

(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
06. Januar 2022 (06.01.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/002452 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02K 23/04 (2006.01) *H02K 55/00* (2006.01)
B63G 7/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/059166

(22) Internationales Anmeldedatum:
08. April 2021 (08.04.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 208 027.5
29. Juni 2020 (29.06.2020) DE

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

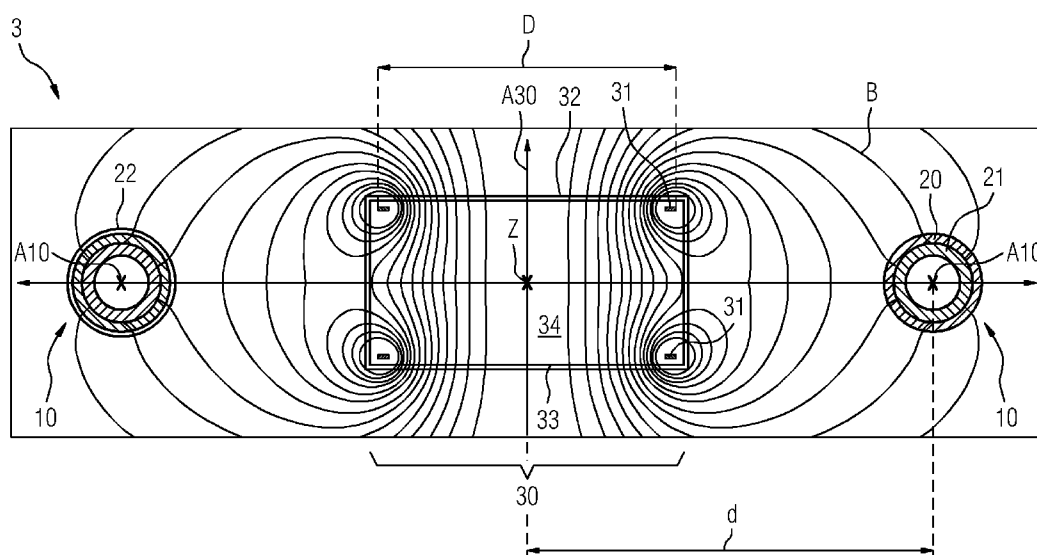
(72) Erfinder: **GRUNDMANN, Jörn**; Waldstr. 39, 91091 Großeneseebach (DE). **WYCISK, Michael**; An den Eichen 29, 24248 Mönkeberg (DE).

(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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

(54) Title: DRONE FOR TRIGGERING NAVAL MINES, HAVING AN ELECTRIC DRIVE DEVICE

(54) Bezeichnung: DROHNE ZUR AUSLÖSUNG VON SEEMINEN MIT ELEKTRISCHER ANTRIEBSEINRICHTUNG

FIG 4



(57) Abstract: The invention relates to a drone (1) for triggering naval mines, which has an electric drive device (3) for propulsion in the water, - wherein the electric drive device (3) comprises a magnet unit (30) for forming a magnetic field (B) and at least one electrically driven rotor (10), - wherein the magnet unit (30) has one or more magnet elements (31) and is designed to form both the external magnetic field for magnetically triggering the naval mines and an excitation field for the electromagnetic interaction with the rotor (10), - wherein the at least one rotor (10) has a local axis of rotation (A10) which is at a distance from the centre (Z) of the magnet unit (30).

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Drohne (1) zur Auslösung von Seeminen angegeben, welche eine elektrische Antriebseinrichtung (3) zur Fortbewegung im Wasser aufweist, - wobei die elektrische Antriebseinrichtung (3) eine Magnetvorrichtung (30) zur Ausbildung

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, 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)

eines Magnetfeldes (B) und wenigstens einen elektrisch angetriebenen Rotor (10) umfasst, - wobei die Magnetvorrichtung (30) ein oder mehrere Magnelemente (31) aufweist und dazu ausgelegt ist, sowohl das externe Magnetfeld zur magnetischen Auslösung der Seeminen als auch ein Erregerfeld für die elektromagnetische Wechselwirkung mit dem Rotor (10) auszubilden, - wobei der wenigstens eine Rotor (10) eine lokale Rotationsachse (A10) aufweist, welche von dem Zentrum (Z) der Magnetvorrichtung (30) beabstandet ist.

Beschreibung

Drohne zur Auslösung von Seeminen mit elektrischer Antriebseinrichtung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drohne zur Auslösung von Seeminen, welche eine elektrische Antriebseinrichtung zur Fortbewegung im Wasser aufweist, wobei die elektrische Antriebseinrichtung eine Magnetvorrichtung zur Ausbildung eines Magnetfeldes mit einem oder mehreren Magnelementen umfasst, welche auch zur magnetischen Auslösung der Seeminen dienen.

Bei herkömmlichen Systemen zur Fernräumung von Seeminen werden unbemannte Drohnen eingesetzt, die zur Auslösung von Magnetminen mit magnetischen Spulen oder mit Permanentmagneten ausgestattet sind. Diese Magnelemente erzeugen starke Magnetfelder, die die Seeminen zur Detonation bringen können. Dabei sind die Drohnen so ausgeführt, dass sie durch die Detonation bei dem für die Auslösung typischen Abstand keinen Schaden nehmen.

Solche Drohnen können über ein eigenes Antriebssystem verfügen. Beispielsweise verfügt die Deutsche Marine über fernsteuerbare Boote des Typs „Seehund“, welche mit einem Dieselmotor ausgestattet sind. Hierbei ist das Magnelement als Magnetspule ausgebildet und zur Auslösung der Minen in den Rumpf der fernsteuerbaren Boote integriert. Die Magnetspule selbst ist dabei typischerweise aus einer Vielzahl von Windungen aus Kupferkabel gebildet.

30

Neben solchen an der Oberfläche schwimmenden Drohnen sind auch Unterwasserdrohnen zur Minenräumung bekannt, die entweder auch über einen eigenen Antrieb verfügen oder von anderen (Unter-)Wasserfahrzeugen gezogen werden können.

35

Die selbstangetriebenen Drohnen können beispielsweise durch einen Elektromotor angetrieben sein. Generell können bei solchen selbstangetriebenen Drohnen die Magnelemente prinzipi-

ell entweder als zusätzliche Magnelemente ausgeführt sein oder aber sie können eine Doppelfunktion erfüllen, bei der sie neben ihrer Funktion zur Minenauslösung außerdem zur Erzeugung eines magnetischen Erregerfeldes in dem Elektromotor dienen. Derartige Minenräumsysteme mit magnetischer Doppelfunktion sind beispielsweise in der DE102016203341A1 sowie in der DE102018217211A1 beschrieben. Die dort näher beschriebenen Elektromotoren weisen jeweils einen Rotor und einen Stator auf, welche nach gängiger Bauweise radial ineinandergeschachtelt und in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind. Dies ermöglicht insbesondere auch eine rotationssymmetrische Ausformung des Elektromotors und bei passender Formgebung auch eine platzsparende Unterbringung in einem annähernd rotationssymmetrischen, torpedoförmigen Außengehäuse der Drohne.

Bei diesen bekannten Drohnen zur Minenräumung ist durch die rotationssymmetrische Ausgestaltung des Elektromotors inklusive Rotor und Stator auch die Magnetvorrichtung meist auf eine rotationssymmetrische Form und eine zum Querschnitt der Torpedogeometrie passende geringe Querschnittsfläche beschränkt. Dies gilt unabhängig davon, ob die Magnetvorrichtung auf dem Rotor oder dem Stator des Elektromotors angeordnet ist. Die einzelnen Magnelemente der Magnetvorrichtung sind dabei typischerweise über den Umfang des Rotors bzw. Stators verteilt angeordnet. Insbesondere bei den Ausgestaltungen, bei denen die Magnelemente als Erregerspulen ausgebildet sind, ergeben sich dadurch Spulen mit vergleichsweise geringer Spulenfläche, da deren Größe zumindest in einer Raumrichtung durch den Querschnitt der Torpedogeometrie limitiert ist. Für die Erzeugung eines möglichst hohen magnetischen Dipolmoments - sowohl für die elektromagnetische Wechselwirkung innerhalb des Elektromotors als auch für die magnetische Minenauslösung außerhalb der Drohne - wäre es dagegen vorteilhaft, wenn die Spulenfläche bezüglich beider Raumrichtungen möglichst groß ist. Auch bei Magnetvorrichtungen mit Permanentmagneten kann es vorteilhaft sein, von den Größenbeschränkungen für die einzelnen Magnelemente abrücken zu können. Auch hier würde eine erhöhte Designfreiheit bei

der Formgebung und Dimensionierung der Magnetelemente dazu beitragen, die Auslegung der Magnetvorrichtung im Hinblick auf die oben beschriebene Doppelaufgabe zu erleichtern.

5 Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Drohne zur Auslösung von Seemineralen anzugeben, welche die genannten Nachteile überwindet. Insbesondere soll eine Drohne mit einer Magnetvorrichtung zur Verfügung gestellt werden, mit welcher ein möglichst hohes magnetisches Dipolmoment erzeugt werden kann.

10 Diese Aufgaben werden durch die in Anspruch 1 beschriebene Drohne gelöst. Die erfindungsgemäße Drohne ist zur Auslösung von Seemineralen geeignet. Sie weist eine elektrische Antriebseinrichtung zur Fortbewegung im Wasser auf. Dabei umfasst die elektrische Antriebseinrichtung eine Magnetvorrichtung zur
15 Ausbildung eines Magnetfeldes und wenigstens einen elektrisch angetriebenen Rotor. Die Magnetvorrichtung weist ein oder mehrere Magnetelemente auf und ist dazu ausgelegt, sowohl das externe Magnetfeld zur magnetischen Auslösung der Seemineralen
20 als auch ein Erregerfeld für die elektromagnetische Wechselwirkung mit dem Rotor auszubilden. Der wenigstens eine Rotor weist eine lokale Rotationsachse auf, welche von dem Zentrum der Magnetvorrichtung beabstandet ist.

25 Ähnlich wie bei den aus DE 10 2016 203 341 A1 und DE 10 2018 217 211 A1 bekannten Drohnen ist hier die elektrische Antriebseinrichtung so ausgelegt, dass bei ihrem Betrieb ein zur Auslösung von Seemineralen geeigneter magnetischer Fluss in einen Bereich außerhalb der Drohne vordringen kann. Hierzu
30 ist die Antriebseinrichtung als Ganzes so ausgebildet, dass ein Vordringen eines derart hohen Teils des magnetischen Flusses in diese außenliegenden Bereiche nicht verhindert wird. Sie soll also insgesamt nach außen hin eine vergleichsweise schwache magnetische Abschirmung aufweisen. Dies kann
35 insbesondere durch die Wahl geeigneter, schwach magnetisch abschirmender Materialien im Bereich ein oder mehrerer optional vorliegender Gehäuse und/oder Träger erreicht werden.

Die Magnetvorrichtung kann sich insbesondere in einem feststehenden Teil der elektrischen Antriebseinrichtung befinden. Es kann sich also mit anderen Worten um eine feststehende Erregerwicklung handeln, welche funktionell als Stator der elektrischen Antriebseinrichtung bzw. eines Elektromotors betrachtet werden kann. Die Erregerwicklung kann dabei ein oder mehrere Erregerspulen umfassen, welche zusammenhängend oder auch separat ausgestaltet sein können. Im Unterschied zu einem herkömmlichen Elektromotor sind hier jedenfalls Rotor und Stator nicht konzentrisch ineinandergeschachtelt, sondern ihre Zentren sind voneinander beabstandet. Unter dem Begriff „feststehend“ soll im vorliegenden Zusammenhang eine feststehende Anordnung innerhalb des Bezugssystems der Drohne verstanden werden, innerhalb dessen die elektrische Antriebseinrichtung montiert ist. Die Drohne als Ganzes soll natürlich trotzdem wie beschrieben im Wasser beweglich und somit nicht absolut gesehen feststehend sein.

Die Magnetvorrichtung bildet also zusammen mit dem Rotor einen Elektromotor aus, da sie als Erregerwicklung wirkt und mit dem Rotor in elektromagnetische Wechselwirkung tritt. Es können auch mehrere solche Rotoren innerhalb der Antriebseinrichtung vorliegen, die gleichzeitig mit der Erregerwicklung in Wechselwirkung treten können, so dass funktionell mehrere Motoren ausgebildet werden. Um die Drohne im Wasser fortzubewegen, kann der wenigstens eine Rotor beispielsweise über eine Rotorwelle drehmomentübertragend an einen Propeller bzw. eine Antriebsschraube gekoppelt sein. Bei den genannten Rotoren kann es sich insbesondere um „einzelne Rotoren“ handeln – also nicht um vollständige Motoren – da die Magnetvorrichtung ja schon die elektromagnetische Funktion des Stators erfüllt.

Der wenigstens eine Rotor kann insbesondere eine Ankerwicklung umfassen. Unter einer solchen Ankerwicklung (die im englischen auch als „Armature Winding“ bezeichnet wird), soll hier allgemein die Wicklung der Antriebseinrichtung verstanden werden, die mit dem Erregerfeld der Erregerwicklung in elektromagnetische Wechselwirkung tritt und dadurch eine Dre-

hung des Rotors bewirkt. Bei einem Elektromotor ist dies allgemein die Wicklung, über die elektrische Energie in den Motor eingebracht wird. Dies gilt unabhängig davon, ob der Elektromotor als Gleichstrommotor oder als Synchronmotor ausgebildet ist. Beide Varianten können im Rahmen der Erfindung vorteilhaft realisiert werden, wobei die Ausgestaltung als Synchronmaschine mit rotierender Ankerwicklung im Stand der Technik insgesamt eher unüblich ist.

Das wesentliche Merkmal der erfindungsgemäßen Drohne ist, dass die Rotationsachse des Rotors vom Zentrum der Magnetvorrichtung beabstandet ist. Es wird hier also von der typischen konzentrischen Anordnung von Rotor und Stator gezielt abgewichen. Diese Abweichung kann insbesondere so deutlich sein, dass der wenigstens eine Rotor und die Magnetvorrichtung nicht wie beim Stand der Technik ineinandergeschachtelt sind, sondern als separate Elemente benachbart zueinander vorliegen. Durch diese separierte Ausgestaltung von Rotor und Magnetvorrichtung wird erreicht, dass die Magnetvorrichtung mit einer wesentlich größeren Designfreiheit ausgestaltet werden kann. Insbesondere kann für die Magnetvorrichtung von einer rotationssymmetrischen Grundform abgewichen werden, während diese unter Umständen für den wenigstens einen Rotor trotzdem erfüllt sein kann. Dies ermöglicht im Vergleich zu herkömmlichen Statoranordnungen eine deutlich größere Freiheit bei der Dimensionierung und Formgebung der einzelnen Magnetelemente. Insbesondere beim Einsatz von supraleitenden Erregerspulen als Magnetelemente kann durch eine entsprechend große Dimensionierung von beiden Haupt-Abmessungen eine besonders hohe magnetische Flussdichte auch mit moderater Leitermenge erreicht werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen exzentrischen Anordnung von Rotor und Stator ist, dass damit auch von der klassischen konzentrischen Luftspaltgeometrie abgewichen wird und somit eine größere Robustheit gegenüber äußeren mechanischen Lasteinwirkungen erreicht wird. Vor allem bei einer vorteilhaften vollständig separierten Ausfüh-

5 rung von Magnetvorrichtung und dem wenigstens einen Rotor
kann aufgrund des vorliegenden Abstands zwischen Rotor und
Stator eine wesentlich höhere Empfindlichkeit gegenüber
Schocklasten erreicht werden als bei herkömmlichen Systemen,
10 bei denen zur Erhaltung der Funktion ein meist sehr schmaler,
einheitlicher, umlaufender Luftspalt aufrechterhalten werden
muss. Aufgrund des ohnehin vorliegenden Abstands und des Ver-
zichts auf einen solchen Luftspalt ist die Antriebseinrich-
tung wesentlich robuster gegenüber leichten Lageänderungen
15 zwischen Rotor und Stator. Hierdurch ist die Drohne insgesamt
deutlich robuster gegenüber äußeren Schockbelastungen, was
sich gerade bei der Detonation von Minen besonders vorteil-
haft auswirkt.

20 Die beschriebenen Vorteile bei der Abweichung von der klassi-
schen konzentrischen Anordnung von rotationssymmetrischem Ro-
tor und Stator geht bei der Drohne mit einem Verlust der hyd-
rodynamisch günstigen torpedoartigen Außenform einher. Die
vorliegende Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass bei
25 einer Minenräumdrohne die mit der entsprechenden Erhöhung des
hydrodynamischen Widerstands verbundenen Nachteile durch die
Vorteile aufgrund des höheren erreichbaren magnetischen Di-
polmoments mehr als ausgeglichen werden können. Das höhere
magnetische Dipolmoment ist bei den beschriebenen Drohnen vor
30 allem für die magnetische Minenauslösung wichtig.

Sowohl für Unterwasser-Drohnen als auch für an der Wasser-
oberfläche schwimmende Drohnen kann trotz des Abweichens von
der hydrodynamisch günstigen torpedoartigen Form aufgrund des
35 erhöhten magnetischen Dipolmoments eine verbesserte Gesamt-
Performance vor allem im Hinblick auf die Minenauslösung er-
reicht werden. Dies gilt in besonderem Maße für eine an der
Wasseroberfläche schwimmende Drohne, da es hier auf eine ro-
tationssymmetrische Formgebung noch weniger ankommt als bei
40 einer Unterwasser-Drohne.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfin-
dung gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen sowie

der folgenden Beschreibung hervor. So kann nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Abstand zwischen der lokalen Rotationsachse des wenigstens einen Rotors und dem Zentrum der Magnetvorrichtung so groß gewählt sein, dass der jeweilige Rotor außerhalb der Magnetvorrichtung liegt. Mit anderen Worten sind nicht nur die Zentren beabstandet, sondern der Abstand ist so groß gewählt, dass Rotor(en) und Magnetvorrichtung nebeneinanderliegende, separate Elemente ausbilden und sich nicht gegenseitig durchdringen. Dies bewirkt den Vorteil, dass der Rotor oder die Rotoren als separate Bauelemente gefertigt sein können, wodurch sie auch wesentlich kompakter realisiert sein können als ein vollständiger Motor. Der Rotor bzw. die Rotoren können bei dieser Ausführungsform insbesondere auch wesentlich kleiner ausgeführt werden als die Magnetvorrichtung, insbesondere mit geringerem Gesamtvolumen pro Element. In diesem Fall kann die Magnetvorrichtung eher im Zentrum oder zumindest im Hauptkörper der Drohne angeordnet werden, und der Rotor bzw. die Rotoren können eher im Bereich der Peripherie der Drohne angeordnet werden, sozusagen als „Außenbord-Rotoren“.

Diese separierte Ausführung von Magnetvorrichtung und Rotor(en) erleichtert also eine deutlich unterschiedliche Dimensionierung, so dass allgemein die Magnetvorrichtung auch wesentlich größer dimensioniert werden kann als der wenigstens eine Rotor, um ein besonders hohes magnetisches Dipolmoment zu erreichen. So können eine oder mehrere Haupt-Abmessungen (also z.B. Länge oder Breite) der Magnetvorrichtung vorteilhaft sogar ein Mehrfaches der entsprechenden Abmessung des jeweiligen Rotors betragen.

Besonders vorteilhaft können die Magnetvorrichtung und der wenigstens eine Rotor in getrennten Gehäusen angeordnet sein. Es können also ein oder mehrere Rotorgehäuse (insbesondere eines für jeden Rotor) und ein davon separat ausgestaltetes Magnetvorrichtungsgehäuse vorliegen. Diese Gehäuse sind bevorzugt jeweils aus amagnetischem Material gebildet. Die genannten Elemente können bei bestimmten Ausführungsvarianten

wiederum von einem gemeinsamen Drohnengehäuse umschlossen sein. Alternativ können die einzelnen Gehäuse auch so ineinander übergehen, dass sie Teilmodule eines übergeordneten Drohnengehäuses bilden. Die einzelnen Rotorgehäuse können
5 auch durch Befestigungselemente außen mit dem Magnetvorrichtungsgehäuse bzw. mit dem Drohnengehäuse verbunden sein, ähnlich wie ein Außenbordmotor an einem Boot. Ähnlich wie dort können die Rotoren auch beweglich und insbesondere schwenkbar mit dem Drohnengehäuse verbunden sein, so dass durch deren
10 Bewegung eine Änderung der Fortbewegungsrichtung bewirkt werden kann.

Das wenigstens eine Magnelement kann beispielsweise als elektrische Erregerspule oder alternativ als Permanentmagnet
15 ausgebildet sein. In beiden Fällen ermöglicht die Beabstandung der Zentren von Rotor(en) und Magnetvorrichtung eine erhöhte Designfreiheit bei der Formgebung und Dimensionierung der einzelnen Magnelemente und gegebenenfalls auch bei ihrer Positionierung relativ zueinander. Vorteilhaft können
20 hierdurch vor allem größere Magnelemente realisiert werden, als dies bei einer streng rotationssymmetrischen und mit dem Rotor konzentrischen Anordnung möglich wäre. So kann allgemein die Grundform der gesamten Magnetvorrichtung vorteilhaft von einer kreiszylindrischen Grundform abweichen. Bei dem
25 Permanentmagneten kann es sich insbesondere auch um ein als Permanentmagnet wirkendes Supraleiterelement handeln.

Allgemein besonders vorteilhaft ist es, wenn das wenigstens eine Magnelement der Magnetvorrichtung eine supraleitende
30 Erregerspule ist. Eine solche supraleitende Erregerspule kann beispielsweise über eine Gleichstromquelle oder über eine Wechselstromquelle mit elektrischer Energie versorgt werden. Aufgrund der vernachlässigbaren elektrischen Verluste einer solchen supraleitenden Erregerspule ist es aber grundsätzlich auch möglich, diese Wicklung im Quasi-Dauerkurzschlussstrommodus (englisch: „quasi persistent current mode“)
35 zu betreiben. Dies ist vor allem bei solchen Ausführungsformen interessant, bei denen das Magnetfeld im kurzgeschlosse-

nen Betriebsmodus mit weniger als 1% pro Stunde abfällt. Dann kann die Erregerspule einer solchen Drohne vor ihrem Einsatz mit einer externen Stromquelle aufgeladen werden, und die Erregerspule kann während ihres Einsatzes von beispielsweise
5 einigen Stunden ohne eine Stromquelle für die Erregerwicklung(en) betrieben werden. Bei einer solchen Ausführungsform kann auch auf elektrische Anschlüsse der Erregerspule verzichtet werden, wodurch die thermischen Verluste in der tiefkalten Umgebung der supraleitenden Wicklung(en) reduziert
10 werden können.

Grundsätzlich können mit supraleitenden Erregerspulen bei ähnlicher Größe und Bauform deutlich stärkere Magnetfelder realisiert werden als mit herkömmlichen normalleitenden Erregerspulen. Oder anders ausgedrückt, kann der Elektromotor bei
15 ähnlicher Leistung und ähnlichem magnetischen Fluss kleiner und leichter ausgeführt werden als mit normalleitenden Wicklungen, beispielsweise herkömmlichen Kupferwicklungen. Der Energiebedarf ist durch die niedrigen Verluste ebenfalls
20 niedriger als bei herkömmlichen Leitern, so dass selbst bei einem dauerhaft gespeisten Betrieb weniger elektrische Leistung benötigt wird, und ein Energiespeicher der Drohne dementsprechend auf einen geringeren Energieverbrauch ausgelegt werden kann.

Alternativ oder zusätzlich zu den beschriebenen supraleitenden Komponenten in der Magnetvorrichtung kann die Antriebseinrichtung auch so ausgestaltet sein, dass die Ankerwicklung im Rotor einen supraleitenden elektrischen Leiter umfasst.
30 Auch hier können bei gleichem Bauvolumen im Vergleich zu herkömmlichen Kupferwicklungen deutlich höhere Ströme und/oder deutlich höhere Windungszahlen realisiert werden. Alternativ oder zusätzlich kann auch das Bauvolumen und damit auch das Gewicht der Drohne im Vergleich zu einer Antriebseinrichtung
35 mit normalleitenden Materialien reduziert werden.

Allgemein und unabhängig davon, ob das supraleitende Material im Rotor und/oder in der Magnetvorrichtung zum Einsatz kommt,

kann dieses Material bevorzugt als Hochtemperatursupraleitendes Material ausgestaltet sein. Hochtemperatursupraleiter (HTS) sind supraleitende Materialien mit einer Sprungtemperatur oberhalb von 25 K und bei einigen Materialklassen oberhalb von 77 K, bei denen die Betriebstemperatur durch Kühlung mit anderen kryogenen Materialien als flüssigem Helium erreicht werden kann. HTS-Materialien sind auch deshalb besonders attraktiv, da diese Materialien abhängig von der Wahl der Betriebstemperatur hohe obere kritische Magnetfelder sowie hohe kritische Stromdichten aufweisen können. Mit ihnen können daher besonders leicht hohe Magnetfelder erzeugt werden.

Besonders vorteilhaft kann ein solches Hochtemperatursupraleitendes Material Magnesiumdiborid und/oder ein Material des Typs $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, umfassen, wobei RE für ein Element der seltenen Erden oder eine Mischung solcher Elemente steht. Bei supraleitenden Wicklungen im Rotor und/oder im Stator kann der supraleitende Leiter vorteilhaft als Bandleiter ausgeführt sein.

Die wenigstens eine supraleitende Erregerspule kann insbesondere als Flachspule ausgebildet sein, beispielsweise mit der Grundform einer Kreisspule, einer Rennbahnschleife oder einer Rechteckspule (ggf. mit abgerundeten Ecken). Bei Ausführungsformen mit mehreren solchen Erregerspulen können diese beispielsweise coaxial übereinander gestapelt angeordnet sein, wobei insbesondere auch ein axialer Abstand zwischen den einzelnen Spulen vorliegen kann.

Die Magnetvorrichtung kann vorteilhaft einen Kryostatbehälter zur Kühlung der wenigstens einen supraleitenden Erregerspule umfassen. Zweckmäßig kann der Kryostatbehälter die wenigstens eine supraleitende Spule umgeben. Dabei können auch mehrere solche Spulen innerhalb desselben Kryostatbehälters angeordnet sein. Allgemein können auch mehrere Kryostatbehälter vorliegen, in denen dann jeweils entweder eine oder mehrere solche Spulen angeordnet sind. Wesentlich ist, dass die jeweili-

ge Spule von dem zugeordneten Kryostatbehälter so umgeben ist, dass sie durch ihn gegen eine warme äußere Umgebung thermisch isoliert ist. Der Kryostatbehälter ist zweckmäßig zur Aufnahme einer flüssigen Phase eines kryogenen Kühlmittels ausgebildet, es kann sich dabei also insbesondere um einen Badkryostaten handeln. Dabei soll allerdings nicht ausgeschlossen sein, dass das kryogene Kühlmittel zumindest teilweise auch in der Gasphase innerhalb des Kryostatbehälters vorliegt. Insbesondere kann also während des Betriebs der Drohne und damit während der Kühlung der supraleitenden Spule innerhalb des Kryostatbehälters ein Gleichgewicht zwischen der flüssigen Phase und der Gasphase des kryogenen Kühlmittels vorliegen.

Besonders vorteilhaft kann sich der Kryostatbehälter auch über das Zentrum der Magnetvorrichtung erstrecken. Dies ist im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen exzentrischen Anordnung von Rotor und Magnetvorrichtung besonders günstig, weil das Zentrum des Kryostatbehälters dabei nicht für den Rotor freigehalten werden muss. Mit anderen Worten kann der Rotor dann allgemein vorteilhaft außerhalb des Kryostatbehälters angeordnet sein anstatt wie im Stand der Technik in dessen Zentrum. Der Kryostatbehälter kann allgemein vorteilhaft die ganze Magnetvorrichtung umschließen, was ein besonders großes Tankvolumen für das kryogene Kühlmittel bei gleichzeitig geringem Gesamt-Bauraum ermöglicht.

Gemäß einer besonders zu bevorzugenden Variante dieser Ausführungsform ist der Kryostatbehälter ein Badkryostat, welcher zur Befüllung mit einem flüssigen kryogenen Kühlmittel, insbesondere flüssigem Wasserstoff, ausgelegt ist. Neben seiner Funktion als kryogenes Kühlmittel kann der flüssige Wasserstoff dabei auch als Brennstoff für einen optionalen Verbraucher dienen, insbesondere für eine Brennstoffzelle, welche ebenfalls an Bord der Drohne angeordnet ist. Durch eine solche Doppelnutzung der kryogenen Kühlmittels kann wiederum erreicht werden, dass der gesamte Platzbedarf für die Bevorratung von Kühlmittel/Brennstoff geringgehalten werden kann,

da ein ansonsten benötigter zusätzlicher Vorratstank für den Brennstoff eingespart wird. Die Vorteile dieser Doppelnutzung des Kühlmittels ergeben sich analog zu der Drohne, die in der noch nicht offengelegten deutschen Anmeldung mit dem Akten-
5 zeichen 10 2019 216 155.3 beschrieben ist.

Allgemein vorteilhaft weist die Magnetvorrichtung wenigstens eine magnetische Dipolachse auf, wobei die Rotationsachse des jeweiligen Rotors um nicht mehr als das Zehnfache der größten
10 Außenabmessung der einzelnen Magnetelemente von der magnetischen Dipolachse beabstandet ist. Bei einer Ausgestaltung der Magnetelemente als supraleitende Erregerspulen soll also der Abstand nicht größer sein als das Zehnfache des Außendurchmessers der einzelnen Spulen, bzw. bei einer nicht kreisförmigen Spulenform nicht mehr als das Zehnfache der größten
15 Außenabmessung der Spule. Besonders vorteilhaft soll der Abstand nicht größer sein als das Fünffache dieser größten Außenabmessung des einzelnen Magnetelements. Bei einem solchen vergleichsweise geringen Abstand des Rotors von der Dipolachse befindet sich der Rotor in einem Bereich mit einer vergleichsweise hohen magnetischen Flussdichte, was sich vorteilhaft auf die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen Rotor und Magnetvorrichtung auswirkt.

Zweckmäßig ist die genannte magnetische Dipolachse gleichzeitig auch eine Symmetrieachse der Magnetvorrichtung. Die Magnetvorrichtung ist allerdings nicht auf eine Vorrichtung zur Ausbildung eines magnetischen Dipolfeldes beschränkt, sondern es kann sich allgemein auch um eine Vorrichtung zur Ausbildung eines höherpoligen Magnetfeldes handeln. Dies kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn zur Minenauslösung eine komplexere magnetische Signatur nachgebildet werden soll. Auch für solche höherpoligen Magnetvorrichtungen gilt der vorteilhafte Abstandsbereich für den Abstand des Rotors von
35 einer der magnetischen Polachsen entsprechend.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann der wenigstens eine Rotor sogar auf der magnetischen Dipolachse bzw. auf

einer von mehreren magnetischen Dipolachsen angeordnet sein. In diesem Bereich ist die elektromagnetische Wechselwirkung mit dem Rotor besonders hoch. Außerdem kann eine symmetrische Ausgestaltung des Gesamtsystems erreicht werden. Eine andere
5 Art von symmetrischer Ausgestaltung des Gesamtsystems ist jedoch auch möglich, wenn beispielsweise der wenigstens eine Rotor auf einer weiteren Symmetrieachse der Magnetvorrichtung liegt, welche insbesondere senkrecht zur Dipolachse verläuft.

10 Bei der Anordnung des wenigstens einen Rotors auf der magnetischen Dipolachse kann gemäß einer ersten Ausführungsvariante die Rotationsachse des Rotors senkrecht zu dieser magnetischen Dipolachse ausgerichtet sein. Diese Ausrichtung ist vor allem dann zweckmäßig, wenn Magnetvorrichtung und Rotor zu-
15 sammen eine Radialflussmaschine ausbilden, da der (auf die Rotationsachse des Rotors bezogene) radiale Fluss dann besonders hoch ist. Insbesondere kann trotz der exzentrischen Anordnung von Rotor und Magnetvorrichtung trotzdem ein verhältnismäßig gleichmäßiger radialer Fluss über den gesamten Um-
20 fang des Rotors erreicht werden.

Eine relativ gleichmäßige Flussverteilung über den Umfang des Rotors wird allgemein vorteilhaft und unabhängig von der genauen Anordnung und Ausrichtung des wenigstens einen Rotors
25 durch ein magnetisch flussführendes Rotorjoch aus weichmagnetischem Material erreicht. Ein solches Rotorjoch kann insbesondere zylindrisch ausgebildet und bezüglich der Rotorachse radial innerhalb der Ankerwicklung angeordnet sein.

30 Bei der Anordnung des wenigstens einen Rotors auf oder nahe der magnetischen Dipolachse kann gemäß einer zweiten Ausführungsvariante die Rotationsachse des Rotors parallel zu dieser magnetischen Dipolachse ausgerichtet sein. Diese Ausrichtung ist vor allem dann zweckmäßig, wenn Magnetvorrichtung
35 und Rotor zusammen eine Axialflussmaschine ausbilden, da der (auf die Rotationsachse des Rotors bezogene) axiale Fluss dann besonders hoch ist. Bei dieser Ausführungsvariante ist es besonders vorteilhaft, wenn der Rotor auf entweder auf der

Dipolachse liegt oder nur einen geringen Abstand zu ihr aufweist. Bei einer beabstandeten Anordnung kann die Rotationsachse zweckmäßig einen kleinen Winkel mit der magnetischen Dipolachse ausbilden, so dass die magnetischen Feldlinien dann trotzdem im Wesentlichen in axialer Richtung des Rotors verlaufen.

Gemäß einer ersten allgemeinen Ausführungsvariante der Magnetvorrichtung kann diese dazu ausgelegt sein, als externes Magnetfeld ein magnetisches Wechselfeld auszubilden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn zur Auslösung der Seeminen ein magnetisches Wechselfeld benötigt wird. Hierzu kann die Magnetvorrichtung ein oder mehrere Erregerspulen aufweisen, welche dazu ausgelegt sind, mit einem Wechselstrom bestromt zu werden. Diese Variante ist insbesondere für einen Rotor in der Ausführung für eine Axialflussmaschine vorteilhaft.

Gemäß einer alternativen, zweiten Ausführungsvariante der Magnetvorrichtung kann diese dazu ausgelegt sein, als externes Magnetfeld ein magnetisches Gleichfeld auszubilden. Hierzu kann die Magnetvorrichtung entweder ein oder mehrere Permanentmagnete aufweisen und/oder ein oder mehrere Erregerspulen aufweisen, welche dazu ausgelegt sind, mit einem Gleichstrom bestromt zu werden. Hierdurch wird erreicht, dass das außerhalb der Drohne erzeugte externe Magnetfeld im räumlichen Bezugssystem der Drohne im Wesentlichen ein magnetisches Gleichfeld ist.

Allgemein vorteilhaft kann die Drohne mehrere Rotoren aufweisen. Dabei können die einzelnen Rotoren jeweils mit der Magnetvorrichtung in elektromagnetische Wechselwirkung treten, so dass es sich bei der Magnetvorrichtung insbesondere um eine übergeordnete Magnetvorrichtung handeln kann. Mit anderen Worten kann die Drohne dann effektiv mehrere elektrische Motoren aufweisen, welche eine gemeinsame Magnetvorrichtung nutzen. Die einzelnen Rotoren können dann insbesondere unabhängig voneinander über separate Rotorwellen drehmomentüber-

tragend mit zugeordneten Propellern bzw. Antriebsschrauben verbunden sein. Wenn die einzelnen Rotoren oder zumindest die zugeordneten Propeller bzw. Schrauben schwenkbar im Außenbereich der Drohne angeordnet sind, kann mit dieser Ausführungsform ein besonders agiles Steuerungsverhalten der Drohne bewirkt werden. Diese Agilität kann insbesondere im Zusammenspiel mit dem Betriebsverfahren vorteilhaft sein, welches in der noch nicht veröffentlichten deutschen Anmeldung mit dem Aktenzeichen 10 2019 212 105.5 beschrieben wurde.

Weiterhin kann es vorteilhaft sein, wenn die Drohne im Inneren der Magnetanordnung ein oder mehrere flussführende Elemente aus weichmagnetischem Material aufweist. Solche weichmagnetischen Elemente im Inneren der Magnetanordnung können vorteilhaft sein, um das magnetische Dipolmoment bzw. die Drehmomentdichte der elektrischen Maschine zu stärken. Insbesondere kann ein solches flussführendes Element einen ringförmigen Querschnitt aufweisen und insbesondere symmetrisch um das Zentrum der Magnetvorrichtung angeordnet sein. Es kann sich also mit anderen Worten an der zentralen Stelle der Magnetvorrichtung befinden, an der sich bei herkömmlichen Antriebsmotoren der Rotor befindet. Das flussführende Element (oder eine Anordnung aus mehreren flussführenden Elementen) kann besonders vorteilhaft als Hohlzylinder, Hohlkugel oder Hohl ellipsoid zentral im Inneren der Magnetvorrichtung angeordnet sein.

Die Drohne kann insgesamt eine Hauptachse aufweisen, welche entlang der Haupt-Bewegungsrichtung der Drohne ausgerichtet ist. Es kann sich dabei grundsätzlich um eine Symmetrieachse der Drohne handeln. Die Drohne kann aber alternativ auch asymmetrisch ausgestaltet sein, so dass sie keine Symmetrie bezüglich der Haupt-Bewegungsrichtung aufweisen muss. In jedem Fall kann die Rotationsachse des wenigstens einen Rotors zur Hauptachse der Drohne parallelversetzt sein. Besonders vorteilhaft kann es sich dabei um einen sogenannten Außenbord-Rotor handeln, wie bereits weiter oben beschrieben. Ein

solcher äußerer Rotor kann insbesondere richtungsverstellbar mit dem Hauptgehäuse der Drohne verbunden sein.

Die beschriebene Hauptachse der Drohne kann senkrecht zu wenigstens einer magnetischen Dipolachse der Magnetvorrichtung verlaufen. Dies muss jedoch nicht zwangsweise der Fall sein, und die Magnetvorrichtung kann vorteilhaft auch beliebige andere Ausrichtungen im Verhältnis zu der Hauptachse der Drohne aufweisen. Dies ermöglicht einen besonders großen Design-
Spielraum im Hinblick auf die von der Drohne nachzubildende magnetische Signatur.

Die Drohne kann vorteilhaft dazu ausgestaltet sein, unter Wasser bewegt zu werden. Alternativ dazu kann sie grundsätzlich aber auch als eine an einer Wasseroberfläche schwimmende Drohne ausgestaltet sein.

Allgemein sollen die in den bereits zitierten früheren Anmeldungen offenbarten Ausführungsvarianten als vorteilhafte Ausführungsformen für die hier beschriebene exzentrische Anordnung von Rotor und Magnetvorrichtung in die vorliegende Anmeldung mit einbezogen sein.

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

- Figur 1 eine Drohne nach dem Stand der Technik im schematischen Längsschnitt zeigt,
- Figur 2 einen elektrischen Antriebsmotor aus einer solchen Drohne im schematischen Querschnitt zeigt,
- Figur 3 eine Querschnittsdarstellung eines weiteren herkömmlichen elektrischen Antriebs zeigt,
- Figuren 4 bis 6 elektrische Antriebseinrichtungen nach verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung zeigen und
- Figur 7 ein Ausführungsbeispiel für eine Drohne in perspektivischer Darstellung zeigt.

In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen.

5 In Figur 1 ist eine Drohne 1 nach dem Stand der Technik gemäß DE 10 2018 217 211 A1 im schematischen Längsschnitt gezeigt. Gezeigt ist eine länglich geformte Drohne, die zur Fortbewegung unter Wasser ausgelegt ist. Sie weist in ihrem hinteren (in der Zeichnung links dargestellten) Teil eine Antriebs-
10 schraube 5 auf. Die Drohne ist also mit einem eigenständigen Antriebssystem ausgestattet, wobei die Antriebsschraube 5 hier über die Rotorwelle 7 einer elektrischen Antriebseinrichtung 3 angetrieben wird. Diese Antriebseinrichtung 3 nimmt bei diesem Ausführungsbeispiel einen großen Teil des
15 verfügbaren Innenraums der Drohne ein. Die Antriebseinrichtung 3 weist einen Rotor 10 auf, der auf der Rotorwelle 7 angeordnet ist und so drehmomentschlüssig mit dieser gekoppelt ist, dass über die Rotorwelle 7 die Antriebsschraube 5 angetrieben werden kann. Die Antriebseinrichtung 3 weist weiterhin einen Stator 11 auf, der radial außerhalb des Rotors 10
20 angeordnet ist und diesen konzentrisch umgibt. Es handelt sich hier also um einen Innenrotormotor. Der außenliegende Stator trägt bei diesem Motor eine Erregerwicklung, und der innenliegende Rotor trägt eine Ankerwicklung. Die Drohne 1
25 ist insgesamt torpedoartig geformt, und entsprechend ist die herkömmliche Antriebseinrichtung 3 mit konzentrischem Rotor und Stator im Wesentlichen kreiszylindrisch und länglich ausgeformt.

30 In Figur 2 ist ein schematischer Querschnitt einer herkömmlichen elektrischen Antriebseinrichtung 3 für eine solche Drohne gezeigt, ebenfalls nach dem Stand der Technik gemäß DE 10 2018 217 211 A1. Der außenliegende Stator 11 umgibt den innenliegenden Rotor 10 ringförmig, wobei der Rotor 10 um die
35 zentrale Rotationsachse A10 drehbar gelagert ist. Der Rotor 10 umfasst in seinem radial außenliegenden Bereich eine Ankerwicklung 20, welche in die Ankernuten eines Rotorjochs eingebettet ist. Der außenliegende Stator 11 trägt eine Mag-

netvorrichtung 30, welche in diesem herkömmlichen Beispiel als Magnetelemente 31 vier Permanentmagnete mit radial orientierten magnetischen Nordpolen N und Südpolen S aufweist. Die tragenden Teile des Stators 11 sind aus amagnetischem Material gebildet, so dass das übergeordnete Magnetfeld B der Maschine weit nach radial außen vordringen kann und auch außerhalb der Drohne als ausreichend starkes externes Magnetfeld zur magnetischen Auslösung von Seemineralen zur Verfügung steht. Die Ankerwicklung 20 kann beispielsweise an eine Wechselstromquelle angeschlossen sein. Bei solchen herkömmlichen elektrischen Antriebseinrichtungen 3 für Minenräum-Drohnen liegt das Zentrum Z der Magnetvorrichtung 30 aufgrund der coaxialen Geometrie genau auf der Rotationsachse A10 des Rotors.

Figur 3 zeigt eine Querschnittsdarstellung eines weiteren herkömmlichen elektrischen Antriebs 3, bei welchem ebenfalls das Zentrum Z der Magnetvorrichtung 30 auf der Rotationsachse A10 des Rotors liegt. Der Rotor 10 ist hier nur sehr schematisch dargestellt und grob in ein radial innenliegendes Rotorjoch 21 und in eine radial außenliegende, von diesem getragene Ankerwicklung 20 unterteilt. In diesem Beispiel für den Stand der Technik weist die Magnetvorrichtung 30 des Stators nur zwei Magnetelemente 31 auf, welche hier jeweils als supraleitende Erregerspulen ausgebildet sind. Es kann sich beispielsweise um Kreisspulen oder aber auch um Rennbahnschleifen handeln. Diese beiden Erregerspulen 31 sind coaxial zu einer gemeinsamen magnetischen Dipolachse A30 angeordnet. Das Zentrum Z der Magnetvorrichtung liegt im Schnittpunkt der Achsen A10 und A30 und somit wiederum auf der Rotationsachse A10. Das von der Magnetvorrichtung erzeugte Magnetfeld ist hier durch Feldlinien B repräsentiert. Dabei ist im Bereich des Rotors auch für die hier vorliegende geringe Anzahl von nur zwei Magnetelementen 31 ein relativ starker radialer Anteil der magnetischen Flussdichte zu erkennen. Dies ist auf den flussformenden Effekt des weichmagnetischen Rotorjochs 21 zurückzuführen.

Die beiden supraleitenden Spulen 31 sind jeweils in einen separaten Kryostatbehälter 33 eingebettet und werden dort jeweils durch ein kryogenes Kühlmittel gekühlt. Das Zentrum Z der Magnetvorrichtung muss jedoch von dem Volumen der Kryostat-
5 taten und somit von kryogenem Kühlmittel freigehalten werden, da hier der Rotor 10 angeordnet ist. Figur 3 soll verdeutlichen, wie das Magnetfeld B geformt ist, wenn eine konzentrische Anordnung von Rotor 10 und Magnetvorrichtung 30 vorliegt, auch wenn die Magnetvorrichtung 30 hier mit nur zwei
10 Erregerspulen zumindest in ihrer Außenkontur deutlich von einer kreissymmetrischen Form abweicht.

In Figur 4 ist eine Schnittdarstellung einer elektrischen Antriebseinrichtung 3 aus einer Drohne nach einem ersten Beispiel der Erfindung gezeigt. Die Antriebseinrichtung weist
15 eine Magnetvorrichtung 30 auf, welche ähnlich wie in Figur 3 zwei separate Magnelemente 31 umfasst. Auch hier sind diese Magnelemente als supraleitende Erregerspulen ausgebildet, von denen im gezeigten Querschnitt jeweils zwei Spulenschenkel sichtbar sind. Die Grundform dieser Erregerspulen kann
20 grundsätzlich beliebig sein, wobei die dargestellten Flusslinien wiederum für eine kreisförmige Spulengeometrie berechnet wurden. Auch hier umgeben die beiden Erregerspulen 31 koaxial eine gemeinsame magnetische Dipolachse A30.

Im Unterschied zur Figur 3 weist die hier gezeigte Antriebseinrichtung zwei Rotoren 10 auf, welche nicht im Zentrum der Magnetvorrichtung, sondern exzentrisch dazu angeordnet sind. Die beiden Rotoren 10 umgeben die Magnetvorrichtung 30 in
25 diesem Beispiel symmetrisch. Dies ist jedoch nicht unbedingt nötig, und es reicht grundsätzlich aus, wenn nur ein einziger solcher Rotor vom Zentrum der Magnetvorrichtung beabstandet angeordnet ist. Der Abstand d zwischen den lokalen Rotationsachsen A10 der Rotoren 10 und dem Zentrum Z der Magnetvorrichtung ist hier so groß gewählt, dass die beiden Rotoren
30 vollständig außerhalb der Magnetvorrichtung liegen. Wie durch die gezeigten Feldlinien angedeutet, kann trotz dieser exzentrischen Anordnung im Bereich der Rotoren 10 noch ein aus-

reichend hoher radialer Fluss gegeben sein. Dies gilt insbesondere für supraleitende Erregerspulen 31, mit denen generell eine sehr hohe magnetische Flussdichte erzielt werden kann. Beim Beispiel der Figur 4 bildet jeder der beiden Rotoren 10 zusammen mit der Magnetvorrichtung 30 eine Radialflussmaschine aus. Das weichmagnetische Rotorjoch 21 bewirkt dabei jeweils eine radiale Flussformung in der Umgebung des jeweiligen Rotors 10. Der radiale Fluss ist hier nicht punktsymmetrisch bezüglich des Rotorzentrums, aber auch beim Beispiel der Figur 3 wurde eine solche Symmetrie nicht erreicht, und die Abweichung kann bei ausreichend hoher Gesamtflussdichte toleriert werden.

Für die magnetische Flussdichte im Bereich der einzelnen Rotoren ist es günstig, wenn der Abstand der Rotoren von der magnetischen Dipolachse A30 nicht zu groß gewählt ist. Im gezeigten Beispiel beträgt dieser Abstand nur wenig mehr als der äußere Durchmesser D der beiden Erregerspulen.

Beim Beispiel der Figur 4 sind die beiden Erregerspulen zusammen in einen übergeordneten Badkryostaten 33 eingebettet und werden dort durch ein die beiden Spulen umspülendes kryogenes Kühlmittel 34 gekühlt. Bei diesem Kühlmittel kann es sich beispielsweise um flüssigen Wasserstoff oder auch um flüssigen Stickstoff oder ein anderes geeignetes Kühlmittel handeln. Da hier das Zentrum Z der Magnetvorrichtung nicht für den Rotor freigehalten werden muss, kann das Volumen eines solchen gemeinsamen Kryostatbehälters 33 vergleichsweise groß gewählt sein, ohne dass dabei der insgesamt benötigte Bauraum zu stark ansteigt. Der flüssige Wasserstoff kann besonders vorteilhaft zusätzlich zum Betrieb einer optional in der Drohne vorhandenen Brennstoffzelle genutzt werden.

Die gezeigte Anordnung von zwei Magnelementen 31 ist nur beispielhaft zu verstehen. Grundsätzlich reicht auch ein solches Magnelement aus, um ein geeignetes Magnetfeld sowohl für den Betrieb des wenigstens einen Rotors als auch zur Minenauslösung zu erzeugen. Alternativ können aber auch noch

mehr Magnetelemente vorhanden sein und diese können auch unterschiedliche Orientierungen aufweisen, um insgesamt ein höherpoliges Magnetfeld zu erzeugen.

5 Die Magnetvorrichtung kann optional um den Kryostatbehälter 33 herum noch ein zusätzliches Magnetvorrichtungsgehäuse 32 aufweisen. Dies kann auch Teil eines äußeren Drohnengehäuses sein oder zumindest lokal in ein solches Drohnengehäuse über-
10 gehen. Auch die Rotoren 10 können jeweils optional von eigenen Gehäusen umgeben sein, was nur beispielhaft im linken Teil der Zeichnung durch das Rotorgehäuse 22 angedeutet ist.

In Figur 5 ist eine Schnittdarstellung einer elektrischen Antriebseinrichtung 3 aus einer Drohne nach einem zweiten
15 Beispiel der Erfindung gezeigt. Die Magnetvorrichtung 30 ist hier insgesamt ähnlich ausgestaltet wie beim Beispiel der Figur 4. Sie umfasst auch hier zwei supraleitende Erregerspulen 31, welche in einem gemeinsamen Kryostatbehälter 33 angeordnet sind und koaxial eine gemeinsame Dipolachse A30 umgeben.

20 Auch hier weist die Antriebseinrichtung 3 zwei einzelne Rotoren 10 auf, welche außerhalb der Magnetvorrichtung liegen. Im Unterschied zum Beispiel der Figur 4 liegen die beiden Rotoren jedoch hier auf der magnetischen Dipolachse A30. Durch
25 diese Anordnung auf der Dipolachse kann eine besonders hohe magnetische Flussdichte im Bereich der Rotoren 10 erreicht werden. Die Flusskomponente in Richtung der magnetischen Dipolachse A30 ist zwar höher als senkrecht dazu, aber durch
30 das weichmagnetische Rotorjoch 21 kann trotzdem ein ausreichend hoher radialer Fluss über den ganzen Umfang des jeweiligen Rotors erreicht werden, um die Rotoren nach dem Betrieb der Radialflussmaschine elektrisch antreiben zu können.

Die dargestellten magnetischen Feldlinien B wurden ähnlich
35 wie bei Figur 4 für den Fall berechnet, dass kein zusätzliches flussführendes Material im Inneren der Magnetvorrichtung 30 angeordnet ist. Gemäß einer alternativen Ausführungsform können im Inneren der Magnetvorrichtung 30 jedoch ein oder

mehrere zusätzliche flussführende Elemente aus weichmagnetischem Material vorliegen. Beispielfhaft ist hier durch gestrichelte Linien ein solches optionales flussführendes Element 35 gezeigt, welches als Hohlkugel um das Zentrum Z herum angeordnet ist. Der Einfluss dieses Elements auf den Feldverlauf ist hier zwar nicht wiedergegeben, aber es ergibt sich vor allem außerhalb der Magnetvorrichtung 30 eine deutliche Stärkung des magnetischen Dipolmoments bzw. der Drehmomentdichte des gebildeten elektrischen Antriebs.

In Figur 6 ist eine Schnittdarstellung einer elektrischen Antriebseinrichtung 3 aus einer Drohne nach einem dritten Beispiel der Erfindung gezeigt. Auch hier ist die Magnetvorrichtung 30 ähnlich ausgestaltet wie bei den beiden vorhergehenden Beispielen. Im Unterschied dazu liegen hier jedoch vier Rotoren 10 vor, die um die Magnetvorrichtung verteilt angeordnet sind. Durch das Zusammenspiel eines jeden Rotors 10 mit der Magnetvorrichtung wird wiederum jeweils eine eigene Radialflussmaschine ausgebildet. Jeder Rotor 10 ist mit einem vergleichsweise geringen Abstand von der magnetischen Dipolachse A30 angeordnet, so dass dort eine vergleichsweise hohe magnetische Flussdichte vorliegt. Die lokale Ausrichtung der einzelnen Rotationsachsen A10 ist beim dritten Ausführungsbeispiel wie auch bei beiden vorhergehenden Beispielen senkrecht zur Dipolachse A30. Diese Ausrichtung muss jedoch nicht fest sein, sondern es kann sich beispielsweise lediglich um eine Grundstellung handeln, aus der heraus die einzelnen Rotoren 10 schwenkbar sind. Mit einer solchen temporären Änderung der Ausrichtung kann eine besonders agile Ansteuerung bzw. Manövrierung der Drohne erreicht werden.

Bei allen bisherigen Beispielen wird insgesamt durch jeden der Rotoren eine Radialflussmaschine gebildet. Es sind jedoch auch andere Konfigurationen denkbar und unter Umständen vorteilhaft, bei denen insbesondere eine oder mehrere Axialflussmaschine gebildet werden können. So können sich beispielsweise gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel die beiden Rotoren 10 in einer ähnlichen Position befinden wie beim

Beispiel der Figur 5, aber sie können mit ihren Rotationsachsen parallel zur magnetischen Polachse A30 ausgerichtet sein. So kann jeder der Rotoren dann zusammen mit der Magnetvorrichtung eine Axialflussmaschine ausbilden.

5

In Figur 7 ist ein Ausführungsbeispiel für eine Drohne 1 in perspektivischer Darstellung gezeigt. Gezeigt ist eine Drohne, welche in ihrer äußeren Form deutlich von der hydrodynamisch besonders günstigen länglichen und rotationssymmetrischen Torpedoform abweicht. Sie ist in ihrem bezüglich der Haupt-Fortbewegungsrichtung A1 vorderen Bereich deutlich verdickt und zwar nicht rotationssymmetrisch, sondern nach Art einer Scheibe, so dass die Drohne in einer der Querrichtungen deutlich breiter ist als in der anderen. In diesem verdickten Bereich ist die Magnetvorrichtung angeordnet, welche hier von einem eigenen Magnetvorrichtungsgehäuse 32 gekapselt ist. Es kann sich dabei beispielsweise um eine koaxiale Anordnung von mehreren kreiszylindrischen Erregerspulen handeln, welche ähnlich wie in den Beispielen der Figuren 4 bis 6 koaxial um eine gemeinsame magnetische Dipolachse A30 gestapelt sind. Im Vergleich zu den herkömmlichen Drohnen der Figuren 1 bis 3 können durch die Anordnung in dem verdickten Bereich der Drohne deutlich größere Spulenflächen (senkrecht zur Dipolachse) erreicht werden.

25

Beim Beispiel der Figur 7 weist die Antriebseinrichtung der Drohne außerdem zwei Rotoren 10 auf, welche seitlich neben der Magnetvorrichtung angeordnet sind, so dass sie von der magnetischen Dipolachse A30 beabstandet sind. Dies entspricht einer Konfiguration ähnlich wie beim Beispiel der Figur 4. Die einzelnen Rotoren können optional aus der gezeigten Grundausrichtung heraus schwenkbar sein, um eine gezielte Richtungssteuerung der Drohne zu bewirken. Die Zahl und Anordnung der einzelnen Rotoren ist jedoch nur beispielhaft zu verstehen, und es sind viele andere Konfigurationen möglich.

35

Insgesamt wird durch die erfindungsgemäße exzentrische Anordnung von Magnetvorrichtung und Rotor(en) erreicht, dass ei-

nerseits ein großes Feld von Ausgestaltungsvarianten eröffnet wird und dass andererseits dabei besonders ausgedehnte Magne-
telemente realisiert werden können, was zur Erzielung von be-
sonders hohen magnetischen Dipolmomenten beiträgt. Diese mag-
5 netischen Felder können innerhalb der Drohne für den elektri-
schen Antrieb und außerhalb der Drohne zur Auslösung der See-
minen genutzt werden.

Bezugszeichenliste

	1	Drohne
	3	elektrische Antriebseinrichtung
5	5	Antriebsschraube
	7	Rotorwelle
	10	Rotor
	11	Stator
	13	Motorgehäuse
10	20	Ankerwicklung
	21	Rotorjoch
	22	Rotorgehäuse
	30	Magnetvorrichtung
	31	Magnetelement (Erregerspule)
15	32	Magnetvorrichtungsgehäuse
	33	Kryostatbehälter
	34	kryogenes Kühlmittel (flüssiger Wasserstoff)
	35	flussführendes Element
	A1	Hauptachse der Drohne (Haupt-Fortbewegungsrichtung)
20	A10	Rotationsachse
	A30	magnetische Dipolachse
	B	Magnetfeld
	d	Abstand
	D	Außenabmessung des Magnetelements
25	N	Nordpol
	S	Südpol
	Z	Zentrum der Magnetvorrichtung

Patentansprüche

1. Drohne (1) zur Auslösung von Seeminen, welche eine elektrische Antriebseinrichtung (3) zur Fortbewegung im Wasser aufweist,
- 5 - wobei die elektrische Antriebseinrichtung (3) eine Magnetvorrichtung (30) zur Ausbildung eines Magnetfeldes (B) und wenigstens einen elektrisch angetriebenen Rotor (10) umfasst,
- 10 - wobei die Magnetvorrichtung (30) ein oder mehrere Magnetelemente (31) aufweist und dazu ausgelegt ist, sowohl das externe Magnetfeld zur magnetischen Auslösung der Seeminen als auch ein Erregerfeld für die elektromagnetische Wechselwirkung mit dem Rotor (10) auszubilden,
- 15 - wobei der wenigstens eine Rotor (10) eine lokale Rotationsachse (A10) aufweist, welche von dem Zentrum (Z) der Magnetvorrichtung (30) beabstandet ist.
2. Drohne (1) nach Anspruch 1, bei welcher der Abstand (d) zwischen der lokalen Rotationsachse (A10) des wenigstens einen Rotors (10) und dem Zentrum (Z) der Magnetvorrichtung (30) so groß gewählt ist, dass der jeweilige Rotor (10) außerhalb der Magnetvorrichtung (30) liegt.
- 20 3. Drohne (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei welcher die Magnetvorrichtung (30) und der wenigstens eine Rotor in getrennten Gehäusen (22,32) angeordnet ist.
4. Drohne (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das wenigstens eine Magnelement (31) als elektrische Erregerspule oder als Permanentmagnet ausgebildet ist.
- 30 5. Drohne nach Anspruch 4, bei welcher das wenigstens eine Magnelement (31) eine supraleitende Erregerspule ist.
- 35 6. Drohne nach Anspruch 5, bei welcher die Magnetvorrichtung (30) einen Kryostatbehälter (33) zur Kühlung der wenigstens einen supraleitenden Erregerspule (31) umfasst,

- wobei sich der Kryostatbehälter (33) über das Zentrum (Z) der Magnetvorrichtung (30) erstreckt.

7. Drohne (1) nach Anspruch 6, bei welcher der Kryostatbehälter (33) ein Badkryostat ist, welcher zur Befüllung mit einem flüssigen kryogenen Kühlmittel (34) ausgelegt ist.

8. Drohne nach (1) einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Magnetvorrichtung (30) wenigstens eine magnetische Dipolachse (D) aufweist, wobei die Rotationsachse (A10) des jeweiligen Rotors (10) um nicht mehr als das Zehnfache der größten Außenabmessung (D31) der einzelnen Magnelemente (31) von der magnetischen Dipolachse (A30) beabstandet ist.

9. Drohne (1) nach Anspruch 8, bei welcher der wenigstens eine Rotor (10) auf einer der magnetischen Dipolachsen (A30) angeordnet ist.

10. Drohne (1) nach Anspruch 9, bei welcher die Rotationsachse (A10) des Rotors (10) senkrecht zur magnetischen Dipolachse (A30) ausgerichtet ist.

11. Drohne (1) nach Anspruch 8 oder 9, bei welcher die Rotationsachse (A10) des Rotors (10) parallel zur magnetischen Dipolachse (A30) ausgerichtet ist.

12. Drohne (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Magnetvorrichtung (30) dazu ausgelegt ist, als externes Magnetfeld ein magnetisches Wechselfeld auszubilden.

13. Drohne (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei welcher die Magnetvorrichtung (30) dazu ausgelegt ist, als externes Magnetfeld ein magnetisches Gleichfeld auszubilden.

14. Drohne (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche mehrere Rotoren (10) aufweist.

15. Drohne (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche im Inneren der Magnetanordnung (30) ein oder mehrere flussführende Elemente (35) aus weichmagnetischem Material aufweist.

FIG 1

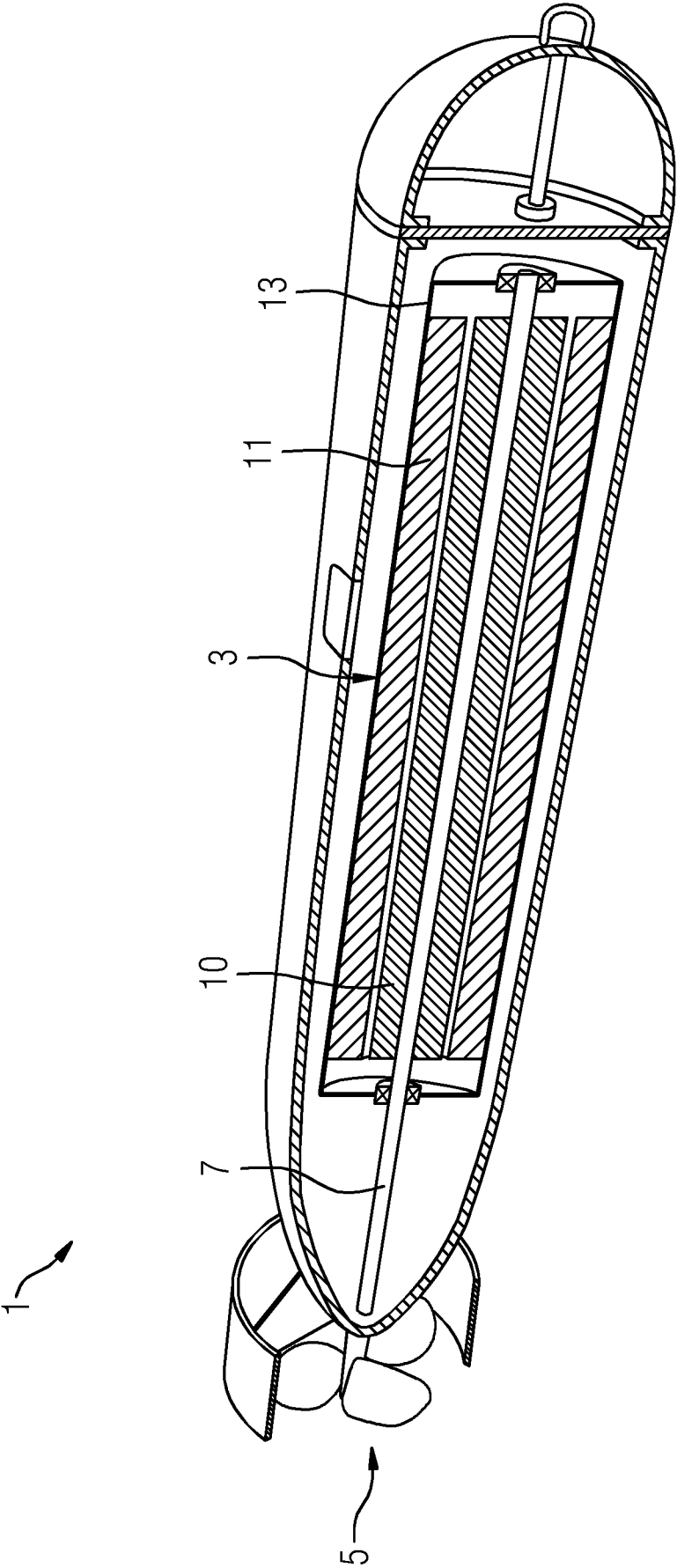


FIG 2

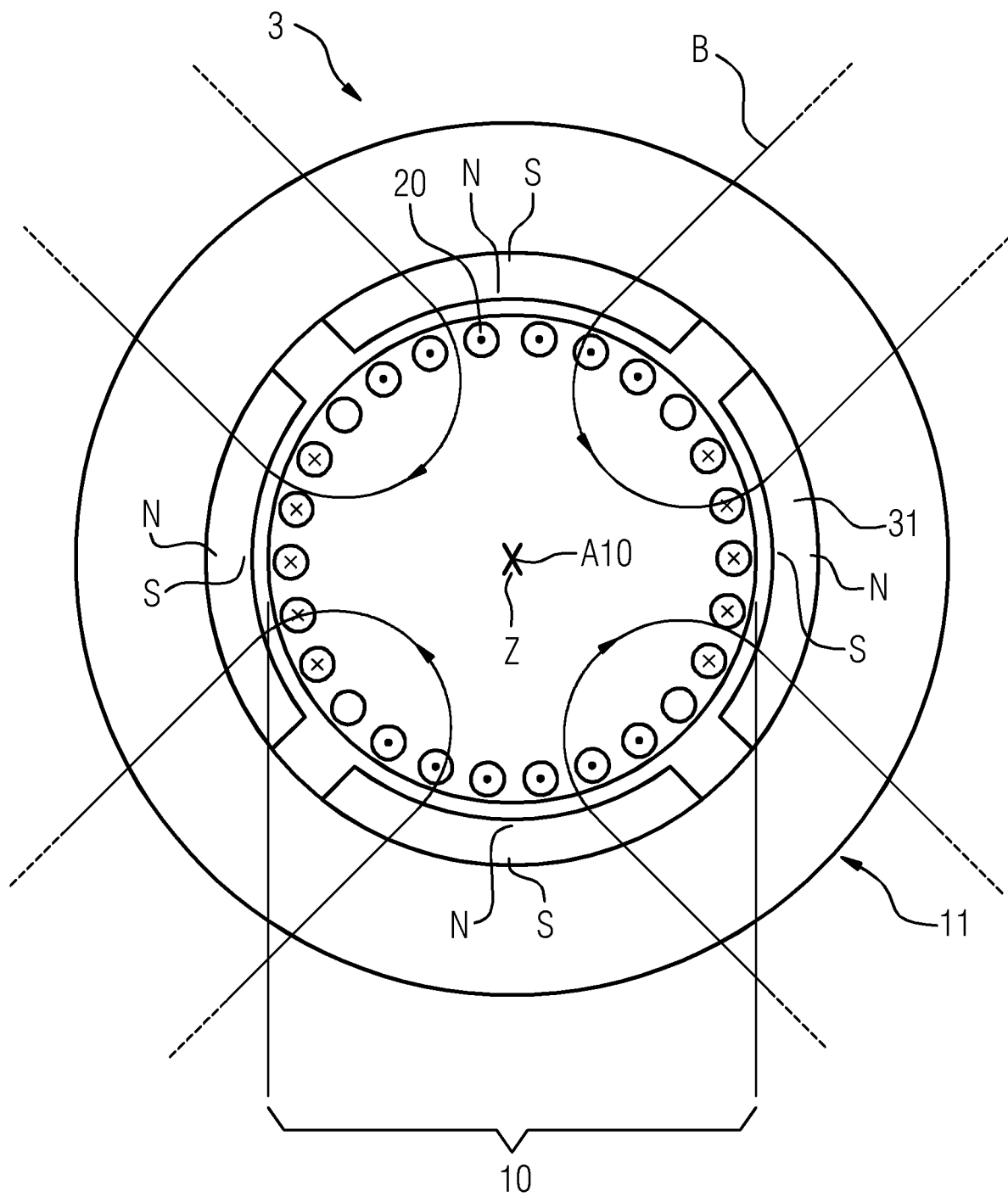


FIG 3

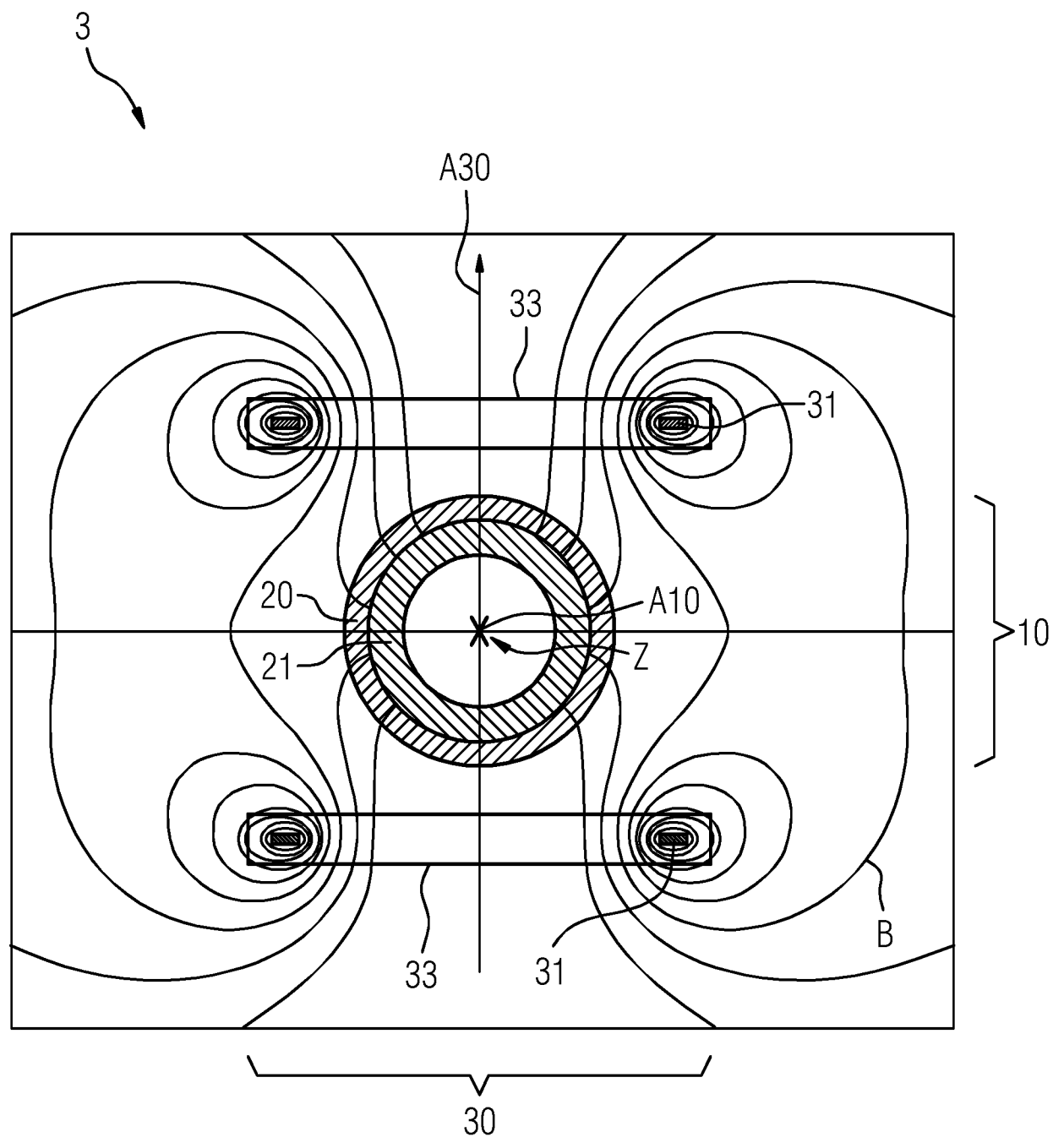


FIG 4

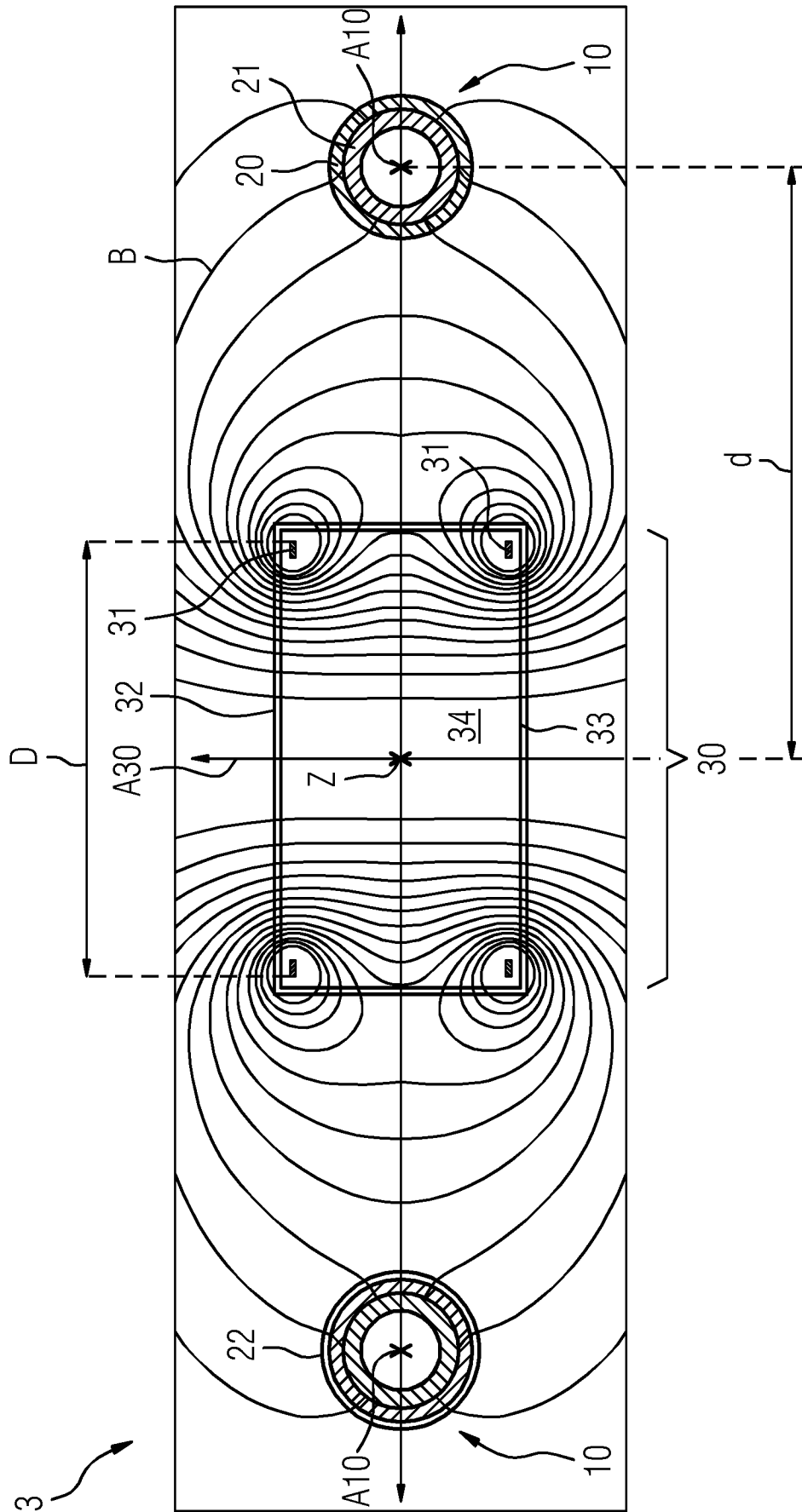


FIG 5

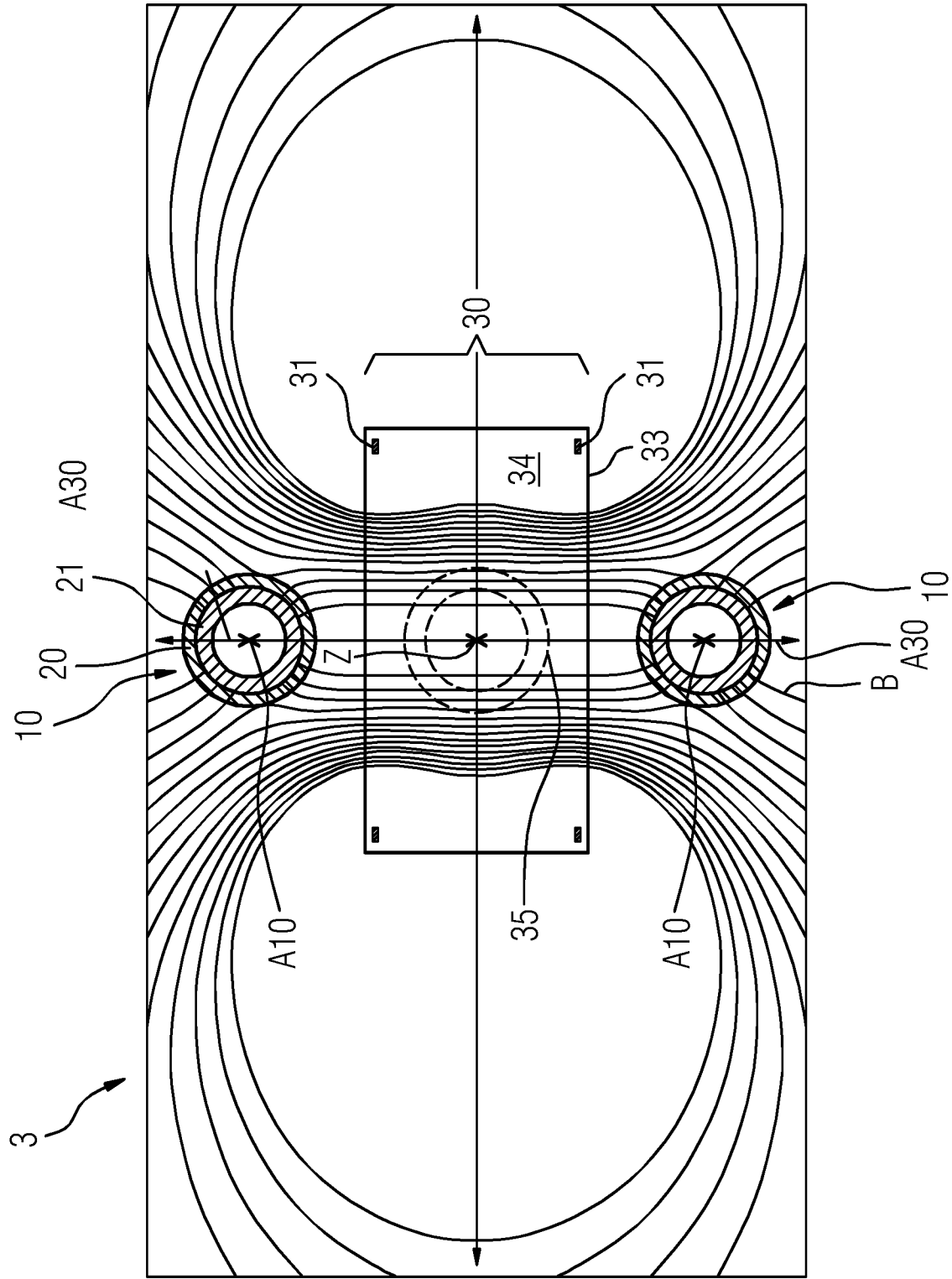
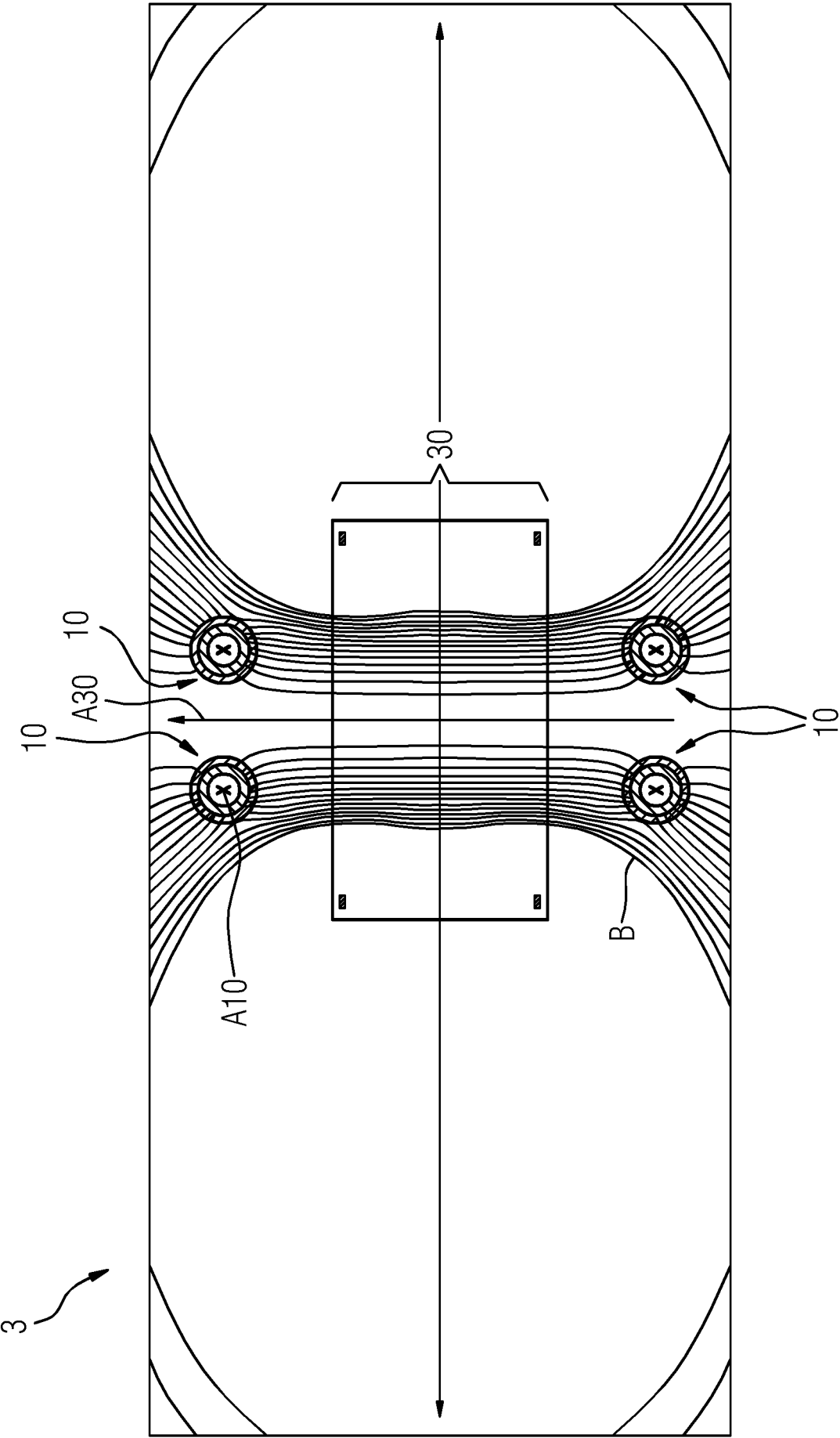
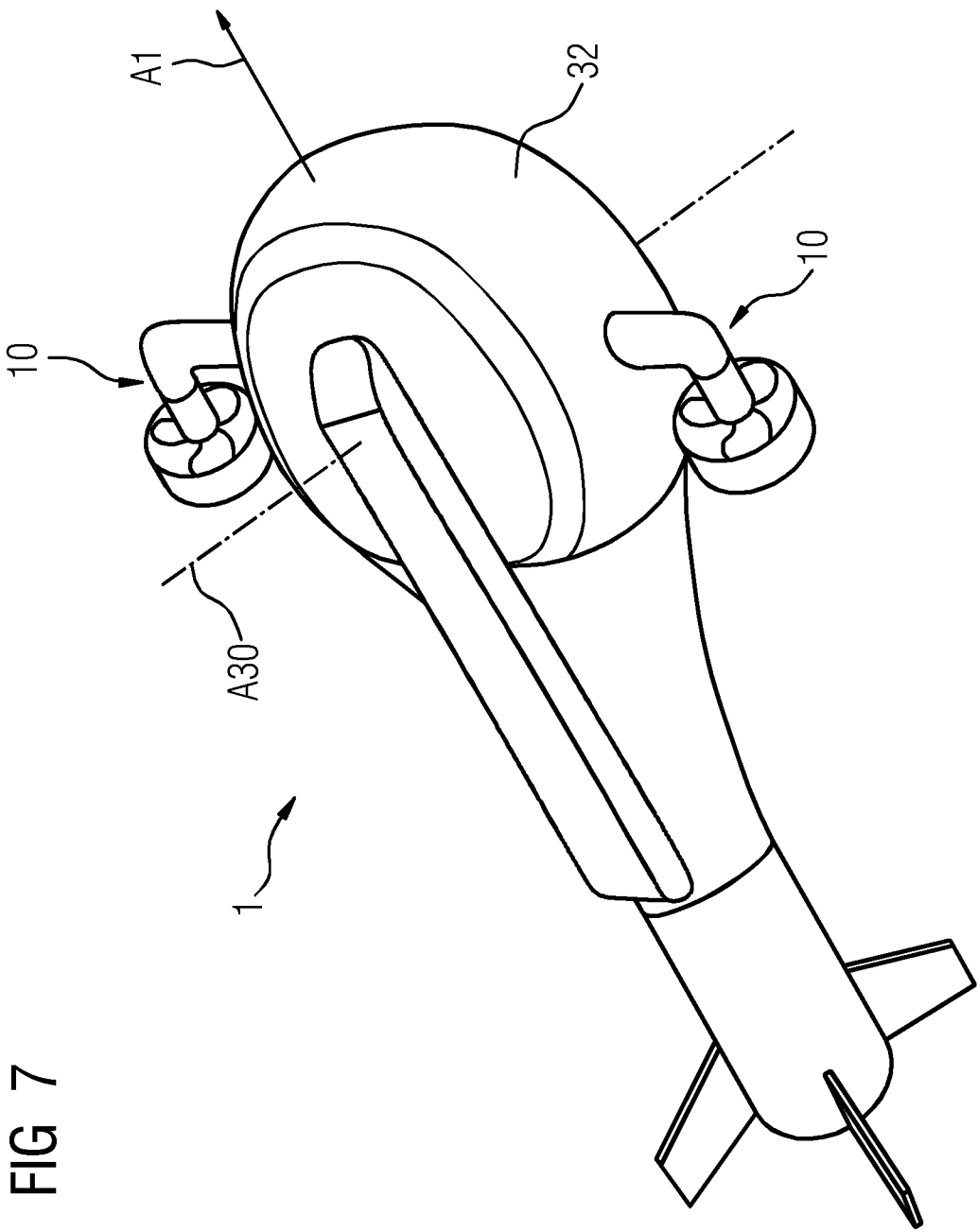


FIG 6





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/059166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02K 23/04**(2006.01)i; **B63G 7/06**(2006.01)i; **H02K 55/00**(2006.01)i

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; B63J; B63G

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102016203341 A1 (SIEMENS AG [DE]) 07 September 2017 (2017-09-07) cited in the application figure 2	1
A	DE 102018217211 A1 (SIEMENS AG [DE]) 09 April 2020 (2020-04-09) cited in the application figure 3	1
A	WO 2015192181 A1 (HERON ENERGY PTE LTD [SG]; GUINA ANTE [AU]) 23 December 2015 (2015-12-23) figure 77	1



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

09 July 2021

Date of mailing of the international search report

21 July 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

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

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

Authorized officer

Le Chenadec, Hervé

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/059166

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102016203341	A1	07 September 2017	AU	2017225324	A1	23 August 2018
				DE	102016203341	A1	07 September 2017
				EP	3405387	A1	28 November 2018
				ES	2800156	T3	28 December 2020
				US	2019092440	A1	28 March 2019
				WO	2017148642	A1	08 September 2017
DE	102018217211	A1	09 April 2020	AU	2019358345	A1	08 April 2021
				DE	102018217211	A1	09 April 2020
				EP	3830513	A1	09 June 2021
				WO	2020074222	A1	16 April 2020
WO	2015192181	A1	23 December 2015	BR	112016029587	A2	22 August 2017
				CA	2952553	A1	23 December 2015
				CN	106664000	A	10 May 2017
				EP	3158628	A1	26 April 2017
				JP	2017518730	A	06 July 2017
				KR	20170023943	A	06 March 2017
				RU	2017113426	A	18 October 2018
				SG	11201610544T	A	27 January 2017
				US	2017133900	A1	11 May 2017
				WO	2015192181	A1	23 December 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H02K23/04 B63G7/06 H02K55/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H02K B63J B63G

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2016 203341 A1 (SIEMENS AG [DE]) 7. September 2017 (2017-09-07) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 2	1
A	DE 10 2018 217211 A1 (SIEMENS AG [DE]) 9. April 2020 (2020-04-09) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 3	1
A	WO 2015/192181 A1 (HERON ENERGY PTE LTD [SG]; GUINA ANTE [AU]) 23. Dezember 2015 (2015-12-23) Abbildung 77	1



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

9. Juli 2021

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/07/2021

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

Le Chenadec, Hervé

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/059166

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016203341 A1	07-09-2017	AU 2017225324 A1	23-08-2018
		DE 102016203341 A1	07-09-2017
		EP 3405387 A1	28-11-2018
		ES 2800156 T3	28-12-2020
		US 2019092440 A1	28-03-2019
		WO 2017148642 A1	08-09-2017

DE 102018217211 A1	09-04-2020	AU 2019358345 A1	08-04-2021
		DE 102018217211 A1	09-04-2020
		EP 3830513 A1	09-06-2021
		WO 2020074222 A1	16-04-2020

WO 2015192181 A1	23-12-2015	BR 112016029587 A2	22-08-2017
		CA 2952553 A1	23-12-2015
		CN 106664000 A	10-05-2017
		EP 3158628 A1	26-04-2017
		JP 2017518730 A	06-07-2017
		KR 20170023943 A	06-03-2017
		RU 2017113426 A	18-10-2018
		SG 11201610544T A	27-01-2017
		US 2017133900 A1	11-05-2017
		WO 2015192181 A1	23-12-2015
