978 (1978-10-09) figure 5	11
Y	DE 102014212035 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24 December 2015 (2015-12-24) paragraph [0059] - paragraph [0060] figures 4, 5	14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 August 2024

Date of mailing of the international search report

29 August 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Oliveira, Damien

Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6249905 B2 (KOBELSTEEL LTD) 20 December 2017 (2017-12-20) abstract figures 1, 2	1-17
A	BIASION MARCO ET AL. "Superconductivity and its Application in the Field of Electrical Machines" 2021 IEEE INTERNATIONAL ELECTRIC MACHINES & DRIVES CONFERENCE (IEMDC), IEEE, 17 May 2021 (2021-05-17), pages 1-7 DOI: 10.1109/IEMDC47953.2021.9449545 XP033926708 paragraph III.C. Superconducting Induction Machines figure 9	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/066166

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	9959237	A1	18 November 1999	NONE			
US	5341059	A	23 August 1994	DE	4232869	A1	01 April 1993
				GB	2260375	A	14 April 1993
				JP	2999607	B2	17 January 2000
				JP	H0587142	A	06 April 1993
				US	5341059	A	23 August 1994
US	6758593	B1	06 July 2004	AT	E459814	T1	15 March 2010
				AU	2941201	A	22 April 2002
				CA	2425232	A1	18 April 2002
				EP	1332299	A1	06 August 2003
				IL	155267	A	15 May 2007
				JP	4934776	B2	16 May 2012
				JP	2004511902	A	15 April 2004
				US	6758593	B1	06 July 2004
				US	2004218468	A1	04 November 2004
				US	2005201201	A1	15 September 2005
				WO	0231372	A1	18 April 2002
JP	S53115902	A	09 October 1978	NONE			
DE	102014212035	A1	24 December 2015	DE	102014212035	A1	24 December 2015
				WO	2015197477	A1	30 December 2015
JP	6249905	B2	20 December 2017	JP	6249905	B2	20 December 2017
				JP	2015061978	A	02 April 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	F04D3/00 F04D3/02 F04D7/00 F04D13/06 H02K7/14	
	H02K55/04 F04D29/02 F16C32/04	
ADD.	F04D29/048	
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F04D H02K F16C H05K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 99/59237 A1 (ISIS INNOVATION [GB]; DEW HUGHES DAVID [GB] ET AL.) 18. November 1999 (1999-11-18)	1,3,4,9, 10,12, 13,15-17
Y	Seite 3, Zeile 16 - Seite 11, Zeile 24 Seiten 1, 3	2,5-8, 11,14
Y	US 5 341 059 A (FUKUYAMA HIROMASA [JP] ET AL) 23. August 1994 (1994-08-23) Spalte 6, Zeile 65 - Spalte 7, Zeile 6 Abbildung 4	2
Y	US 6 758 593 B1 (TERENTIEV ALEXANDRE N [US]) 6. Juli 2004 (2004-07-06) Spalte 26, Zeile 66 - Spalte 28, Zeile 15 Abbildung 12	5-8
	- / - -	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 20. August 2024		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 29/08/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Oliveira, Damien

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JP S53 115902 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 9. Oktober 1978 (1978-10-09) Abbildung 5 -----	11
Y	DE 10 2014 212035 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24. Dezember 2015 (2015-12-24) Absatz [0059] - Absatz [0060] Abbildungen 4, 5 -----	14
A	JP 6 249905 B2 (KOBE STEEL LTD) 20. Dezember 2017 (2017-12-20) Zusammenfassung Abbildungen 1, 2 -----	1-17
A	BIASION MARCO ET AL: "Superconductivity and its Application in the Field of Electrical Machines", 2021 IEEE INTERNATIONAL ELECTRIC MACHINES & DRIVES CONFERENCE (IEMDC), IEEE, 17. Mai 2021 (2021-05-17), Seiten 1-7, XP033926708, DOI: 10.1109/IEMDC47953.2021.9449545 [gefunden am 2021-06-08] Absatz III.C. Superconducting Induction Machines Abbildung 9 -----	1-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/066166

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9959237	A1	18-11-1999	KEINE
US 5341059	A	23-08-1994	DE 4232869 A1 01-04-1993
			GB 2260375 A 14-04-1993
			JP 2999607 B2 17-01-2000
			JP H0587142 A 06-04-1993
			US 5341059 A 23-08-1994
US 6758593	B1	06-07-2004	AT E459814 T1 15-03-2010
			AU 2941201 A 22-04-2002
			CA 2425232 A1 18-04-2002
			EP 1332299 A1 06-08-2003
			IL 155267 A 15-05-2007
			JP 4934776 B2 16-05-2012
			JP 2004511902 A 15-04-2004
			US 6758593 B1 06-07-2004
			US 2004218468 A1 04-11-2004
			US 2005201201 A1 15-09-2005
			WO 0231372 A1 18-04-2002
JP S53115902	A	09-10-1978	KEINE
DE 102014212035	A1	24-12-2015	DE 102014212035 A1 24-12-2015
			WO 2015197477 A1 30-12-2015
JP 6249905	B2	20-12-2017	JP 6249905 B2 20-12-2017
			JP 2015061978 A 02-04-2015