

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Mai 2018 (24.05.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2018/091330 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:  
H02K 1/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/078590

(22) Internationales Anmeldedatum:  
08. November 2017 (08.11.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2016 222 481.6  
16. November 2016 (16.11.2016) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: RICHTER, Johannes; Flugplatzstr. 82, 90768 Fürth (DE). WEIDERMANN, Christian; Orlamünder Straße 86D, 07381 Pößneck (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,

KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

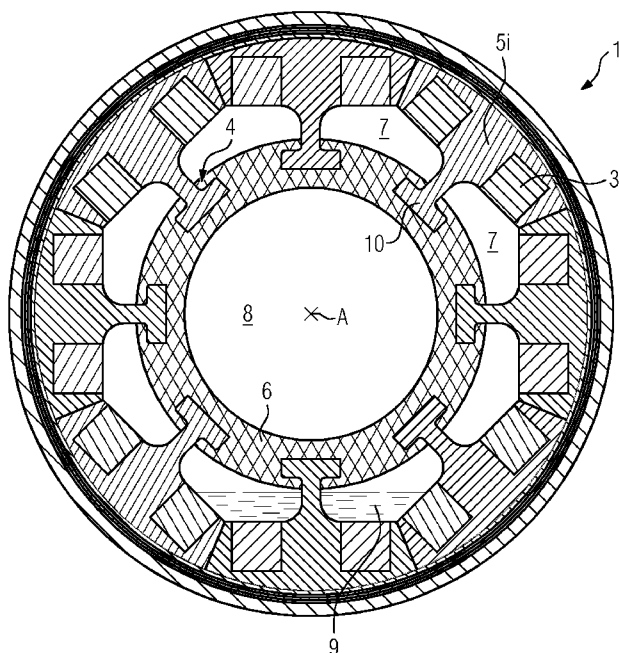
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: ROTOR FOR HIGH ROTATION SPEEDS, COMPRISING A COIL ARRANGEMENT AND A COIL FORMER

(54) Bezeichnung: ROTOR FÜR HOHE DREHZAHLEN MIT SPULENANORDNUNG UND WICKLUNGSTRÄGER

FIG 1



(57) Abstract: The invention specifies a rotor (1) for an electrical machine (21), comprising - at least one electrical coil arrangement (3i), - at least one coil former (5, 5i) which mechanically supports the at least one coil arrangement (3i) and at least partially surrounds said coil arrangement on a radially outer side of the coil arrangement, - wherein the rotor (1) has a central supporting element (6), and - wherein the at least one coil former (5i) is mechanically connected to the central supporting element by means of an anchoring element (4) which is embedded in an interlocking manner into the supporting element (6). The invention further specifies an electrical machine (21) comprising a rotor (1) of this kind and a stator which is arranged in a stationary manner.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Rotor (1) für eine elektrische Maschine (21) angegeben, umfassend - wenigstens eine elektrische Spulenanordnung (3i), - wenigstens einen Wicklungsträger (5, 5i), der die wenigstens eine Spulenanordnung (3i) mechanisch trägt und diese auf einer radial außenliegenden Seite der Spulenanordnung wenigstens teilweise umgibt, - wobei der Rotor (1) ein zentrales Tragelement (6) aufweist und - wobei der wenigstens eine Wicklungsträger (5i) über ein formschlüssig in das Tragelement (6) eingebettetes Verankerungselement (4) mechanisch mit dem zentralen Tragelement verbunden ist. Weiterhin wird eine elektrische Maschine (21) mit einem derartigen Rotor (1) und einem feststehend angeordneten Stator angegeben.

WO 2018/091330 A1

## Beschreibung

5 Rotor für hohe Drehzahlen mit Spulenanordnung und Wicklungs-  
träger

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Rotor für eine elektrische Maschine, wobei der Rotor wenigstens eine elektrische Spulenanordnung und wenigstens einen Wicklungsträger  
10 umfasst, der die wenigstens eine Spulenanordnung mechanisch trägt. Weiterhin betrifft die Erfindung eine elektrische Maschine mit einem solchen Rotor.

Nach dem Stand der Technik werden die Spulenanordnungen in  
15 den Rotoren elektrischer Maschinen typischerweise auf einem radial innenliegenden Wicklungsträger mechanisch gehalten. Bei diesen radial innenliegenden Wicklungsträgern handelt es sich oft um geblechte Eisenkerne, die den Innenraum vollständig ausfüllen und auf deren Außenseite die Wicklungen aufgebracht werden. Um die Spulen mechanisch tragen zu können,  
20 weisen solche Eisenkerne oft auf ihrer radial außenliegenden Seite ein gestuftes Profil auf, so dass die nach radial außen ragenden Vorsprünge des Eisenkerns in das Zentrum der einzelnen Spulenanordnungen hineingreifen und diese von ihrer Mitte  
25 aus halten können. Das Eisen eines solchen Wicklungsträgers dient dabei gleichzeitig zur magnetischen Flussführung im Rotor.

Um die elektrischen Spulenanordnungen des Rotors kühlen zu  
30 können, sind diese häufig mittels einer komplexen Kühlstruktur an ein Kühlsystem gekoppelt. Eine solche Kühlstruktur umfasst typischerweise, insbesondere für supraleitende Rotorwicklungen, eine Mehrzahl von thermisch hoch leitfähigen Elementen, mittels derer die in den Spulenanordnungen  
35 entstehende Wärme an ein räumlich entfernt zirkulierendes Kühlmittel abgeführt werden kann. Diese thermisch leitfähigen Elemente enthalten oft eine große Menge an Kupfer. Das zirkulierende Kühlmittel kann beispielsweise in einem Hohlraum im Inneren des Wicklungsträgers fließen und außerhalb des Rotors

rückgekühlt werden. Eine derartige Kühlungsstruktur und ein derartiges Kühlsystem sind besonders wichtig für den Betrieb des Rotors, wenn die Spulenanordnungen supraleitende Wicklungen aufweisen, deren Leitermaterial im Betrieb auf eine  
5 kryogene Temperatur unterhalb der Sprungtemperatur des Supraleiters gekühlt werden muss. Besonders bei einem derartigen supraleitenden Rotor ist der Gewichtsbeitrag der Kühlungsstruktur oft relativ groß. Aber auch bei einem normalleitenden Rotor kann durch die schwere, hoch wärmeleitfähige Küh-  
10 lungsstruktur ein hoher Gewichtsbeitrag zustande kommen.

Ein weiterer Nachteil eines solchen bekannten Rotors ist, dass durch die hohen Dichten von den verwendeten eisen- und kupferhaltigen Materialien im Betrieb des Rotors hohe Fliehkraftbelastungen zustande kommen. Hierdurch sind die maximalen Drehzahlen von herkömmlichen Maschinen, insbesondere supraleitenden Maschinen, stark limitiert.  
15

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen Rotor anzugeben, welcher die genannten Nachteile überwindet. Insbesondere soll ein Rotor zur Verfügung gestellt werden, welcher eine vergleichsweise geringe Masse aufweist und gleichzeitig hohe Drehzahlen erreichen kann. Eine weitere Aufgabe ist es, eine elektrische Maschine mit einem derartigen Rotor anzugeben.  
25

Diese Aufgaben werden durch den in Anspruch 1 beschriebenen Rotor und die in Anspruch 13 beschriebene elektrische Maschine gelöst.

Der erfindungsgemäße Rotor ist als Rotor für eine elektrische Maschine ausgelegt. Er umfasst wenigstens eine elektrische Spulenanordnung und wenigstens einen Wicklungsträger, der die wenigstens eine Spulenanordnung mechanisch trägt und diese auf einer radial außenliegenden Seite der Spulenanordnung wenigstens teilweise umgibt. Der Rotor weist ein zentrales Tragelement und wenigstens ein Verankerungselement auf, wobei der wenigstens eine Wicklungsträger über das formschlüssig in  
35

das Tragelement eingebettete Verankerungselement mechanisch mit dem zentralen Tragelement verbunden ist.

Wesentlich ist, dass der Rotor wenigstens eine elektrische  
5 Spulenordnung aufweist, durch die bei Fließen eines elektrischen Stroms ein elektromagnetisches Feld ausgebildet werden kann. Insbesondere kann der Rotor sogar wenigstens zwei radial gegenüberliegende Spulenordnungen aufweisen, die zusammen ein magnetisches Polpaar ausbilden. Eine solche Mehr-  
10 zahl von Spulenordnungen bildet zusammen die Rotorwicklung aus. Jede der Spulenordnungen kann dabei entweder nur eine Wicklungslage oder eine Mehrzahl von Wicklungslagen umfassen. Die einzelnen, sich axial erstreckenden Leiterbereiche einer solchen Spulenordnung können beispielsweise über Wicklungs-  
15 köpfe in den axialen Endbereichen elektrisch miteinander verbunden sein. Die Rotorwicklung als Ganzes kann dabei entweder aus einem zusammenhängenden Leiter oder aus mehreren einzelnen Leitern gebildet sein, die zumindest teilweise nachträglich zu einer übergeordneten Wicklung miteinander kontaktiert  
20 sein können.

Unabhängig von der genauen Ausgestaltung der Rotorwicklung aus einer oder mehreren Spulenordnungen ist es wesentlich für die Erfindung, dass die wenigstens eine Spulenordnung  
25 von wenigstens einem radial außenliegenden Wicklungsträger mechanisch gehalten wird. Die mechanische Halterung der Spulenordnung(en) wird also mit anderen Worten über eine exoskelettartige Struktur erreicht. Diese exoskelettartige Struktur soll die Spulenordnung(en) radial außenliegend we-  
30 nigstens teilweise umgeben – mit anderen Worten soll der Wicklungsträger mit mehr als einer Fläche an der wenigstens einen Spulenordnung anliegen, um diese in mehreren Richtungen abstützen zu können. Insbesondere kann der Wicklungsträger sowohl radial außenliegend als auch in Umfangsrichtung an  
35 die Spulenordnung(en) angrenzen, um diese sowohl in radialer Richtung nach außen als auch in azimuthaler Richtung gegen einwirkende Kräfte abstützen zu können. So kann die Spulenordnung bei einer Drehung des Rotors sowohl gegen die nach

außen wirkenden Fliehkräfte als auch gegen die in Umfangsrichtung wirkenden Kräfte abgestützt werden.

Durch die beschriebene Verankerung des wenigstens einen Wicklungsträgers auf dem zentralen Tragelement wird erreicht,  
5 dass der Wicklungsträger insbesondere in radialer Richtung gegen die beim Betrieb wirkenden Fliehkräfte abgestützt wird. Auch eine Drehmomentübertragung vom Wicklungsträger auf das zentrale Tragelement kann über dieses wenigstens eine Verankerungselement erfolgen. Insbesondere bei Vorliegen mehrerer  
10 Spulenanordnungen und/oder mehrere Wicklungsträger können vorteilhaft auch mehrere solche Verankerungselemente vorliegen. Diese Mehrzahl von Verankerungselementen kann in Umfangsrichtung und/oder in axialer Richtung entlang der Außenfläche des zentralen Tragelements verteilt sein.  
15

Wesentlich im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ist, dass das zentrale Tragelement und das wenigstens eine Verankerungselement als separate, nachträglich (also nach ihrer jeweiligen Fertigung) zusammengesetzte Elemente vorliegen. Die mechanisch feste Verbindung zwischen diesen Elementen wird dabei über einen Formschluss gewährleistet. Insbesondere ist dieser Formschluss so ausgestaltet, dass er einer Relativbewegung zwischen zentralem Tragelement und Verankerungselement in radialer Richtung entgegenwirkt. Zusätzlich  
25 kann er vorteilhaft auch einer Relativbewegung in azimuthaler Richtung entgegenwirken. Wenn auf diese Weise Relativbewegungen in radialer und/oder azimuthaler Richtung verhindert werden, wird umgekehrt eine mechanische Abstützung in radialer Richtung und/oder eine Übertragung von Drehmomenten bei Rotation um eine zentrale Achse ermöglicht. Mit anderen Worten ermöglicht das wenigstens eine Verankerungselement eine Abstützung des Wicklungsträgers (und damit indirekt der Spulenanordnung) an dem zentralen Tragelement gegen radiale Kräfte  
30 (insbesondere Fliehkräfte). Gleichzeitig wird eine Übertragung von Drehmomenten zwischen dem Wicklungsträger (und damit wiederum indirekt der Spulenanordnung) und dem zentralen Tragelement ermöglicht.  
35

Die erfindungsgemäße Ausgestaltung von zentralem Tragelement und dem/den Verankerungselement(en) als separate, nachträglich formschlüssig verbundene Elemente hat gegenüber einer  
5 einstückigen Ausführung mehrere Vorteile:

- Zum einen ist die Fertigung durch die nachträgliche Verbindung erleichtert, da die einzelnen Elemente weniger komplex geformt sind als die daraus gebildete übergeordnete Tragstruktur.

10 - Zum anderen ermöglicht die mehrstückige Ausführung eine Wahl von unterschiedlichen Materialien für die einzelnen Elemente. So kann durch die Auswahl von jeweils angepassten Materialdichten und Zugfestigkeiten eine insgesamt in Bezug auf geringe Masse und mechanische Festigkeit optimierte  
15 Tragestruktur zur Verfügung gestellt werden.

- Weiterhin kann die Spulenordnung vor der Verbindung des Verankerungselements mit dem zentralen Tragelement in den zugehörigen Wicklungsträger eingebettet werden. Dies ermöglicht geometrische Anordnungen und Abmessungen, die insbesondere bei einstückiger Ausführung von Wicklungsträger und  
20 Verankerungselement sonst nicht möglich wären.

Bei dem erfindungsgemäßen Rotor ist die Funktion der mechanischen Halterung der Spulenordnungen stufenweise auf wenigstens zwei Elemente aufgeteilt: Der oder die Wicklungsträger  
25 begrenzen die Spulenordnung(en) nach radial außen und halten sie von dort. Das wenigstens eine Verankerungselement stützt und hält dagegen den oder die Wicklungsträger von einem radial innenliegenden Bereich des Rotors aus. Das zentrale Tragelement kann zusammen mit den (vorteilhaft mehreren) Verankerungselementen eine Art innenliegendes Skelett ausbilden. Dieses kann Hohlräume aufweisen, um den Gewichtsbeitrag zum Gesamtgewicht des Rotors möglichst gering zu halten.

35 Insgesamt ermöglicht die erfindungsgemäße Ausgestaltung also eine Tragstruktur für die Spulenordnung(en), welche aufgrund ihrer mechanischen Belastbarkeit in radialer und azimuthaler Richtung für hohe Drehzahlen geeignet ist. Gleichzeitig

kann sie vorteilhaft durch Materialien geringer Dichte realisiert und relativ leicht gefertigt werden.

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine weist einen erfindungsgemäßen Rotor und einen feststehend angeordneten Stator auf. Die Vorteile der erfindungsgemäßen Maschine ergeben sich analog zu den beschriebenen Vorteilen des erfindungsgemäßen Rotors.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den von den Ansprüchen 1 und 13 abhängigen Ansprüchen sowie der folgenden Beschreibung hervor. Dabei können die beschriebenen Ausgestaltungen des Rotors und der elektrischen Maschine vorteilhaft miteinander kombiniert werden.

Der Rotor ist zweckmäßig zur Rotation bezüglich einer zentralen Rotationsachse ausgestaltet. Das zentrale Tragelement kann sich dann insbesondere entlang dieser Rotationsachse erstrecken. Der Rotor kann besonders bevorzugt eine insgesamt zylindrische Grundform aufweisen, und das zentrale Tragelement kann zentral auf der Zylinderachse und somit auf der Rotationsachse angeordnet sein.

Das wenigstens eine Verankerungselement und der wenigstens eine Wicklungsträger können vorteilhaft einstückig ausgebildet sein. Eine solche Ausführungsform kann die Herstellung erleichtern, da weniger einzelne Komponenten benötigt werden. Außerdem ist die mechanische Festigkeit des gesamten Rotors so besonders hoch, da durch die einstückige Ausführung eine besonders gute Kraftübertragung zwischen dem Bereich des Bauteils, der das Verankerungselement bildet, und dem Bereich des Bauteils, der den Wicklungsträger bildet, gewährleistet ist.

Alternativ ist es jedoch auch möglich, dass das wenigstens eine Verankerungselement und der wenigstens eine Wicklungsträger als separate und erst nachträglich miteinander verbun-

dene Bauteile vorliegen. Eine solche Verbindung kann wiederum als formschlüssige Verbindung gebildet sein. Alternativ oder zusätzlich ist jedoch prinzipiell auch eine stoffschlüssige und/oder kraftschlüssige Verbindung möglich. Bei einer Ausführung  
5 führungsform mit separat gebildeten Elementen ist vorteilhaft die Wahl unterschiedlicher Materialien und eine getrennte Anpassung an die geforderten Festigkeiten und/oder sonstige Materialeigenschaften bei gleichzeitig möglichst geringer Dichte möglich. Eine solche nachträgliche Verbindung zwischen  
10 Verankerungselement und Wicklungsträger kann beispielsweise durch Schrauben, Bolzen und/oder ein Nut-Feder-System geschaffen werden.

Der Rotor weist vorteilhaft einen innenliegenden Hohlraum  
15 auf, in dem ein fluides Kühlmittel zirkulierbar ist. Er ist bevorzugt so ausgelegt, dass die wenigstens eine Spulenordnung zumindest auf ihrer radial innenliegenden Seite in Kontakt mit dem Kühlmittel treten kann.

20 Durch den innenliegenden Hohlraum kann das fluide Kühlmittel so zirkulieren, dass es die Spulenordnung von einer radial innenliegenden Seite aus entwärmen kann. Hierzu kann die Spulenordnung auf ihrer radial innenliegenden Seite zumindest teilweise frei liegen - also nicht vom Wicklungsträger umgeben  
25 sein - so dass das Kühlmittel die Spulenwicklung auf dieser Seite anströmen kann. Insbesondere kann es also in direktem Kontakt mit der Spulenordnung treten. Hierbei kann insbesondere die Leiterwicklung der Spulenordnung selbst von Kühlmittel angeströmt oder umströmt werden. Entweder kann der  
30 Leiter selbst oder aber eine den Leiter umgebende elektrische Isolations-, Imprägnierungs- und/oder Schutzschicht so in direktem Kontakt mit dem Kühlmittel stehen, dass die Spulenordnung die im Betrieb entstehende Wärme an das Kühlmittel abführen kann. Wesentlich ist, dass die thermische Kopplung  
35 des Kühlmittels an die Spulenordnung(en) nicht allein durch zusätzliche wärmeleitende Kühlstrukturen über eine räumliche Entfernung hinweg erreicht wird, sondern dass das Kühlmittel in direktem Kontakt mit einem Bestandteil der Spulenordnung

steht. Dabei soll aber nicht ausgeschlossen sein, dass zusätzlich eine wärmeleitende Kühlstruktur vorliegt. Beispielsweise kann zusätzlich zu dem direkten Kontakt des Kühlmittels mit der Spulenanordnung ein sich in Umfangsrichtung erstreckender wärmeleitender Ring vorliegen, um bei einem Stillstand des Rotors die gerade nicht mit dem Kühlmittel in Kontakt tretenden azimutalen Bereiche der Spulenanordnung zu kühlen. Wesentlich im Zusammenhang mit dieser Ausführungsform ist nur, dass zumindest ein Teil der Spulenanordnung zu einem bestimmten Zeitpunkt im direkten Kontakt mit dem Kühlmittel steht.

Durch die beschriebenen Merkmale des so ausgestalteten Rotors wird erreicht, dass der Rotor mit vergleichsweise geringer Masse ausgelegt werden kann und dass trotzdem eine effektive Entwärmung der Spulenanordnung(en) erfolgen kann. Durch die beschriebene Halterung der Spulenanordnung(en) von außen nach Art eines Exoskeletts wird erreicht, dass radial innenliegend neben der Spulenanordnung ein Hohlraum zum Zirkulieren von Kühlmittel angeordnet werden kann. Eine solche offene Struktur erlaubt nicht nur eine effiziente Entwärmung, sondern auch eine geringe gemittelte Dichte des Rotors, denn das Kühlmittel hat typischerweise eine geringere Dichte als die tragenden Teile des außenliegenden Wicklungsträgers. Dabei können im axial innenliegenden Bereich des Rotors entweder größere Teile des Querschnitts als Hohlraum ausgeführt sein und/oder es können ein oder mehrere weitere feste Elemente vorgesehen sein, die den wenigstens einen Wicklungsträger zusätzlich abstützen. Wesentlich ist, dass der Rotor durch die Abstützung der Spulenanordnung(en) nach außen hin insgesamt wesentlich leichter ausgeführt werden kann, als wenn die Spulenanordnung(en) auf einem innenliegenden massiven Träger abgestützt ist/sind. Durch die vergleichsweise geringere Dichte beziehungsweise geringere Masse des Rotors können durch diese Ausgestaltung vorteilhaft auch besonders hohe Drehzahlen realisiert werden.

Die elektrische Spulenordnung kann vorteilhaft ein supra-  
leitendes Leitermaterial aufweisen. Die Vorteile der Erfin-  
dung kommen bei einem solchen supraleitenden Rotor besonders  
zum Tragen, da die effektive Kühlung des Leiters auf eine  
5 kryogene Temperatur dann besonders wichtig ist. Für das Er-  
zielen einer Maschine mit einer hohen Leistungsdichte  
und/oder einer hohen Drehzahl ist es dabei besonders vorteil-  
haft, dass die zur Kühlung notwendigen Strukturen ohne einen  
hohen Gewichtsbeitrag geschaffen werden.

10

Besonders vorteilhaft kann die elektrische Spulenordnung  
ein hochtemperatursupraleitendes Material umfassen. Hochtem-  
peratursupraleiter (HTS) sind supraleitende Materialien mit  
einer Sprungtemperatur oberhalb von 25 K und bei einigen Ma-  
15 terialklassen, beispielsweise den Cuprat-Supraleitern, ober-  
halb von 77 K. Bei diesen Leitern kann die Betriebstemperatur  
durch Kühlung mit anderen kryogenen Materialien als flüssigem  
Helium erreicht werden. Dabei soll allerdings nicht ausge-  
schlossen sein, dass trotzdem Helium zur Kühlung verwendet  
20 werden kann, um eine deutlich unterhalb der Sprungtemperatur  
liegende Betriebstemperatur einzustellen. HTS-Materialien  
sind auch deshalb besonders attraktiv, da diese Materialien  
abhängig von der Wahl der Betriebstemperatur hohe obere kri-  
tische Magnetfelder sowie hohe kritische Stromdichten aufwei-  
25 sen können.

Der Hochtemperatursupraleiter kann beispielsweise  
Magnesiumdiborid oder einen oxidkeramischen Supraleiter, bei-  
spielsweise eine Verbindung des Typs  $REBa_2Cu_3O_x$  (kurz REBCO)  
30 aufweisen, wobei RE für ein Element der seltenen Erden oder  
eine Mischung solcher Elemente steht.

Der supraleitende Leiter der Spulenordnung kann allgemein  
vorteilhaft ein Bandleiter, insbesondere ein hochtemperatur-  
35 supraleitender Bandleiter sein. Bei dem Bandleiter kann es  
sich vorteilhaft um einen flachen Bandleiter, insbesondere  
mit annähernd rechteckigem Querschnittsprofil, handeln. Dabei  
können beispielsweise mehrere aufeinanderfolgende Windungen

des Bandleiters flach aufeinander liegen. Bandleiter, bei denen ein normalleitendes Substrat mit einer HTS-Schicht beschichtet ist, sind besonders vorteilhaft für die Herstellung supraleitender Spulenwicklungen für elektrische Maschinen.

5

Insbesondere bei Vorliegen eines solchen supraleitenden Rotors kann dieser für eine Betriebstemperatur der Spulenordnung(en) in einem Temperaturbereich von 90 K oder tiefer, insbesondere in einem Temperaturbereich von 77 K oder tiefer ausgelegt sein. Beispielsweise kann die Betriebstemperatur im Bereich von etwa 30 K liegen.

10

Der Rotor kann eine Mehrzahl  $n$  von Spulenordnungen aufweisen, wobei jede der  $n$  Spulenordnungen auf einem ihr zugeordneten separaten Wicklungsträger angeordnet ist, beziehungsweise von diesem gehalten wird. Mit anderen Worten kann die Struktur zur mechanischen Halterung der einzelnen Spulenordnungen in einzelne Wicklungsträger segmentiert sein. Diese einzelnen Wicklungsträger-Segmente können insbesondere auf verschiedenen Umfangspositionen des Rotors angeordnet sein. Der Vorteil einer solchen Ausführungsform liegt insbesondere in einer vereinfachten Herstellbarkeit der gesamten mechanischen Halterungsstruktur der Spulenordnungen. Jedem dieser einzelnen Wicklungsträger kann vorteilhaft wenigstens ein formschlüssig in das Tragelement eingebettetes Verankerungselement zugeordnet sein. Bei dieser Ausführungsform sind also alle solchen segmentartigen Wicklungsträger einzeln gegen das zentrale Tragelement abgestützt. Mit anderen Worten bilden dann der jeweilige Wicklungsträger und das/die ihm zugeordnete(n) Verankerungselement(e) zusammen ein Umfangssegment der gesamten Tragestruktur des Rotors. Diese Tragestruktur des Rotors wird dann entsprechend durch Verbinden mehrerer solcher Umfangssegmente zusammengesetzt. Eine solche Ausführungsform ermöglicht die Ausbildung einer insgesamt relativ komplexen Tragestruktur und erleichtert deren Fertigung.

20

25

30

35

Alternativ zu der beschriebenen segmentierten Ausführungsform kann aber auch jede der  $n$  Spulenordnungen auf einem ihr zu-

geordneten Umfangssegment eines übergeordneten, gemeinsamen Wicklungsträgers angeordnet sein beziehungsweise von diesem gehalten werden. Bei dieser Ausführungsform liegt also ein über den gesamten Umfang des Rotors durchgehendes Exoskelett vor, innerhalb dessen die einzelnen Spulenanordnungen in Umfangsrichtung verteilt angeordnet sind. Ein solcher übergeordneter Wicklungsträger kann insbesondere eine zylindrische Grundform mit ringförmigem Querschnitt aufweisen. Ein Vorteil eines solchen übergeordneten Wicklungsträgers ist, dass ein stabiler mechanischer Halt zwischen den Umfangsegmenten des Wicklungsträgers gewährleistet ist, ohne dass eine nachträgliche Verbindung benötigt wird. Auch ein solcher übergeordneter, radial außenliegender Wicklungsträger kann durch ein und besonders vorteilhaft durch mehrere entsprechende Verankerungselemente gegen das zentrale Tragelement mechanisch abgestützt sein. Auch bei dieser Ausführungsform kann das wenigstens eine Verankerungselement prinzipiell entweder einstückig mit dem Wicklungsträger ausgeführt sein oder es kann als separat ausgeführtes und nachträglich mit diesen verbundenes Element vorliegen.

Wenn der Rotor eine Mehrzahl  $n$  von Spulenanordnungen aufweist, kann das Tragelement und/oder die Verankerungselemente insbesondere im Wesentlichen eine  $n$ -zählige Rotationssymmetrie aufweisen. Bei einer solchen symmetrischen Ausführung ist die Kräfteverteilung besonders günstig, und das Tragelement und die Verankerungselemente können bei vorgegebenen Drehzahl-Anforderungen besonders leicht ausgeführt werden.

Allgemein können der/die Wicklungsträger, das zentrale Tragelement und/oder die Verankerungselemente aus einem amagnetischen Material gebildet sein. Dabei können insbesondere für die verschiedenen Elemente auch unterschiedliche Materialien gewählt werden. Insbesondere bei der Verwendung von supraleitenden Spulenanordnungen ist die magnetische Flussführung innerhalb der tragenden Strukturen des Rotors nicht nötig und auch nicht erwünscht. Insbesondere kann eine bei der Betriebstemperatur des Rotors kaltzähe Kryolegierung für we-

nigstens eines der genannten Elemente eingesetzt werden, beispielsweise eine Titan-, Aluminium-, Nickel- oder Eisenlegierung (oder die entsprechenden Rheinmetall). Alternativ kann auch ein Faserverbundwerkstoff zum Einsatz kommen. Titan- und  
5 Aluminiumlegierungen sowie Faserverbundwerkstoffe sind dabei aufgrund ihres geringen Gewichts besonders bevorzugt. Titan oder eine titanhaltige Legierung sind als Werkstoffe für das zentrale Halteelement besonders bevorzugt. Insbesondere können durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung die Materialien  
10 für die einzelnen genannten Elemente auch unterschiedlich gewählt werden.

Das wenigstens eine Verankerungselement kann sich beispielsweise über einen Großteil der axialen Länge des Rotors erstrecken. Dann stützt es den oder die Wicklungsträger vorteilhaft auf dem Großteil dieser Länge gegen das Zentrum des Rotors hin ab. Alternativ kann das Verankerungselement aber auch nur in axialen Teilbereichen ausgebildet sein. Dann kann der Innenraum des Rotors in den axial dazwischen liegenden  
20 Bereichen entweder hohl sein oder zumindest einen relativ großen Anteil von Hohlräumen aufweisen. Dies kann besonders vorteilhaft sein, um einen Rotor mit möglichst geringer Masse auszubilden. Besonders bei der Ausführungsform mit einem zusammenhängenden, übergeordneten Wicklungsträger kann es vorteilhaft sein, die Verankerungselemente nur in axialen Teilbereichen auszubilden, weil dann eine Abstützung auf der gesamten axialen Länge nicht nötig ist. Aber auch bei der Verwendung von separaten Wicklungsträger-Segmenten kann es vorteilhaft sein, nur auf einem Teil der axialen Länge Verankerungselemente vorzusehen. Beispielsweise können Lücken zwischen mehreren, in axialer Richtung verteilten Verankerungselementen vorgesehen sein, um zwischen ihnen die vorgefertigte Spulenanordnung von innen in den Wicklungsträger einzuschieben. Nach dem Einschieben der Spulenanordnung kann dann  
35 die formschlüssige Verbindung zwischen Verankerungselementen und zentralem Tragelement geschaffen werden.

Der Rotor kann eine Mehrzahl von Hohlräumen aufweisen, welche auf ihrer radial innenliegenden Seite an das Tragelement und auf ihrer radial außenliegenden Seite an die wenigstens eine Spulenanordnung und/oder an den wenigstens einen Wicklungs-  
5 träger angrenzen. Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn mehrere solche Hohlräume in azimuthaler Richtung über den Rotor verteilt sind, und diese Hohlräume an die dem jeweiligen Winkelsegment zugeordnete Spulenanordnung angrenzen. Dann kann über im jeweiligen Hohlraum zirkulierendes Kühlmittel die je-  
10 weilige Spulenanordnung vorteilhaft direkt gekühlt werden, ohne dass zusätzliche und unter Umständen schwere Elemente zur thermischen Ankopplung durch Wärmeleitung benötigt werden. Zusätzlich zu diesem erwünschten Kontakt des jeweiligen Hohlraums mit der Spulenanordnung kann der Hohlraum ebenfalls  
15 an Teile des Wicklungsträgers angrenzen, um diesen beispielsweise ebenfalls zu entwärmen. Es ist dabei nicht ausgeschlossen, dass der jeweilige Hohlraum auch noch an andere zu entwärmende Elemente angrenzt, beispielsweise an Stromzuführungen, die zur Verbindung der Spulenanordnung(en) mit einem  
20 äußeren Stromkreis vorgesehen sind, oder an Kontakte, die vorgesehen sein können, um beispielsweise einzelne Wicklungslagen der Spulenanordnung(en) miteinander zu verbinden oder um die einzelnen Spulenanordnungen des Rotors untereinander zu verbinden. Gerade für die Kühlung solcher Kontaktstellen  
25 oder Stromzuführungen ist es vorteilhaft, wenn diese Leiterbereiche von Kühlmittel direkt angeströmt werden können, wenn sie also an die betreffenden Hohlräume des Rotors angrenzen.

Die einzelnen Hohlräume können vorteilhaft fluidisch miteinander  
30 ander verbunden sein. Sie können also mit anderen Worten als Teile eines übergeordneten Kühlmittelraums ausgestaltet sein. Hierzu können beispielsweise Öffnungen in verschiedenen Bereichen des zentralen Tragelements und/oder der Verankerungselemente vorgesehen sein, die die einzelnen Hohlräume und damit die einzelnen parallelen Kühlmittelkanäle miteinander  
35 verbinden. Beispielsweise kann das zentrale Tragelement allgemein als Tragrohr ausgebildet sein, durch welches Kühlmittel strömen kann. Dieses Tragrohr kann mit fensterartigen

Ausnahmen versehen sein, durch die Kühlmittel in die Hohlräume zwischen den einzelnen Verankerungselementen gelangen kann. Diese Verankerungselemente können beispielsweise in axialer Richtung Lücken oder zumindest Fenster aufweisen,  
5 durch die Kühlmittel in einen benachbarten Hohlraum hindurchtreten kann.

Der wenigstens eine Wicklungsträger kann bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors in seiner Mitte mit dem zugeordneten  
10 Verankerungselement verbunden sein. Mit anderen Worten sitzt das wenigstens eine dem jeweiligen Wicklungsträger zugeordnete Verankerungselement dann (bezüglich der azimuthalen Richtung) mittig im Wicklungsträger. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, um den jeweiligen Wicklungsträger be-  
15 sonders symmetrisch gegen das zentrale Tragelement abzustützen. Prinzipiell ist es jedoch nicht ausgeschlossen, dass alternativ zwei Verankerungselemente (oder eine andere geradezeilige Anzahl von Verankerungselementen) zu beiden Seiten des Wicklungsträgers angeordnet sind und diesen zusammen nach  
20 innen abstützen. Eine solche Abstützung durch seitliche Verankerungselemente kann prinzipiell auch zusätzlich zu dem zentral angeordneten Verankerungselement vorgesehen sein.

Die formschlüssige Verbindung des wenigstens einen Verankerungselements mit dem zentralen Tragelement kann bevorzugt  
25 durch Einführen einer wurzelartigen Struktur des Verankerungselements in eine dazu passende Ausnehmung im zentralen Tragelement gebildet sein. Alternativ ist jedoch grundsätzlich auch eine hierzu inverse Ausführung möglich und unter  
30 Umständen vorteilhaft, bei der also eine wurzelartige Struktur des zentralen Tragelements in eine dazu passende Ausnehmung im jeweiligen Verankerungselement eingreift.

Allgemein kann die formschlüssige Verbindung zwischen Verankerungselement und zentralem Tragelement auf unterschiedliche  
35 Weisen erreicht werden. Besonders vorteilhaft ist hier eine Verbindung nach der Art eines Nut-Feder-Systems. Wie oben beschrieben, kann dabei prinzipiell die Nut entweder auf Seite

des zentralen Tragelements oder auf Seite des Verankerungselements angeordnet sein. Die Nut und die dazu passende Feder können beispielsweise als einfache Nut und einfache Feder ausgeführt sein. Alternativ sind jedoch auch komplexere Formen möglich, beispielsweise Etagen ringförmige Ausführungen von Nut und Feder, deren Querschnitt tannenbaumartig ausgebildet ist.

Allgemein kann eine solche formschlüssige Verbindung durch ein Nut-Feder-System so ausgestaltet sein, dass die beiden zu verbindenden Teile durch ein Einschieben entlang der axialen Richtung des Rotors miteinander verbunden werden können. Um eine vorgegebene Ausrichtung dieser Teile relativ zueinander zu erreichen, kann optional ein axialer Anschlag vorgesehen sein.

Alternativ oder zusätzlich zu den beschriebenen Nut-Feder-Systemen kann aber auch eine formschlüssige Verbindung durch Einführen eines Gewindes oder eines Bolzens in eine hierzu passende Ausnehmung des jeweils zugeordneten anderen Elements geschaffen werden.

Der Rotor kann allgemein vorteilhaft wenigstens eine Bandage aufweisen, mittels derer der wenigstens eine Wicklungsträger im Rotor fixiert ist und somit insbesondere zusätzlich abgestützt ist. Insbesondere kann der Wicklungsträger oder die Mehrzahl von Wicklungsträgern so auf der inneren Tragestruktur des Rotors fixiert sein, die durch das zentrale Tragelement und die daran angebrachten Verankerungselemente gebildet wird. Eine solche Bandagierung ist besonders vorteilhaft, um eine Mehrzahl von segmentartigen Wicklungsträgern, die über den Umfang des Rotors verteilt sind, entweder gegeneinander zu fixieren oder auf der inneren Tragestruktur zusätzlich zu fixieren oder beides. Insbesondere kann eine solche Bandage die Befestigung des Verankerungselements am zentralen Tragelement und/oder am Wicklungsträger entlasten. So kann insbesondere eine Lastaufteilung zwischen Nut-Feder-System und Bandagierung bewirkt werden. Eine solche Bandage kann zweck-

mäßig radial außerhalb des wenigstens einen Wicklungsträgers angeordnet sein. Auf diese Weise kann es diesen Wicklungsträger oder auch die Mehrzahl von Wicklungsträgern ähnlich wie ein Gürtel oder ein Korsett fixieren. Die Bandage kann beispielsweise aus einem bandförmigen Element gebildet sein. Dieses kann in Form einer Spiralwicklung um den Umfang des Rotors gewickelt sein oder auch in Form eines ringförmig den Rotor umgebenden Bandes oder mehrerer solcher Bänder. Ein solches bandförmiges Element kann beispielsweise als Material einen Faserverbundwerkstoff, insbesondere einen glasfaserverstärkten Kunststoff und/oder einen kohlefaserverstärkten Kunststoff umfassen. Allgemein ist es jedenfalls vorteilhaft, wenn das Material der Bandage eine hohe Steifigkeit und eine hohe Zugfestigkeit in tangentialer Richtung des Rotors aufweist. Vorteilhaft kann es sich hierzu um ein Material mit anisotroper Festigkeit handeln, wobei aber je nach Ausgestaltung auch Materialien mit isotroper Festigkeit in Frage kommen können. Alternativ zu der Ausführung als bandförmige Wicklung kann eine derartige Bandage auch durch einen Zylinder gegeben sein, der auf die innenliegenden Elemente des Rotors aufgeschrumpft wird, beispielsweise ein metallischer Zylinder, insbesondere ein Zylinder aus einer Titanlegierung. Beispielsweise kann ein solches Aufschrumpfen durch die thermische Schrumpfung beim Abkühlen auf eine kryogene Betriebstemperatur erfolgen.

Allgemein und unabhängig von der genauen Ausführung der Bandage kann es vorteilhaft sein, wenn diese mit einer Vorspannung um die innenliegenden Elemente des Rotors - also insbesondere um den oder die Wicklungsträger, die Verankerungselemente und das zentrale Tragelement - angeordnet wird. Besonders vorteilhaft ist diese Vorspannung so gewählt, dass sie auch bei einer Abkühlung des Rotors auf seine Betriebstemperatur zumindest zum Teil erhalten bleibt. Der Vorteil einer solchen unter Vorspannung gehaltenen Bandage ist, dass durch sie die im Betrieb auftretenden mechanischen Spannungen im Rotor in eine tangentialer Zugspannung in der Bandage umgewan-

delt werden, die durch die vorteilhaften Materialien der Bänder besonders leicht abgefangen werden können.

Das fluide Kühlmittel des Rotors kann besonders vorteilhaft  
5 Wasserstoff sein. Wasserstoff ist deshalb besonders geeignet,  
weil es einerseits einen ausreichend niedrigen Siedepunkt  
aufweist, um im flüssigen Zustand als kryogenes Kühlmittel zu  
wirken. Andererseits weist es eine geringe Dichte auf, was  
sich günstig auf das Gesamtgewicht des Rotors inklusive Kühl-  
10 mittel auswirkt. Ein solches Kühlmittel mit geringer Dichte  
ist auch besonders geeignet, um Rotoren für schnelldrehende  
Maschinen mit großen Durchmessern zur Verfügung stellen zu  
können. Durch die geringe Dichte ist auch die durch den  
hydrostatischen Druck entstehende Siedepunktverschiebung  
15 klein.

Alternativ zur genannten Ausführungsform mit Wasserstoff kön-  
nen als Kühlmittel aber auch andere Flüssigkeiten oder auch  
Gase zum Einsatz kommen. Weitere vorteilhafte kryogene Kühl-  
20 mittel sind flüssiges Helium, flüssiges Neon, flüssiger  
Stickstoff, flüssiger Sauerstoff und/oder flüssiges Methan.  
Dabei kann bei Verwendung all dieser kryogenen Kühlmittel  
prinzipiell die flüssige Form neben der Gasform vorliegen,  
und es kann durch ein Verdampfen der Flüssigkeit im Bereich  
25 der zu kühlenden Komponenten eine zusätzliche Kühlwirkung er-  
reicht werden. So ist es möglich, dass das kryogene Kühlmit-  
tel im Inneren des Rotors insbesondere nach dem Thermosiphon-  
Prinzip und/oder nach Art eines Wärmerohrs zirkuliert.

30 Prinzipiell ist es aber auch möglich, dass als Kühlmittel  
Wasser oder Öl oder eine andere nicht-kryogene Kühlflüssig-  
keit zum Einsatz kommt. Diese Kühlmittel sind insbesondere  
zur Kühlung von Rotoren mit normalleitenden Spulenordnungen  
geeignet. Dabei kann es vorteilhaft sein, das Kühlmittel mit-  
35 tels einer Pumpe im Hohlraum zu zirkulieren, um eine effekti-  
ve Kühlwirkung im Bereich der Spulenordnung zu erreichen.  
Grundsätzlich ist es möglich, dass das betreffende Kühlmittel  
entweder als Teil des Rotors ausgestaltet ist oder aber, dass

der Rotor alternativ nur zum Betrieb mit einem solchen Kühlmittel ausgelegt ist und das Kühlmittel selbst nicht umfasst.

5 Unabhängig von der genauen Wahl des Kühlmittels kann es allgemein vorteilhaft sein, das Kühlmittel durch ein zusätzliches Kühlsystem zurückzukühlen. Beispielsweise kann hierzu eine Kältemaschine außerhalb des Rotors angeordnet sein, oder aber es kann ein Wärmetauscher entweder am Rotor selbst oder außerhalb des Rotors angeordnet sein, um die Wärme aus dem  
10 Kühlmittel effizient an die äußere Umgebung zu übertragen.

Der Rotor kann einen elektrisch leitenden Dämpferschirm umfassen, welcher die wenigstens eine Spulenanordnung radial umgibt. Ein solcher Dämpferschirm ist vorteilhaft, um die  
15 Einkopplung elektromagnetischer Wechselfelder in die Spulenanordnung(en) des Rotors zu reduzieren und so entsprechende Wechselstromverluste im Rotor zu reduzieren. Ein solcher Dämpferschirm kann insbesondere als elektrisch leitender zylindrischer Mantel um die Spulenanordnung(en) des Rotors an-  
20 geordnet sein.

Alternativ oder zusätzlich kann der Rotor eine äußere Kryostatwand aufweisen, welche die wenigstens eine Spulenanordnung radial umgibt. Eine solche Kryostatwand ist vorteilhaft, um die innerhalb davon liegenden Elemente des Rotors  
25 gegen die wärmere äußere Umgebung zu kapseln. In Kombination mit einer Superisolation und/oder einem Isoliervakuum kommt dabei auch eine thermische Trennung des Innenraums von der äußeren Umgebung zustande. Dies ist insbesondere im Zusammen-  
30 hang mit supraleitenden Spulenanordnungen und einer kryogenen Betriebstemperatur dieser Spulenanordnungen von Vorteil. Bei einer solchen Kryostatwand kann es sich entweder um eine einzelne äußere Kryostatwand handeln oder es kann alternativ eine Kombination einer inneren und einer äußeren Kryostatwand  
35 vorliegen, wobei zwischen diesen beiden Kryostatwänden vorteilhaft ein Isoliervakuum vorgesehen ist.

Die genannten radial außenliegenden Elemente - also Dämpferschirm, innere Kryostatwand und/oder äußere Kryostatwand - können bei einer Mehrzahl von Spulenanordnungen insbesondere alle diese Spulenanordnungen radial umgeben. Alle diese radial außenliegenden Elemente können, soweit sie in der betreffenden Ausführungsform vorhanden sind, vorteilhaft zylindrisch, insbesondere kreiszylindrisch ausgebildet sein.

Der Dämpferschirm kann insbesondere durch den Wicklungsträger selbst oder durch die Mehrzahl von Wicklungsträgern gegeben sein. Dies ist insbesondere beim Vorliegen eines nicht-segmentierten, einstückigen Wicklungsträgers vorteilhaft. Aber auch einzelne Wicklungsträger-Segmente können so elektrisch leitend miteinander verbunden sein, dass sie zusammen als Dämpferschirm wirken können.

Alternativ oder zusätzlich kann der Dämpferschirm auch durch eine der Kryostatwände oder durch beide Kryostatwände gegeben sein. So ist es auch möglich, dass mehrere der genannten Elemente zusammen die Funktion des Dämpferschirms erfüllen. Vorteilhafte Materialien für den Dämpferschirm sind metallische Materialien (beispielsweise Aluminium-Legierungen) oder kohlenstoffnanoröhren enthaltende Materialien.

Auch die wenigstens eine Kryostatwand kann insbesondere durch den Wicklungsträger selbst oder durch die Mehrzahl von Wicklungsträgern gegeben sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Kryostatwand mit dem Dämpferschirm identisch sein, ohne dass dieses Element durch den oder die Wicklungsträger gegeben ist. Allgemein und unabhängig davon, welche Elemente bei der jeweiligen Ausführungsform miteinander kombiniert sind, kann die wenigstens eine Kryostatwand besonders vorteilhaft aus einem metallischen Material gebildet sein. Besonders vorteilhaft sind hierbei Aluminium- und Eisenhaltige Legierungen, aber prinzipiell kommt auch jedes andere vakuumdichte Material in Frage.

Bei Ausführungsformen, welche eine ineinander geschachtelte Anordnung von innerer und äußerer Kryostatwand aufweisen, ist es vorteilhaft, wenn zumindest die innere Kryostatwand sowohl dicht als auch widerstandsfähig gegenüber dem verwendeten  
5 Kühlmittel ist. Insbesondere kann die innere Kryostatwand aus einem Material gebildet sein, welches robust gegenüber der Einwirkung von Wasserstoff ist. Bei einer solchen Ausführungsform können innere und äußere Kryostatwand vorteilhaft aus unterschiedlichen Materialien gebildet sein, da die An-  
10 forderungen hier verschieden sind. So kann die innere Kryostatwand dann vorteilhaft eine wasserstofffeste Titan-Legierung, Aluminium-Legierung oder Eisenlegierung umfassen, insbesondere eine sogenannte superaustenitische Legierung.

15 Der wenigstens eine Wicklungsträger kann vorteilhaft eisenlos ausgestaltet sein. Insbesondere können alle im Rotor vorliegenden Wicklungsträger eisenlos ausgestaltet sein. Sie können sogar gänzlich frei von magnetisch flussführenden Materialien ausgestaltet sein. Auch das zentrale Tragelement und/oder das  
20 wenigstens eine Verankerungselement kann frei von derartigen magnetisch flussführenden Materialien sein. Eine solche Ausführung ohne weichmagnetische Materialien im Inneren des Rotors ist insbesondere im Zusammenhang mit supraleitenden Spulen-  
25 anordnungen vorteilhaft, da hier eine magnetische Flussführung durch die übrigen Rotorelemente aufgrund der hohen magnetischen Flussdichten und der daraus resultierenden Sättigung nicht notwendig beziehungsweise nicht effektiv ist. Ein weiterer Vorteil der eisenlosen Ausführung ist, dass  
30 leichtere Materialien zum Einsatz kommen können und somit eine geringere Dichte des Rotors erzielt werden kann.

Der Rotor weist bevorzugt bezogen auf sein Gesamtvolumen eine durchschnittliche Materialdichte von höchstens  $8 \text{ g/cm}^3$  auf. Besonders bevorzugt liegt die durchschnittliche Materialdichte bei höchstens  $5 \text{ g/cm}^3$  oder sogar höchstens  $3 \text{ g/cm}^3$ . Unter  
35 dem Gesamtvolumen soll dabei das gesamte vom Rotor eingeschlossene Volumen verstanden werden, also beispielsweise das gesamte Zylindervolumen, inklusive innenliegender Hohlräume.

Durch die beschriebene offene Konstruktion des Rotors, bei der die Spulenanordnung(en) durch einen oder mehrere als Exoskelett ausgeführte Wicklungsträger gehalten werden, kann besonders vorteilhaft an hoher Anteil an innenliegenden Hohlräumen geschaffen werden. Selbst wenn diese Hohlräume teilweise oder sogar ganz mit fluidem Kühlmittel gefüllt sind, wird trotzdem ein wesentlich geringerer Beitrag zur durchschnittlichen Dichte geschaffen als mit herkömmlichen Materialien für den Wicklungsträger wie Stahl. Werden zusätzlich für den wenigstens eine außenliegenden Wicklungsträger, das zentrale Tragelement und das wenigstens eine Verankerungselement relativ leichte Materialien wie Aluminium- oder Titanlegierungen oder Kohlefaserverbundwerkstoffe verwendet, so kann insgesamt eine sehr niedrige durchschnittliche Dichte in den beschriebenen Bereichen erreicht werden. Die Dichte der für Wicklungsträger, Verankerungselement(e) und/oder zentrales Tragelement verwendeten Materialien kann dabei allgemein vorteilhaft unterhalb von  $5 \text{ g/cm}^3$  liegen. Wenn die auf das Gesamtvolumen bezogene durchschnittliche Dichte in den oben beschriebenen Bereichen liegt, so kann mit dem Rotor vorteilhaft eine Maschine mit einer besonders hohen Leistungsdichte zur Verfügung gestellt werden, was sich besonders bei der Anwendung in Fahrzeugen, insbesondere in Luftfahrzeugen, sehr günstig auswirken kann.

25

Das Material des wenigstens einen Wicklungsträgers weist bevorzugt einen thermischen Expansionskoeffizienten auf, der größer ist als der effektive thermische Expansionskoeffizient des elektrischen Leiters. Eine solche Ausführungsform ist insbesondere im Zusammenhang mit supraleitenden Spulenanordnungen vorteilhaft, da dann der oder die Wicklungsträger bei Abkühlung von Raumtemperatur auf eine kryogene Betriebstemperatur stärker schrumpfen als die darin eingebettete Spulenanordnung. So schrumpft also beim Kühlen der Wicklungsträger auf die Spulenanordnung auf und komprimiert diese. Es steht dadurch ein Vorspannungszustand, bei dem vorwiegend Druckspannungen auf den supraleitenden Leiter wirken. Diese Leiter sind allgemein gegenüber Druckspannungen weniger empfindlich

als gegenüber Zugspannungen, da Zugspannungen leichter zu einer Delamination des supraleitenden Materials von einem darunterliegenden Träger führen können. Dies gilt insbesondere für die supraleitende Schicht in einem supraleitenden Bandleiter.  
5

Der Rotor kann allgemein vorteilhaft zur Ausbildung eines p-poligen Magnetfeldes ausgelegt sein, wobei die Polzahl p besonders vorteilhaft zwischen 2 und 12, besonders vorteilhaft zwischen 6 und 12, insbesondere bei genau 8 liegen kann. Dazu kann die Polzahl p vorteilhaft identisch mit der Zahl n an im Rotor vorliegenden und in Umfangsrichtung verteilten Spulenanordnungen sein.  
10

Der Rotor kann eine Rotorwelle zur um eine Rotationsachse drehbaren Lagerung des Rotors aufweisen. Diese Welle kann insbesondere eine segmentierte Welle sein, die beispielsweise wenigstens ein massiv ausgeführtes Segment und wenigstens ein hohl ausgeführtes Segment aufweisen kann. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ist es vorteilhaft, wenn die Rotorwelle zumindest in einem axial innenliegenden Bereich des Rotors hohl ausgeführt ist, um fluides Kühlmittel in den Innenraum des Rotors zu leiten und/oder von dort weg zu leiten.  
15  
20

Die wenigstens eine Spulenanordnung ist bevorzugt als vorgefertigte Formspule in den Wicklungsträger eingelegt. Unter einer derartigen vorgefertigten Formspule soll insbesondere eine selbsttragende formstabile Spule verstanden werden, wie sie beispielsweise durch Nasswickeln mit einem Imprägniermittel und anschließendes Aushärten des Imprägniermittels erzielt werden kann. Alternativ kann die Spule auch trocken gewickelt und erst nachträglich mit einem Imprägniermittel imprägniert und/oder mit einem Vergussmittel vergossen werden. Nach der Härtung dieses Imprägniermittels und/oder Vergussmittel wird ebenfalls eine selbsttragende schriftformstabile Spulenanordnung erhalten.  
25  
30  
35

Das wenigstens eine Verankerungselement kann vorteilhaft dazu genutzt werden, um andere Elemente in radialer Richtung zwischen zentralem Tragelement und Wicklungsträger zu führen. So kann insbesondere ein Kabel und/oder eine Leitung (oder vorteilhaft mehrere Kabel und/oder Leitungen) an dem wenigstens

5 einen Verankerungselement in radialer Richtung zum Bereich der Spulenwicklung(en) geführt werden, um eine elektrische Verbindung der Spule mit einem äußeren Stromkreis zu ermöglichen.

10

Die elektrische Maschine mit dem erfindungsgemäßen Rotor kann vorteilhaft für eine Leistungsdichte von wenigstens 5 kW/kg ausgelegt sein, besonders vorteilhaft kann sie sogar für eine Leistungsdichte von wenigstens 10 kW/kg ausgelegt sein. Bei

15 einer Maschine mit einer derart hohen Leistungsdichte kommen die beschriebenen Vorteile des Rotors besonders zum Tragen. Maschinen mit derart hohen Leistungsdichten sind andererseits eine Grundvoraussetzung für vollelektrisch angetriebene Luftfahrzeuge. Sie sind jedoch auch im Bereich anderer - insbesondere anderer mobiler - Anwendungen vorteilhaft. Unter der

20 genannten Leistungsdichte soll die Nennleistung der Maschine bezogen auf ihr Gesamtgewicht verstanden werden, also bezogen auf das Gewicht des Stators, Rotors, Gehäuses, Kühlsystems plus eventuell zusätzlich vorliegender Komponenten.

25

Die Maschine ist bevorzugt für eine Nennleistung von wenigstens 5 MW, insbesondere wenigstens 10 MW, ausgelegt. Mit einer derart hohen Leistung ist sie grundsätzlich für den Antrieb eines Fahrzeugs, insbesondere eines Luftfahrzeugs geeignet. Alternativ kann mit einer derart leistungsstarken Maschine aber auch beim Betrieb als Generator der für den Antrieb benötigte elektrische Strom an Bord des Fahrzeugs erzeugt werden. Grundsätzlich kann die Maschine entweder als Motor oder als Generator ausgestaltet sein oder optional für

30 beide Betriebsarten ausgelegt sein. Um die beschriebenen hohen Leistungen und/oder Leistungsdichten zu erzielen, sind supraleitende Spulenordnungen besonders geeignet, da sie besonders hohe Stromdichten erlauben.

35

Die Maschine kann bevorzugt für eine Drehzahl des Rotors von wenigstens 1000 Umdrehungen pro Minute, insbesondere sogar für wenigstens 3000 Umdrehungen pro Minute oder gar wenigstens 6000 Umdrehungen pro Minute, ausgelegt sein. Durch die beschriebene Ausführung des Rotors mit vergleichsweise geringerer Dichte können derart hohe Drehzahlen besonders gut realisiert werden. Mit herkömmlichen Rotoren können sie bei einer für die genannten Leistungsbereiche benötigten Größe zum Teil gar nicht erreicht werden. Die für die beschriebenen Anwendungen vorteilhaften Leistungsdichten können andererseits mit langsamer drehenden Maschinen unter Umständen gar nicht erreicht werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen beschrieben, in denen:

Figur 1 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Rotors nach einem ersten Beispiel der Erfindung zeigt, Figur 2 eine schematische Teilansicht des Querschnitts aus Figur 1 zeigt,

Figur 3 eine perspektivische Darstellung eines Wicklungsträgers aus einem Rotor ähnlich wie in Figur 1 zeigt,

Figur 4 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Rotors nach einem weiteren Beispiel der Erfindung zeigt und

Figur 5 einen schematischen Längsschnitt einer Maschine nach einem weiteren Beispiel der Erfindung zeigt.

30

Figur 1 zeigt einen Rotor nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung im schematischen Querschnitt senkrecht zur Rotationsachse A. Der Rotor weist in diesem Beispiel acht Spulenanordnungen 3i auf, die zu einer übergeordneten Rotorwicklung verbunden sind. Diese Rotorwicklung ist zur Erzeugung eines achtpoligen Magnetfeldes ausgelegt. Die einzelnen Spulenanordnungen 3i werden in diesem Beispiel jeweils separat von einem ihnen zugeordneten Wicklungsträger 5i mecha-

nisch gehalten. Diese acht Wicklungsträger 5i stützen die ihnen jeweils zugeordnete Spulenanordnung 3i von einer radial außenliegenden Seite. Sie grenzen dazu an die radial außenliegenden Seiten dieser Spulenanordnungen 3i an. Außerdem  
5 grenzen sie auch mit ihrer seitlichen Fläche, also in azimuthaler Richtung an die Spulenanordnungen 3i an, so dass diese Spulenanordnungen auf mehreren Seiten von dem jeweiligen Wicklungsträger umgeben und gehalten werden. Nur ihrer jeweils radial innenliegenden Seite grenzen die einzelnen Spulenanordnungen 3i nicht an die Wicklungsträger 5i, sondern an  
10 einen innenliegenden Hohlraum 7. Diese Hohlräume können von einem fluiden Kühlmittel, im vorliegenden Beispiel flüssigem Wasserstoff, durchströmt werden, um die an die Hohlräume angrenzenden Spulenanordnung 3i zu kühlen. Die im Querschnitt  
15 zwischen den einzelnen Verankerungselementen 4 eingezeichneten Hohlräume 7 können insbesondere durch hier nicht gezeigte Öffnungen vorteilhaft zu einem gemeinsamen übergeordneten Hohlraum verbunden sein, welcher ebenfalls fluidisch mit den Innenraum 8 des zentralen Tragelements 6 verbunden sein kann.  
20 Dieses zentrale Tragelement 6 ist in diesem Beispiel als hohles Tragrohr ausgebildet, durch dessen Inneres das Kühlmittel beispielsweise von einem axialen Ende des Rotors aus eingespeist werden kann. Alternativ ist es jedoch grundsätzlich auch möglich, dass das zentrale Tragelement massiv ausgestaltet ist und keinen solchen inneren Hohlraum aufweist.  
25

Die acht Wicklungsträger 5i stützen die acht Spulenanordnungen 3i von außen, nach der Art eines Exoskeletts. Im gezeigten Beispiel der Figur 1 sind die acht Wicklungsträger als  
30 separate Elemente realisiert. Sie sind jeweils einzeln durch ein oder mehrere Verankerungselemente 4 gegen das zentrale Tragelement 6 abgestützt. Im gezeigten Beispiel sind die Verankerungselemente 4 einstückig mit den Wicklungsträgern 5i ausgebildet. Mit anderen Worten gehen die Wicklungsträger 5i  
35 auf ihrer radial innen liegenden Seite in die Verankerungselemente 4 über. Dabei können in der hier nicht dargestellten axialen Richtung jeweils mehrere solche Verankerungselemente hintereinander an einem solchen Wicklungsträger 5i angeordnet

sein. Die einzelnen Verankerungselemente 4 weisen jeweils an ihrem innen liegenden Ende eine Verdickung auf, die als Feder 10 ausgebildet ist und in eine entsprechend geformte Nut des zentralen Tragelements 6 eingreift. Hierdurch kommt eine formschlüssige Verbindung zwischen den Verankerungselementen 4 und dem zentralen Tragelement 6 zustande, durch die die Wicklungsträger 5i gegen dieses Tragelement 6 abgestützt werden. Durch diese Abstützung können die in die Wicklungsträger 5i eingebetteten Wicklungen 3i gegen die beim Betrieb des Rotors wirkenden Fliehkräfte abgestützt werden. Außerdem können durch diese mechanisch tragenden Verbindungen auch die beim Betrieb der Maschine wirkenden Drehmomente zwischen den Spulenanordnungen und dem zentralen Tragelement 6 übertragen werden. Das gezeigte Nut-Feder-System ist beispielhaft für eine formschlüssige Kraft übertragene Verbindung zwischen diesen Elementen zu verstehen. Die gezeigten acht Nuten des zentralen Tragelements 6 erstrecken sich dabei jeweils axialer Richtung des Rotors. Sie sind zweckmäßig jeweils zumindest an einem axialen Ende des Rotors offen, so dass die federartigen Verdickungen der Verankerungselemente 4 von dieser Seite aus axialer Richtung eingeschoben werden können. Da in diesem Beispiel die Wicklungsträger 5i einstückig mit den Verankerungselementen 4 ausgebildet sind, sind hier die federartigen Verdickungen 10 so geformt, dass die einzelnen Spulenanordnungen 3i über die Verankerungselemente 4 hinweggeschoben und so an ihnen vorbei in die entsprechenden Ausnehmungen der Wicklungsträger 5i eingelegt werden können.

Die Struktur des Rotorquerschnitts der Figur 1 ist für einen Quadranten noch detaillierter in Figur 2 gezeigt. Durch die Bereiche, die in Umfangsrichtung zwischen den einzelnen Verankerungselementen 4 liegen, sind jeweils innenliegende Hohlräume 7 gegeben, in denen Kühlmittel die jeweils zugeordneten Spulenanordnungen 3i anströmen kann. Diese einzelnen inneren Hohlräume 7 sind fluidisch miteinander zu einem übergeordneten Kühlmittelraum verbunden. Sie sind ebenfalls mit dem Rohrrinnenraum 8 des zentralen Tragelements 6 verbunden. Hierzu weisen die Verankerungselemente 4 jeweils Öffnungen 12a

auf, und das zentrale Tragelement 6 weist eine Mehrzahl von Öffnungen 12b auf. Diese Öffnungen 12a und 12b sind in Figur 2 durch gestrichelte Linien angedeutet. Sie erstrecken sich nicht über die ganze axiale Länge des Rotors 1, sondern können in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen über seine Länge verteilt sein. Wesentlich ist nur, dass ein Austausch von Kühlfluid zwischen den einzelnen Teilräumen 7 und 8 stattfinden kann, und dass gleichzeitig die Verankerungselemente 4 eine ausreichende Abstützung der radial außenliegenden Elemente 5i und 3i gewährleisten. Anstelle der durch gestrichelte Linien angedeuteten Öffnungen 12a in den Verankerungselementen 4 können alternativ auch entsprechende Lücken zwischen mehreren axial benachbarten Verankerungselementen 4 an einem Wicklungsträger 5i angeordnet sein. Mit anderen Worten ist dann auch im Bereich der Feder 10 eine solche Lücke ausgebildet. Wesentlich ist nur, dass die in Umfangsrichtung benachbarten Kühlmittelräume 7 fluidisch miteinander verbunden sind.

Im in den Figuren 1 und 2 gezeigten axialen Abschnitt des Rotors 1 weist dieser also eine Hohlwelle auf, die durch das zentrale Tragelement 6 gegeben ist. Durch den Rohrrinnenraum 8 kann kaltes, insbesondere flüssiges Kühlmittel in die radial weiter außenliegenden Hohlräume 7 gelangen und dort die Spulenordnungen 3i kühlen. Bei der Verwendung von flüssigem Wasserstoff und anderen flüssigen kryogenen Kühlmittel kann es dabei zu einer teilweisen Verdampfung dieser Kühlflüssigkeit kommen. Dann liegt in den Hohlräumen des Rotors 1 sowohl flüssiges als auch gasförmiges Kühlfluid nebeneinander vor. Wenn das Flüssigkeitsvolumen so gering ist, dass es nur einen Teil des Hohlraumvolumens ausfüllt, dann werden bei einem Stillstand des Rotors 1 nicht alle Komponenten gleichmäßig gekühlt. Ein solcher Stillstand ist in Figur 1 durch den horizontalen Flüssigkeitspegel der Kühlflüssigkeit 9 angedeutet. Kommt es aber zu einer Drehung des Rotors 1, so wird das flüssige Kühlmittel 9 durch die Zentrifugalkräfte im Wesentlichen gleichmäßig über die einzelnen Hohlräume und die einzelnen Spulenordnungen 3i verteilt. Hierzu kommt es zu

einer gleichmäßigen Kühlwirkung der einzelnen Komponenten beim Betrieb der elektrischen Maschine, die mit einem solchen Rotor ausgestattet ist. Auch wenn diese Maschine nicht im Betrieb ist, kann jedoch grundsätzlich eine Kühlwirkung erreicht werden. Wenn das Flüssigkeitsvolumen und/oder die Kühlwirkung des gasförmigen Kühlmittels zu einer Kühlung auf eine vorgegebene Temperatur nicht ausreicht, so kann der Rotor beispielsweise in einer Abkühlphase langsam rotiert werden. Diese Rotation muss nicht so hoch sein, dass sich das Kühlmittel gleichmäßig über den Umfang des Rotors 1 verteilt. Es kann beispielsweise zum Herunterkühlen auf eine vorgegebene Betriebstemperatur ausreichend sein, wenn der Rotor 1 so langsam gedreht wird, dass die einzelnen Spulenanordnungen 5i abwechselnd in Berührung mit dem Kühlmittel 9 kommen und so insgesamt im Laufe der Zeit gekühlt werden.

Die einzelnen Wicklungsträger 5i werden im gezeigten Beispiel der Figuren 1 und 2 zusätzlich zur inneren Abstützung durch die Verankerungselemente 4 dadurch zusammengehalten, dass sie mittels einer radial weiter außen liegenden Bandage 13 unter Vorspannung gegen die Verankerungselemente 4 gepresst werden. Mit anderen Worten sind hier die einzelnen Elemente des Exoskeletts 5i zusätzlich auf die innere Tragstruktur geschnallt. Radial außerhalb von dieser Bandage 13 ist eine innere Kryostatwand 15a angeordnet, die wiederum von einer äußeren Kryostatwand 15b umgeben ist. Zumindest die äußere Kryostatwand 15b wirkt im gezeigten Beispiel gleichzeitig als elektromagnetischer Dämpferschirm. Zwischen der zylindermantelförmigen inneren Kryostatwand 15a und der ebenfalls zylindermantelförmigen äußeren Kryostatwand 15b ist ein ringförmiger Vakuumraum ausgebildet. Hierdurch wird der innerhalb der Kryostatwände 15a und 15b liegende Bereich des Rotors 1 thermisch gegen die äußere Umgebung isoliert. Beide Kryostatwände 15a und 15b sind vakuumdicht ausgeführt. Die innere Kryostatwand 15a ist dabei aus einem gleichzeitig gegenüber dem Kühlmittel Wasserstoff dichten und robusten Material gefertigt.

Der in den Figuren 1 und 2 gezeigte Rotor 1 ist insgesamt sehr leicht ausgeführt, da er ein vergleichsweise großes Volumen an inneren Hohlräumen 7 und 8 aufweist, und da die Verankerungselemente 4, das zentrale Tragelement 6 und die Wicklungsträger 5i aus Materialien mit geringer Dichte gebildet sein können. Auf zusätzliche schwere Kupferelemente zur indirekten Kühlung der Spulenanordnungen 3i kann hier verzichtet werden, da die Spulenanordnungen 3i durch die offene Struktur in direktem Kontakt mit dem Kühlmittel 9 sind.

10

Figur 3 zeigt eine schematische perspektivische Ansicht eines der acht Wicklungsträger 5i eines Rotors, der ähnlich wie in Figur 1 ausgebildet ist. Auf der radial innenliegenden, hier unten dargestellten, Seite weist dieser Wicklungsträger 5i eine Ausnehmung auf, in die eine rennbahnförmige Spulenanordnung 3i eingelegt ist. Ebenfalls auf dieser radial innen liegenden Seite erstrecken sich vom Wicklungsträger 5i in diesem Beispiel fünf Verankerungselemente 4 in Richtung der Rotationsachse hin. Zwei der axialen Lücken zwischen diesen Verankerungselementen 4 sind im gezeigten Beispiel nötig, um zwischen den beiden jeweils äußeren Verankerungselementen 4 die Spulenanordnung 3i einlegen zu können. Die Lücken zwischen den 3 inneren Verankerungselementen 4 sind in diesem Beispiel zweckmäßig, damit flüssiges Kühlmittel zwischen den benachbarten bei der Montage des Rotors entstehenden Hohlräumen 7 zirkulieren kann. In diesem Bereich wäre entsprechend auch eine Verbindung dieser 3 Verankerungselemente im Sinne einer durchgehenden Feder 10 möglich. Unabhängig von der genauen Ausgestaltung der Lücken oder Öffnungen zwischen/in den Verankerungselementen 4 ist es wesentlich für dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung, dass die einzelnen Federn 10 der axial benachbarten Verankerungselemente so auf einer Linie angeordnet sind, dass sie nacheinander in eine gemeinsame, sich in axialer Richtung erstreckende Ausnehmung des zentralen Tragelements 6 eingeschoben werden können.

35

Figur 4 zeigt eine alternative Ausführungsform eines Rotors 1 nach einem zweiten Beispiel der Erfindung, ebenfalls im sche-

matischen Querschnitt senkrecht zur Rotationsachse A. Auch hier liegen acht Spulenanordnungen 3i vor, mit denen insgesamt ein achtpoliges Magnetfeld erzeugt werden kann. Im Unterschied zum vorhergehenden Beispiel liegt hier ein gemeinsamer ring- beziehungsweise mantelförmiger Wicklungsträger 5 vor, der die einzelnen Spulenanordnungen 3i von einer radial außenliegenden Seite aus trägt. Durch die freitragende Struktur dieses Wicklungsträger-Rings sind die den einzelnen Spulenanordnungen 3i zugeordneten Bereiche des Wicklungsträgers bereits insgesamt radial aneinander abgestützt. Um die Abstützung gegen die auftretenden Fliehkräfte noch weiter zu verbessern und um eine Übertragung von Drehmomenten zwischen den Spulenanordnungen 3i und einer zentralen Rotorwelle zu ermöglichen, ist der übergeordnete Wicklungsträger 5 auch hier zusätzlich mit mehreren Verankerungselementen 4 mechanisch fest mit einem innen liegenden Tragelement 6 verbunden. Dieses Tragelement 6 ist auch hier als hohles Tragrohr ausgebildet. Im Unterschied zum vorherigen Ausführungsbeispiel hat dieses Tragrohr jedoch keinen kreisförmigen, sondern einen achteckigen Querschnitt. Die Querschnittsform kann insgesamt beliebig gewählt werden, und es können insbesondere auch die Querschnittsformen der inneren und der äußeren Begrenzungsfläche unterschiedlich gewählt sein.

Auch in diesem Beispiel sind die zu den acht Spulenanordnungen 3i gehörenden Bereiche des Wicklungsträgers 5 durch insgesamt acht Verankerungselemente gegen das zentrale Tragelement 6 abgestützt. Um die Form der zugehörigen Ausnehmungen 11 und 14 zu verdeutlichen, ist jedoch eines dieser Verankerungselemente (rechts oben) nicht mit eingezeichnet. Die dargestellten Verankerungselemente 4a, 4b, 4c weisen zum Teil verschiedene Formen und Ausgestaltungen auf, um verschiedene mögliche Varianten zu illustrieren. In einem realen Rotor sind jedoch zweckmäßig die Tragelemente der einzelnen acht Segmente untereinander gleich ausgestaltet.

Die fünf dargestellten Verankerungselemente vom Typ 4a weisen sowohl am radial außenliegenden Ende als auch am radial innen

liegenden Ende jeweils eine federartige Verdickung auf. Dabei greift die radial innenliegende Feder ähnlich wie bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 in eine entsprechende Nut 11 des inneren Tragelements 6 ein, um mit diesem die beschriebene formschlüssige Verbindung herzustellen. Die radial außenliegende Feder greift dagegen in eine zu ihr passend ausgeformten Nut des übergeordneten Wicklungsträgers 5 ein. Im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel der Figur 1 ist hier also der Wicklungsträger nicht mit den Verankerungselementen aus einem Stück ausgebildet, sondern er wird aus mehreren Elementen nachträglich verbunden. Auch diese Verbindung ist hier durch einen Formschluss erzeugt. Die hier dargestellte mehrstückige Ausführungsform kann prinzipiell auch in einem Wicklungsträger realisiert sein, der ähnlich wie in Figur 1 aus einer Vielzahl von einzelnen Segmenten 5i zusammengesetzt ist. Unabhängig von der genauen Ausgestaltung kann ein Vorteil der nachträglichen Verbindung darin liegen, dass Wicklungsträger und Verankerungselement aus unterschiedlichen Materialien ausgeführt werden können. Ein anderer Vorteil kann daran liegen, dass die Spulenanordnung 3i in den Wicklungsträger 5 oder 5i eingelegt werden kann, bevor dieser mit dem entsprechenden Verankerungselement verbunden wird. In einem solchen Fall muss die Dimensionierung des Verankerungselements nicht darauf angepasst sein, dass die Spulenanordnung an ihr vorbei in den Wicklungsträger eingelegt werden kann.

Bei der mit dem Bezugszeichen 4b markierten Variante des Verankerungselements ist die formschlüssige Verbindung mit dem zentralen Tragrohr 6 nicht durch eine einfach geformte Nut (mit passender Feder) realisiert, sondern Nut und Feder weisen jeweils eine komplexere Formgebung mit mehreren Etagen auf. Der Vorteil einer solchen Ausführungsform ist, dass die Flächenpressung bei radialer Belastung reduziert wird, da eine einwirkende radiale Kraft auf mehrere Auflageflächen in den verschiedenen Etagen verteilt wird. Eine solche „Mehr-Etagen-Nut“ ist für das Verankerungselement 4b nur beispielhaft dargestellt und es sind unterschiedliche Ausführungsvarianten

rianten möglich. Beispielsweise können die Nut und die dazu passende Feder einen tannenbaumartigen Querschnitt aufweisen.

Bei der mit dem Bezugszeichen 4c markierten Variante des Verankerungselements ist die formschlüssige Verbindung mit dem  
5 zentralen Tragrohr 6 nicht durch ein Nut-Feder-System, sondern durch eine Schraubverbindung zwischen einem Gewinde und einer dazu passenden Gewindebohrung realisiert. Hierzu ist der Wicklungsträger 5 an der entsprechenden Stelle im Bereich  
10 zwischen den Schenkeln der zugeordneten Spulenordnung 3i mit einem nach außen hin durchgehenden Loch versehen. Durch dieses Loch kann das bolzenartige Verankerungselement 4c von außen durchgesteckt und mit einem in seinem innenliegende  
15 Endbereich ausgebildeten Gewinde in einer passenden Bohrung des zentralen Tragelements 6 verschraubt werden. Ein solcher Bolzen kann ebenfalls mit dem Wicklungsträger 5 formschlüssig verbunden sein, beispielsweise durch ein in diesem Bereich angebrachtes (hier der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigtes) weiteres Gewinde und/oder eine auf der Innenseite des  
20 Wicklungsträgers angebrachte Mutter oder ein anderes entsprechendes Halteelement.

Die Bandage 13 ist auch bei diesem Beispiel optional, da der ringförmige Wicklungsträger 5 sich und die Spule 3 selber  
25 trägt und daher nicht durch eine Bandagierung von außen verstärkt werden muss. Es kann aber trotzdem vorteilhaft sein, durch eine solche Bandage 13 eine von außen aufgebrachte Vorspannung auf den Wicklungsträger 5 aufzubringen, um seine mechanische Stabilität zu erhöhen und/oder ihn unter zusätzlicher  
30 Spannung gegen die innenliegende Tragstruktur aus Verankerungselementen und innerem Tragrohr 6 abzustützen.

Auch beim Beispiel der Figur 4 kann im innenliegenden Hohlraum 7 ein fluides Kühlmittel 9 strömen, wobei auch hier die  
35 flüssige Form zusammen mit der Gasform in einem Raum 7 vorliegen kann. Beim Betrieb der elektrischen Maschine, die mit einem solchen Rotor 1 ausgestattet ist, dreht sich der Rotor 1 um die Achse A, wie durch den Pfeil in der Mitte angedeutet

ist. Hierbei verteilt sich das flüssige Kühlmittel bei ausreichend hoher Drehzahl über den Umfang des Rotors, wie durch den ringförmigen Flüssigkeitspegel schematisch gezeigt ist.

5 Figur 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine elektrische Maschine 21, welche mit einem Rotor 1 gemäß der vorliegenden Erfindung ausgestattet ist. Gezeigt ist hier ein schematischer Längsschnitt entlang der Rotationsachse A. Die Maschine weist außerdem einen feststehend angeordneten Stator 23 auf,  
10 der den Rotor 1 radial umgibt und der mit dem Maschinengehäuse 27 verbunden ist. Der Rotor 1 ist auf einer Rotorwelle 31 um die Rotationsachse A drehbar gelagert, wobei diese Rotorwelle 31 im zentralen Teil des Rotors 1 sowie im rechts dargestellten Bereich als Hohlwelle 33 ausgeführt ist. Es handelt sich also um eine segmentierte Welle. Im linken Teil der  
15 Figur 4 kann die Welle entweder als massive Welle ausgestaltet sein, oder sie kann auch hier als Hohlwelle mit einem kleineren Hohlraum ausgestaltet sein, beispielsweise um Stromzuführungen innerhalb der Welle anordnen zu können. Die  
20 Rotorwelle 31, 33 ist über Lager 29 in den axialen Endbereichen der Maschine drehbar gegen das feststehende Maschinengehäuse 27 abgestützt. Das Drehmoment wird im links dargestellten Teil des Rotors 1 zwischen der Rotorwelle 31 und dem eigentlichen Rotor 1 übertragen. Hierzu ist zwischen Rotor 1  
25 und Rotorwelle 31 eine Drehmomentübertragungseinrichtung 39 angeordnet, die im gezeigten Beispiel kreiszylinderförmig ausgestaltet ist. Außerdem sind auf dieser Seite des Rotors Stromzuführungen 41 angeordnet, um die Spulenanordnungen 3i des Rotors 1 mit einem äußeren Stromkreis über Schleifringe  
30 43 zu verbinden. Von der rechts dargestellten Seite des Rotors 1 wird über die Hohlwelle 33 fluides Kühlmittel 9 in das Innere des Rotors eingespeist und von hier wieder nach außen geführt. Hierzu weist die Hohlwelle 33 in ihrem Inneren eine Zuleitung 35a und eine Rückleitung 35b. An dem rechts dargestellten Wellenende können diese Leitungen mit einem außerhalb der Welle befindlichen Kühlsystem und hier nicht näher  
35 dargestellten zu einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf verbunden sein. Diese Leitungen 35a und 35b sind als Teil eines

übergeordneten Kühlmittelrohrs 35 innerhalb der Hohlwelle 33 feststehend angeordnet und mit dieser durch eine Drehdurchführung 37 verbunden.

5 Der Rotor 1 der in Figur 5 gezeigten elektrischen Maschine kann beispielsweise ähnlich wie in Figur 1 oder Figur 4 dargestellt ausgestaltet sein. Er kann insbesondere eine Mehrzahl von Spulenanordnungen 3i aufweisen, die zur Ausbildung eines p-poligen Magnetfelds ausgelegt sind. Diese Spulenanordnungen 3i sind wiederum über den Umfang des Rotors 1 verteilt und werden von einem oder mehreren außenliegenden Wicklungsträgern 5 oder 5i mechanisch gehalten. Diese Wicklungsträger sind hier der Übersicht halber nicht näher dargestellt. Zusätzlich zu der dort dargestellten inneren Tragestruktur aus zentralem Tragelement und den Verankerungselementen 4 wird der wenigstens eine Wicklungsträger an den beiden axialen Endbereichen des Rotors durch scheibenförmige Stützelemente 40 gehalten.

20 Die Spulenanordnungen 3i und damit auch die hier nicht gezeigten Wicklungsträger werden radial von einer inneren Kryostatwand 15a und danach von einer äußeren Kryostatwand 15b umgeben. Dazwischen ist zur thermischen Isolation ein Vakuumraum V vorgesehen, der im Vergleich zu den Beispielen der Figuren 1 und 4 deutlich vergrößert dargestellt ist. Diese Größenverhältnisse sind jedoch nicht maßstabsgetreu, und die Figuren sind insoweit nur schematisch zu verstehen. Außerhalb der äußeren Kryostatwand 15b sind die feststehenden Teile des Stators 23 angeordnet. Insbesondere ist auf dem Stator-Wicklungsträger 25 eine Statorwicklung 24 angeordnet, deren axiale Wicklungsabschnitte in ihren axialen Endbereichen mit Wickelköpfen 24a verbunden sind. Die Statorwicklung 24 tritt beim Betrieb der elektrischen Maschine 21 in elektromagnetische Wechselwirkung mit dem elektromagnetischen Feld des Rotors 1. Diese Wechselwirkung findet über einen Luftspalt 26 hinweg statt, der radial zwischen Rotor 1 und Stator 33 liegt. Die Statorwicklung 24 wird im gezeigten Beispiel von einem amagnetisch ausgebildeten Stator-Wicklungsträger 25 ge-

tragen, es handelt sich hier also um eine Luftspaltwicklung ohne Eisenzähne zwischen den Windungen der Wicklung.

## Patentansprüche

1. Rotor (1) für eine elektrische Maschine (21), umfassend
- wenigstens eine elektrische Spulenordnung (3i),
  - 5 - wenigstens einen Wicklungsträger (5,5i), der die wenigstens eine Spulenordnung (3i) mechanisch trägt und diese auf einer radial außenliegenden Seite der Spulenordnung wenigstens teilweise umgibt,
  - wobei der Rotor (1) ein zentrales Tragelement (6) aufweist
  - 10 und
  - wobei der wenigstens eine Wicklungsträger (5i) über ein formschlüssig in das Tragelement (6) eingebettetes Verankerungselement (4) mechanisch mit dem zentralen Tragelement verbunden ist,
  - 15 - wobei der Rotor wenigstens einen innenliegenden Hohlraum (7i) aufweist, in dem ein fluides Kühlmittel (9) zirkulierbar ist, derart, dass die wenigstens eine Spulenordnung (3i) zumindest auf ihrer radial innenliegenden Seite in Kontakt mit dem Kühlmittel (9) treten kann.
  - 20
2. Rotor (1) nach Anspruch 1, bei welchem die elektrische Spulenordnung (3i) ein supraleitendes Leitermaterial aufweist.
- 25 3. Rotor (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der eine Mehrzahl n von Spulenordnungen (3i) aufweist,
- wobei jeder der Spulenordnungen (3i) auf einem ihr zugeordneten einzelnen Wicklungsträger (5i) angeordnet ist
  - und wobei jedem Wicklungsträger (5i) wenigstens ein formschlüssig in das Tragelement (6) eingebettetes Verankerungselement zugeordnet ist.
  - 30
4. Rotor (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der eine Mehrzahl n von Spulenordnungen (3i) aufweist,
- 35 - wobei jede der Spulenordnungen (3i) auf einem ihr zugeordneten Umfangssegment eines übergeordneten, gemeinsamen Wicklungsträgers (5) angeordnet ist.

5. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der wenigstens eine Wicklungsträger bezogen auf die Umfangsrichtung des Rotors in seiner Mitte mit dem zugeordneten Verankerungselement verbunden ist.

5

6. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die formschlüssige Verbindung des wenigstens einen Verankerungselements () mit dem zentralen Tragelement durch Einführen einer wurzelartigen Struktur des Verankerungselements in eine dazu passende Ausnehmung im zentralen Tragelement gebildet ist.

10

7. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der zusätzlich wenigstens eine Bandage (13) aufweist, mittels derer der wenigstens eine Wicklungsträger (5,5i) im Rotor fixiert ist.

15

8. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welcher einen elektrisch leitenden Dämpferschirm (15b) und/oder eine Kryostatwand (15a,15b) aufweist, die die wenigstens eine Spulenanordnung (3i) radial umgeben.

20

9. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der wenigstens eine Wicklungsträger (5,5i) eisenlos ausgestaltet ist.

25

10. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welcher bezogen auf sein Gesamtvolumen eine durchschnittliche Materialdichte von höchstens  $8 \text{ g/cm}^3$  aufweist.

30

11. Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die wenigstens eine Spulenanordnung als vorgefertigte Formspule in den Wicklungsträger eingelegt ist.

35

12. Elektrische Maschine (21) mit einem Rotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche und einem feststehend angeordneten Stator (23).

13. Elektrische Maschine (21) nach Anspruch 12, welche für eine Leistungsdichte von wenigstens 5 kW/kg ausgelegt ist und/oder welche für eine Nennleistung von wenigstens 5 MW ausgelegt ist.

5

14. Elektrische Maschine (21) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, welche für eine Drehzahl des Rotors (1) von wenigstens 1000 Umdrehungen pro Minute ausgelegt ist.

10

FIG 1

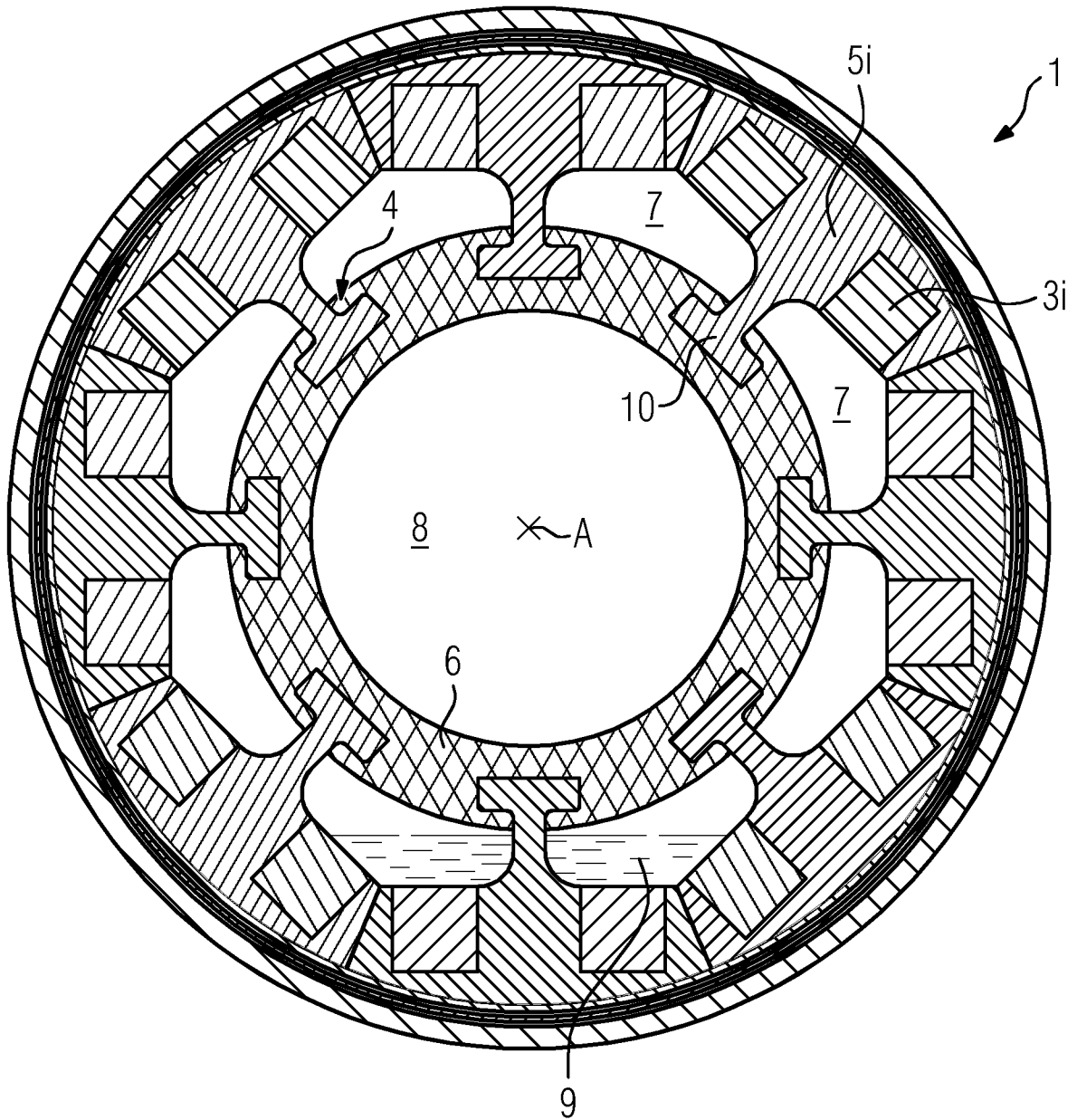


FIG 2

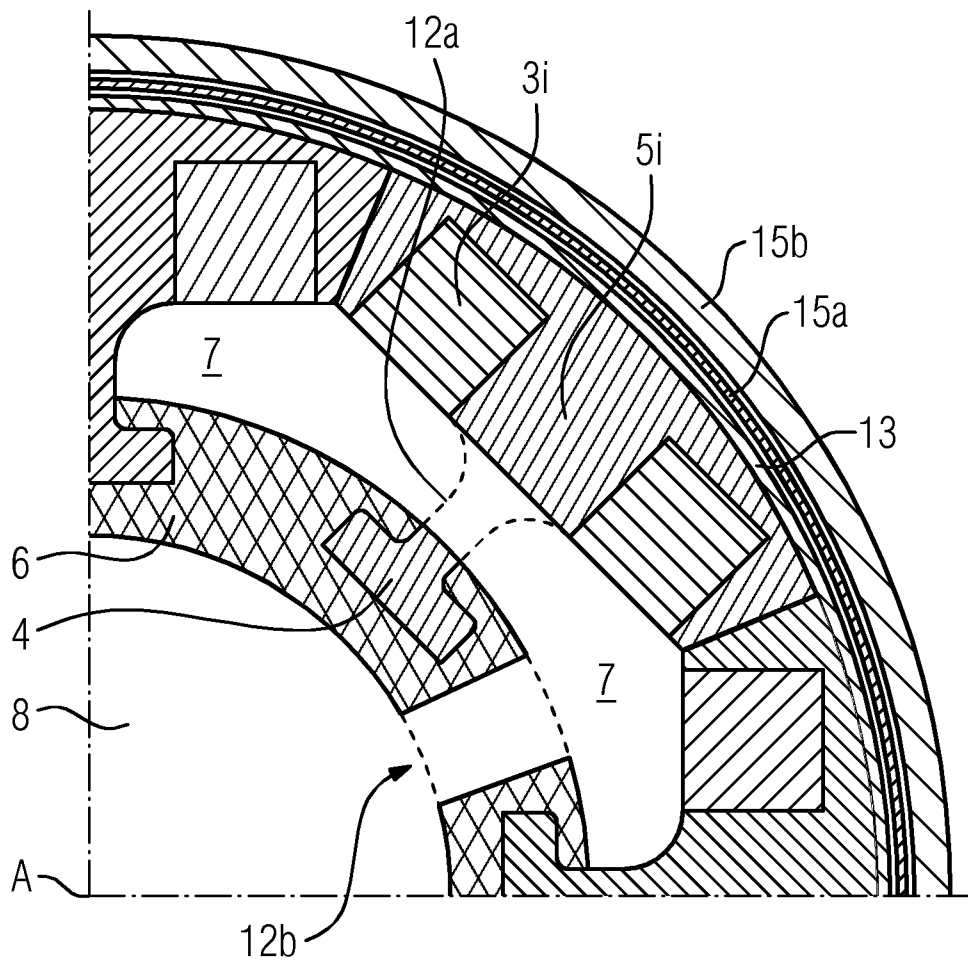


FIG 3

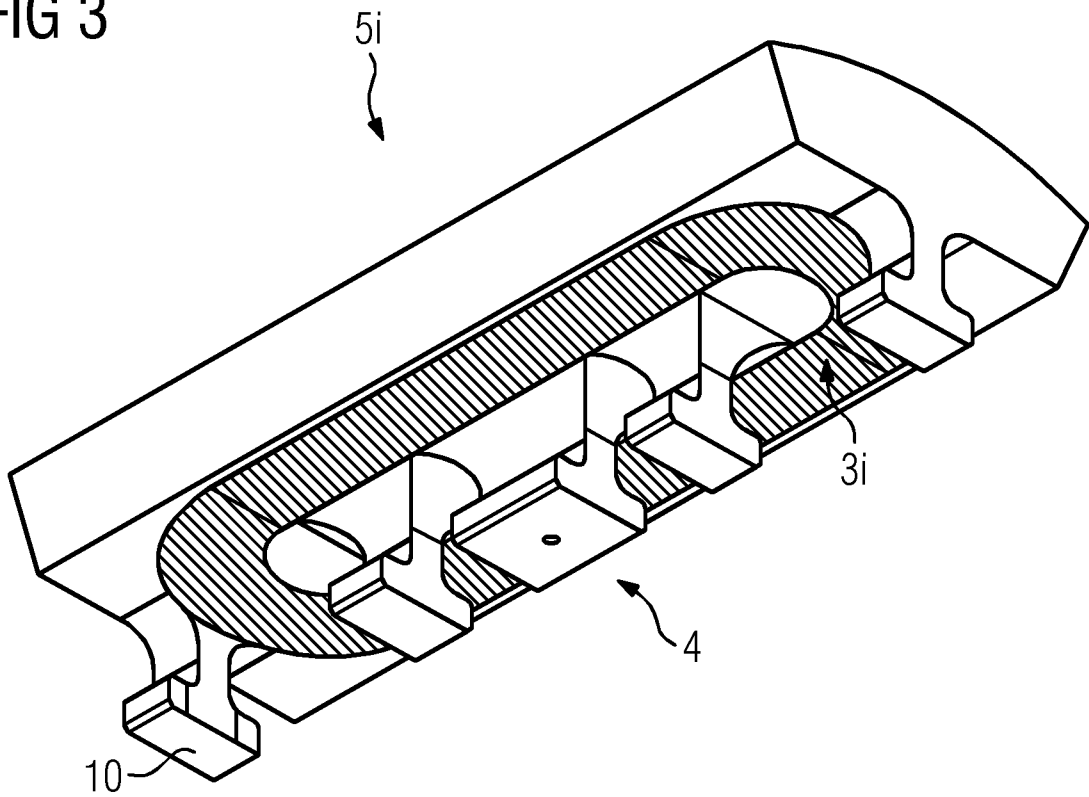
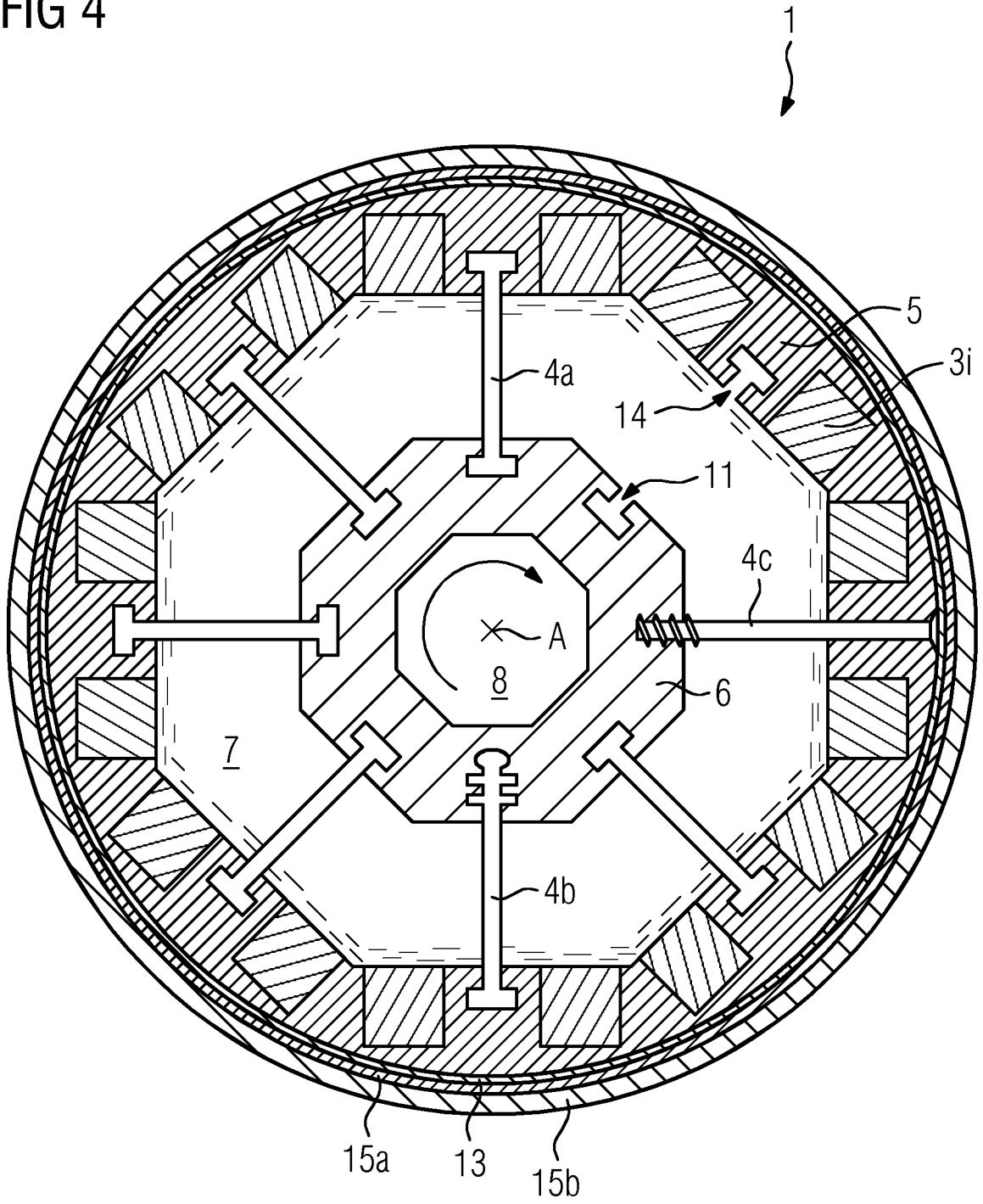


FIG 4





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/078590

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H02K1/32  
ADD.  
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)  
H02K  
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	US 5 672 921 A (HERD KENNETH GORDON [US] ET AL) 30 September 1997 (1997-09-30) column 2, line 29 - line 61; claim 1; figures 1, 2 column 3, line 12 - line 23 -----	1-14
X	DE 612 236 C (AEG) 16 April 1935 (1935-04-16) claim 1; figure 1 -----	1-14
X	US 2013/300239 A1 (RICO RAUL RICARDO [US] ET AL) 14 November 2013 (2013-11-14) paragraphs [0025], [0030]; claim 1; figure 2 -----	1-14
A	US 2004/046479 A1 (HAGA SHIGEYUKI [JP]) 11 March 2004 (2004-03-11) figure 3A -----	3,5,6
	-/--	

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

31 January 2018

Date of mailing of the international search report

07/02/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

De Haan, Aldert

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/078590

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/057741 A1 (SIEMENS AG [DE]; FRANK MICHAEL [DE]; KUEHN ADOLF [DE]; MASSEK PETER [D]) 8 July 2004 (2004-07-08) claim 1	7
A	----- DE 199 43 783 A1 (SIEMENS AG [DE]) 29 March 2001 (2001-03-29) column 4, line 3 - line 24	7,8
A	----- US 2007/103017 A1 (HALSEY DAVID G [US]) 10 May 2007 (2007-05-10) paragraph [0015] - paragraph [0016]; claim 1; figure 2	8
A	----- US 2006/125345 A1 (LEE CHEOL-GYUN [KR]) 15 June 2006 (2006-06-15) paragraph [0027]	9
A	----- US 6 169 353 B1 (DRISCOLL DAVID I [US] ET AL) 2 January 2001 (2001-01-02) claims 1, 11	2,11
	-----	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/078590
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5672921	A	30-09-1997	NONE
-----			
DE 612236	C	16-04-1935	NONE
-----			
US 2013300239	A1	14-11-2013	CN 104584404 A 29-04-2015
			EP 2885859 A1 24-06-2015
			JP 6113843 B2 12-04-2017
			JP 2015527864 A 17-09-2015
			KR 20150043470 A 22-04-2015
			US 2013300239 A1 14-11-2013
			WO 2014028717 A1 20-02-2014
-----			
US 2004046479	A1	11-03-2004	JP 2004104882 A 02-04-2004
			US 2004046479 A1 11-03-2004
			US 2005001506 A1 06-01-2005
-----			
WO 2004057741	A1	08-07-2004	DE 10259822 A1 15-07-2004
			EP 1573887 A1 14-09-2005
			US 2006125331 A1 15-06-2006
			WO 2004057741 A1 08-07-2004
-----			
DE 19943783	A1	29-03-2001	DE 19943783 A1 29-03-2001
			WO 0120756 A1 22-03-2001
-----			
US 2007103017	A1	10-05-2007	NONE
-----			
US 2006125345	A1	15-06-2006	KR 20060067186 A 19-06-2006
			US 2006125345 A1 15-06-2006
-----			
US 6169353	B1	02-01-2001	NONE
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02K1/32 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02K		
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	US 5 672 921 A (HERD KENNETH GORDON [US] ET AL) 30. September 1997 (1997-09-30) Spalte 2, Zeile 29 - Zeile 61; Anspruch 1; Abbildungen 1, 2 Spalte 3, Zeile 12 - Zeile 23 -----	1-14
X	DE 612 236 C (AEG) 16. April 1935 (1935-04-16) Anspruch 1; Abbildung 1 -----	1-14
X	US 2013/300239 A1 (RICO RAUL RICARDO [US] ET AL) 14. November 2013 (2013-11-14) Absätze [0025], [0030]; Anspruch 1; Abbildung 2 -----	1-14
A	US 2004/046479 A1 (HAGA SHIGEYUKI [JP]) 11. März 2004 (2004-03-11) Abbildung 3A -----	3,5,6
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
31. Januar 2018		07/02/2018
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  De Haan, Aldert

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2004/057741 A1 (SIEMENS AG [DE]; FRANK MICHAEL [DE]; KUEHN ADOLF [DE]; MASSEK PETER [D] 8. Juli 2004 (2004-07-08) Anspruch 1 -----	7
A	DE 199 43 783 A1 (SIEMENS AG [DE]) 29. März 2001 (2001-03-29) Spalte 4, Zeile 3 - Zeile 24 -----	7,8
A	US 2007/103017 A1 (HALSEY DAVID G [US]) 10. Mai 2007 (2007-05-10) Absatz [0015] - Absatz [0016]; Anspruch 1; Abbildung 2 -----	8
A	US 2006/125345 A1 (LEE CHEOL-GYUN [KR]) 15. Juni 2006 (2006-06-15) Absatz [0027] -----	9
A	US 6 169 353 B1 (DRISCOLL DAVID I [US] ET AL) 2. Januar 2001 (2001-01-02) Ansprüche 1, 11 -----	2,11

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/078590

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5672921	A	30-09-1997	KEINE
DE 612236	C	16-04-1935	KEINE
US 2013300239	A1	14-11-2013	CN 104584404 A 29-04-2015 EP 2885859 A1 24-06-2015 JP 6113843 B2 12-04-2017 JP 2015527864 A 17-09-2015 KR 20150043470 A 22-04-2015 US 2013300239 A1 14-11-2013 WO 2014028717 A1 20-02-2014
US 2004046479	A1	11-03-2004	JP 2004104882 A 02-04-2004 US 2004046479 A1 11-03-2004 US 2005001506 A1 06-01-2005
WO 2004057741	A1	08-07-2004	DE 10259822 A1 15-07-2004 EP 1573887 A1 14-09-2005 US 2006125331 A1 15-06-2006 WO 2004057741 A1 08-07-2004
DE 19943783	A1	29-03-2001	DE 19943783 A1 29-03-2001 WO 0120756 A1 22-03-2001
US 2007103017	A1	10-05-2007	KEINE
US 2006125345	A1	15-06-2006	KR 20060067186 A 19-06-2006 US 2006125345 A1 15-06-2006
US 6169353	B1	02-01-2001	KEINE