

(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
26. Juni 2025 (26.06.2025)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2025/132007 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F03B 3/14 (2006.01) F03B 13/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/085990

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Dezember 2024 (12.12.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 213 223.0
21. Dezember 2023 (21.12.2023) DE

(71) Anmelder: AKTIEBOLAGET SKF [SE/SE]; 41550 Göteborg (SE).

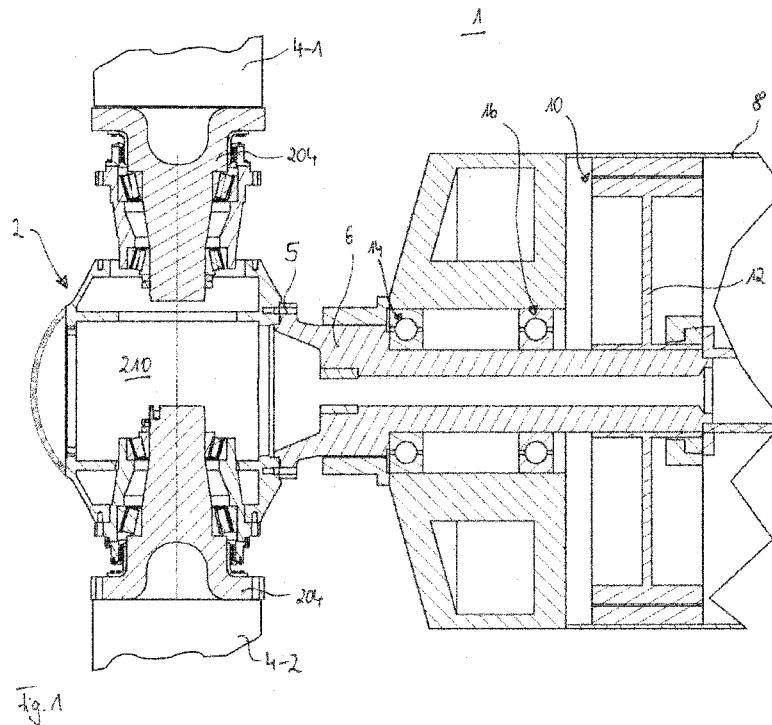
(72) Erfinder: MEMMEL, Marcel Alfred; Oerlenbacher Straße 59, 97714 Ebenhausen (DE). HOFMANN, Matthias; Frankenstrasse 22, 97422 Schweinfurt (DE).

(74) Anwalt: KUHSTREBE, Jochen; Gunnar-Wester-Str. 12, 97421 Schweinfurt (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,

(54) Title: UNDERWATER TURBINE

(54) Bezeichnung: UNTERWASSERTURBINE



(57) Abstract: The invention relates to an underwater turbine (1) having a rotor hub (2) which is connected to a rotor main shaft (6) for conjoint rotation and is designed to drive the rotor main shaft (6), wherein the rotor main shaft (6) extends in a nacelle (8) connected to the rotor hub (2) via the rotor main shaft (6) and there drives a generator (10) received therein, wherein the rotor hub (2) is furthermore designed to support at least one rotor blade (4), wherein the at least one rotor blade (4) is secured to a rotor blade shaft (204) and wherein the rotor blade shaft (204) is rotatably supported on the rotor hub (2) and has a first rotor-hub-side end (208), which projects into an interior of the rotor hub (2), and a second sea-side end (207) which can be secured to the respective rotor blade (4) for conjoint rotation, wherein in each case the rotor-hub-side end (208) of the rotor blade shafts (204) is designed to interact with a rotor blade adjustment

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

arrangement (300) in order to rotate the at least one rotor blade shaft (204), wherein the rotor blade adjustment arrangement (300) furthermore has a translationally movable push rod (332) which has a first rotor-hub-side end (334) which is designed to project into the rotor hub (2) of the underwater turbine (1) and has at least one connection device (340) which is designed to be connectable to the rotor blade shaft (204) in such a manner that the translational movement of the push rod (332) is converted into a rotational movement of the at least one rotor blade shaft (204), and wherein the push rod (332) has a second nacelle-side end (336) which is designed to extend in the direction of the nacelle (8) of the underwater turbine (1), wherein the rotor blade adjustment arrangement (330) furthermore has a locking device (480) which is designed to fix the push rod (332) in at least one predefined translational position.

(57) Zusammenfassung: Offenbart wird Unterwasserturbine (1) mit einer Rotornabe (2), die drehfest mit einer Rotorhauptwelle (6) verbunden ist und dazu ausgelegt ist, die Rotorhauptwelle (6) anzutreiben, wobei sich die Rotorhauptwelle (6) in eine über die Rotorhauptwelle (6) mit der Rotornabe (2) verbundenen Gondel (8) erstreckt und dort einen darin aufgenommenen Generator (10) antreibt, wobei die Rotornabe (2) weiterhin dazu ausgelegt ist, zumindest ein Rotorblatt (4) zu tragen, wobei das mindestens eine Rotorblatt (4) an einer Rotorblattwelle (204) befestigt ist und wobei die Rotorblattwelle (204) drehbar an der Rotornabe (2) gelagert ist und ein erstes rotornabenseitiges Ende (208), das in einen Innenraum der Rotornabe (2) ragt, und ein zweites seeseitiges Ende (207), das drehfest an dem jeweiligen Rotorblatt (4) befestigbar ist, aufweist, wobei jeweils das rotornabenseitige Ende (208) der Rotorblattwellen (204) dazu ausgelegt ist, mit einer Rotorblattverstellanordnung (300) zusammenzuwirken, um die mindestens eine Rotorblattwelle (204) zu drehen, wobei die Rotorblattverstellanordnung (300) weiterhin eine translatorisch bewegbare Schubstange (332) aufweist, die ein erstes rotornabenseitiges Ende (334) aufweist, das dazu ausgelegt ist, in die Rotornabe (2) der Unterwasserturbine (1) hineinzuragen und mindestens eine Verbindungsvorrichtung (340) aufweist, die dazu ausgelegt ist, mit der Rotorblattwelle (204) derart verbindbar zu sein, dass die translatorische Bewegung der Schubstange (332) in eine rotatorische Bewegung der mindestens einen Rotorblattwelle (204) umgesetzt wird, und wobei die Schubstange (332) ein zweites gondelseitiges Ende (336) aufweist, das dazu ausgelegt ist, sich in Richtung der Gondel (8) der Unterwasserturbine (1) zu erstrecken, wobei die Rotorblattverstellanordnung (330) weiterhin eine Verriegelungsvorrichtung (480) aufweist, die dazu ausgelegt ist, die Schubstange (332) in zumindest einer vorgegebenen translatorischen Position zu fixieren.

B e s c h r e i b u n g

Unterwasserturbine

Technisches Gebiet

Vorliegende Erfindung betrifft eine Unterwasserturbine gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Technischer Hintergrund

Rotorblätter von Unterwasserturbinen sind üblicherweise an einer Rotornabe befestigt und können bezüglich der Rotornabe drehbar gelagert sein. Durch Verdrehen der Rotorblätter kann die Antriebsleistung variiert werden. Darüber hinaus dient die Rotorblattverstellung dazu, die Rotorblätter derart zu drehen, dass kein Drehmoment von den Rotorblättern in die Rotornabe eingeleitet wird, und damit die Turbine insgesamt zum Stillstand kommen kann. In einigen Ausführungen wird die Blattverstellung genutzt, um sich an wechselnden Wasserströmungsrichtungen anpassen zu können, ohne dass die gesamte Unterwasserturbine gedreht werden muss.

Dazu wird an den Rotorblättern oder an den Rotorblattwellen eine Antriebseinheit vorgesehen, die eine Verdrehung der Rotorblätter erlaubt.

Derartige Antriebseinheiten sind jedoch relativ ausladend und beanspruchen deshalb viel Bauraum, der insbesondere bei kleineren Anlagen nicht vorhanden ist.

Es ist deshalb Aufgabe vorliegender Erfindung, eine Rotornabenanordnung bereitzustellen, die auch bei kleineren Unterwasserturbinen eine Blattverstellung ermöglicht.

Zusammenfassung der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch eine Unterwasserturbine gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Im Folgenden wird eine Unterwasserturbine vorgestellt, die eine Rotornabe aufweist, die dazu ausgelegt ist, eine Rotorhauptwelle anzutreiben, wobei sich die Rotorhauptwelle in eine über die Rotorhauptwelle mit der Rotornabe verbundenen Gondel erstreckt und dort einen darin aufgenommenen Generator antreibt. Dabei kann beispielsweise die Rotorhauptwelle mittels Befestigungsmittel, beispielsweise Schrauben, drehfest an der Rotornabe angebracht sein.

Weiterhin ist die Rotornabe dazu ausgelegt, zumindest ein Rotorblatt zu tragen, wobei das Rotorblatt an einer Rotorblattwelle befestigt ist und wobei die Rotorblattwelle drehbar an der Rotornabe gelagert ist und ein erstes rotornabenseitiges Ende, das in einen Innenraum der Rotornabe ragt, und ein zweites seeseitiges Ende, das drehfest an dem jeweiligen Rotorblatt befestigbar ist, aufweist, wobei jeweils das rotornabenseitige Ende der Rotorblattwellen dazu ausgelegt ist, mit einer Rotorblattverstellanordnung zusammenzuwirken, um die mindestens eine Rotorblattwelle zu drehen.

Um auch bei kleineren Unterwasserturbine, die wenig Bauraum zur Verfügung stellen eine Rotorblattverstellanordnung vorzusehen, weist die Rotorblattverstellanordnung selbst eine translatorisch bewegbare Schubstange auf, die ein erstes rotornabenseitiges Ende hat, das dazu ausgelegt ist, in die Rotornabe der Unterwasserturbine hineinzuragen und mindestens eine Verbindungsvorrichtung aufweist, die dazu ausgelegt ist, mit der Rotorblattwelle, derart verbindbar zu sein, dass die translatorische Bewegung der Schubstange in eine rotatorische Bewegung der mindestens einen Rotorblattwelle umgesetzt wird, und wobei die Schubstange ein zweites gondelseitiges Ende aufweist, das dazu ausgelegt ist, sich in Richtung der Gondel der Unterwasserturbine zu erstrecken.

Um nicht unnötig Energie aufwenden zu müssen, um die Rotorblätter in einer bestimmten Position zu halten oder um beispielsweise bei einem Stromausfall oder einer Störung sicherzustellen, dass die Unterwasserturbine automatisch stillgelegt wird, ist, wird weiterhin vorgeschlagen, dass die Unterwasserturbine weiterhin eine Verriegelungsvorrichtung aufweist, die dazu ausgelegt ist, die Schubstange in zumindest einer vorgegebenen translatorischen Position zu fixieren.

Dadurch können die Rotorblätter in einer bestimmten Position, beispielsweise einer Fahnenstellung, in der von der Strömung kein Drehmoment auf die Rotorblätter ausgeübt werden kann, festgelegt werden. Bei Wartungsarbeiten, oder wenn beispielsweise eine Energiezufuhr zur Rotorblattverstellung ausfällt, ist es vorteilhaft, wenn die gesamte Unterwasserturbine stillgelegt ist. Deshalb ist insbesondere bevorzugt, eine Sperrvorrichtung zu verwenden, die in die Fahnenstellungsposition vorgespannt ist.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die Verriegelungsvorrichtung mindestens ein verstellbares Sperrelement auf, das mit der Schubstange oder einer die Schubstange translatorisch bewegenden Komponente des Linearantriebs zusammenwirkt, um die Schubstange in ihrer translatorischen Position zu fixieren. Da sich die Schubstange durch fast die gesamte Unterwasserturbine erstreckt, kann eine Sperrvorrichtung an vielen Orten vorgesehen sein, an denen ein Bauraum vorhanden ist. So kann auch bei kompakten Unterwasserturbinen eine Sperrvorrichtung vorgesehen werden.

Dabei ist insbesondere vorteilhaft, wenn die Schubstange an ihrer Mantelfläche mindestens eine Aussparung aufweist, die dazu ausgelegt ist, mit dem Sperrelement zusammenzuwirken. Dadurch kann das Sperrelement direkt auf die Schubstange einwirken.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein Sperrelement des mindestens einen Sperrelements an der Rotorhauptwelle angeordnet.

Alternativ oder zusätzlich ist ein Sperrelement des mindestens einen Sperrelements an einem den Linearantrieb umgebenden Linearantriebsgehäuse oder dem Linearantrieb selbst angeordnet. Dabei ist vorzugsweise das Linearantriebsgehäuse drehfest an der Rotorhauptwelle angebracht.

Je nach Ausgestaltung der Unterwasserturbine kann ein oder mehrere Sperrelemente vorgesehen sein, die auch an unterschiedlichen Stellen angeordnet sein können. Dadurch kann ein zu Verfügung stehender Bauraum optimal ausgenutzt werden.

Die drehfeste Anbindung des Linearantriebsgehäuse an die Rotorhauptwelle sorgt dabei weiterhin dafür, dass die Kraft, die nötig ist, um für eine Verstellung der Rotorblätter zu sorgen, direkt an der Rotorhauptwelle statt an der Gondel abgestützt werden kann. Dadurch

müssen die Lagereinheiten, mit denen die Rotorhauptwelle in der Gondel drehbar gelagert ist, nicht dazu ausgelegt sein, diese Kraft aufzunehmen, was bei einer gondelseitigen Abstützung des Linearantriebs nötig wäre. Dadurch können die Lagereinheit der Rotorhauptwellenlagerung kleiner dimensioniert werden und können allein auf die Aufgabe die Rotorhauptwellen zu lagern optimiert sein.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der Linearantrieb weiterhin einen translatorischen auf die Schubstange einwirkenden Kolben auf, der ein rotornabenseitiges Ende, mit dem er auf die Schubstange einwirkt, und ein gondelseitiges Ende, das mittels des Linearantriebs mit Kraft beaufschlagt wird, aufweist. Weiterhin sind das gondelseitige Ende der Schubstange und das rotornabenseitige Endes des Kolbens in einem translatorisch in dem Linearantriebsgehäuse verschiebbaren Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse aufgenommen.

Dadurch kann eine besonders einfache Kopplung zwischen Schubstange und Kolben geschaffen werden, die eine direkte Krafteinleitung der translatorischen Kraft des Kolbens auf die Schubstange ermöglicht.

Dabei ist vorzugsweise der Linearantrieb ein hydraulischer oder pneumatischer Linearantrieb ist und der Kolben mittels eines hydraulischen oder pneumatischen Arbeitsfluids translatorisch bewegbar. Dadurch kann eine große Kraft auf die Schubstange ausgeübt werden, die auch gegen einen hohen Wasserdruck, der auf die Rotorblätter wirkt, für eine Verstellung der Rotorblätter sorgen kann.

Um bei einem hydraulischen oder pneumatischen Linearantrieb eine Verstellung des Kolbens zu ermöglichen ist weiterhin bevorzugt, dass der Kolben in einem Kolbengehäuse aufgenommen ist, das den Kolben umgibt, und dazu ausgelegt ist, zumindest einen ersten Arbeitsraum für den Kolben zu definieren, wobei bei Beaufschlagung des ersten Arbeitsraums mit einem Arbeitsfluid der Kolben derart auf die Schubstange einwirkt, dass die Schubstange von einer ersten in eine zweite Position bewegbar ist.

Die erste Position kann eine sogenannte Fahnenstellung der Rotorblätter sein, also die Stellung, in der von den Rotorblättern kein Drehmoment übertragen wird. Mit anderen Worten sind die Rotorblätter aus der Strömung gedreht. Die Vorspannung in die erste Position

sorgt dabei vorteilhafterweise dafür, dass bei einem Stromausfall, oder bei einem Problem mit dem hydraulischen oder pneumatischen Linearantrieb, z. B. bei einer Störung der Pumpe, die Unterwasserturbine stillgelegt ist, so dass Wartungs- oder Reparaturarbeiten vorgenommen werden können.

Weiterhin kann zudem an dem Kolben ein Rückstellelement, insbesondere eine Feder, vorgesehen sein, die dazu ausgelegt ist, den Kolben in die erste Position vorzuspannen.

Alternativ oder zusätzlich ist das Kolbengehäuse jedoch weiterhin dazu ausgelegt, einen zweiten Arbeitsraum zu definieren, wobei bei Beaufschlagung des zweiten Arbeitsraums mit einem Arbeitsfluid der Kolben in die erste Position bewegbar ist. Dadurch können auch aktiv die Rotorblätter von der zweiten Position in die erste Position gedreht werden. Weiterhin ermöglicht diese Doppelwirkung des Kolbens, dass aktiv auch jede Zwischenstellung zwischen erster und zweiter Position angesteuert werden kann. Dabei kann die Feder auch als Unterstützungselement für die Rückstellung in die erste Position gesehen werden.

Vorzugsweise ist der Kolben derart in dem Kolbengehäuse angeordnet, dass der Kolben bezüglich des Kolbengehäuses im Wesentlichen nur eine translatorische Bewegung ausführt.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Linearantriebsgehäuse drehfest mit der Rotorhauptwelle verbunden, und umgibt zumindest teilweise das Kolbengehäuse, und wobei das Kolbengehäuse drehfest in der Gondel abgestützt ist, wobei zwischen Linearantriebsgehäuse und Kolbengehäuse eine erste rotationsentkoppelnde Lagereinheit angeordnet ist. Dies ermöglicht eine relativ einfache Verwendung eines hydraulischen oder pneumatischen Linearantriebs, da keine Drehdurchführung für das hydraulikfluid bzw. die Druckluft vorgesehen werden muss. Weiterhin kann mit dieser Ausgestaltung die Kraft, die von dem Hydraulik- oder Pneumatikantrieb ausgeübt wird, über das Linearantriebsgehäuse an der Rotorhauptwelle abgestützt werden.

Gemäß einem weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispiel ist der Kolben drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse verbunden und das gondelseitige Ende der Schubstange mittels einer zweiten drehentkoppelnden Lagereinheit drehbar in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse gelagert. Das bedeutet, dass das Schubstangen-

Kolben-Verbindungsgehäuse selbst lediglich translatorisch bewegbar ist und sich im Wesentlichen nicht dreht, da der Kolben selbst nur translatorisch bewegbar ist.

Alternativ kann auch das gondelseitige Ende der Schubstange drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse verbunden sein, wobei dann der Kolben mittels einer zweiten drehentkoppelnden Lagereinheit drehbar in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse gelagert ist. Das bedeutet, dass sich das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse selbst zusammen mit der Schubstange dreht, während der Kolben nach wie vor stationär angeordnet ist.

Durch beide Ausführungsformen kann eine direkte Kraftübertragung zwischen Schubstange und Kolben realisiert werden und gleichzeitig ein lediglich translatorisch bewegbarer Kolben verwendet werden.

Ist das gondelseitige Ende der Schubstange drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse verbunden und der Kolben mittels einer zweiten drehentkoppelnden Lagereinheit drehbar in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse gelagert, so ist vorteilhaft, wenn die Verriegelungsvorrichtung mindestens ein Sperrelement aufweist, das mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse zusammenwirkt. Da das Linearantriebsgehäuse und damit auch das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse in der Gondel aufgenommen sind, sind sie relativ gut zugänglich, so dass, ohne dass ein zusätzlicher Bauraum benötigt wird, die Verriegelungsvorrichtung in die Unterwasserturbine integriert werden kann. Über die Einwirkung des Sperrelements auf das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse kann direkt das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse und damit die Schubstange an ihrer translatorischen Bewegung gehindert werden.

Ist dagegen das rotornabenseitige Ende des Kolbens drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse verbunden und das gondelseitige Ende der Schubstange mittels einer zweiten drehentkoppelnden Lagereinheit drehbar in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse gelagert, ist vorteilhaft, wenn die Verriegelungsvorrichtung an dem Linearantrieb beispielsweise an einem Kolbengehäuse, das zumindest einen Arbeitsraum für den Kolben definiert angeordnet ist und mindestens ein Sperrelement aufweist, das mit dem Kolben zusammenwirkt. Würde ein Sperrelement zwischen einem sich drehenden Linearantriebsgehäuse und einem rotationsfesten Kolben wirken, müsste die

Verriegelungsvorrichtung derart ausgebildet sein, dass sie auch bei Scherbelastung zuverlässig verriegelt.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Verriegelungsvorrichtung dazu ausgelegt ist, die Schubstange an mehreren translatorischen Positionen zu fixieren.

Dabei kann eine der translatorischen Positionen, wie oben erwähnt die Fahnenstellung der Rotorblätter sein. Dabei ist insbesondere bevorzugt, wenn die Sperrvorrichtung und/oder die Linearantriebsvorrichtung derart ausgelegt ist, dass bei einer Störung oder bei einem Stromausfall, die Sperrvorrichtung die Schubstange in ihrer ersten Position, die der Fahnenstellung der Rotorblätter entspricht fixiert.

Weiterhin ist bevorzugt, wenn eine zweite translatorische Fixierposition der Schubstange einer Rotorblattstellung entspricht, die eine maximale Rotationskraftübertragung der Strömung auf das Rotorblatt ermöglicht. Dadurch kann erreicht werden, dass die Rotorblätter gegen die Strömung gedreht bleiben, auch wenn die Rotorblattverstellanordnung nicht aktiv mit Energie versorgt ist. Dies ermöglicht einen besonders energieeffizienten Betrieb der Unterwasserturbine.

Alternativ oder zusätzlich kann auch vorgesehen sein, dass eine dritte translatorische Fixierposition der Schubstange einer Rotorblattstellung bereitgestellt ist, die eine definierte reduzierte Rotationskraftübertragung der Strömung auf das Rotorblatt ermöglicht. Dadurch kann beispielsweise die Unterwasserturbine in einen Notlaufbetrieb versetzt werden, bei dem zwar Strom produziert wird, aber keine übermäßige Belastung an den Rotorblättern auftritt. Dies kann beispielsweise bei einer sturmbedingten übermäßig verstärkten Wasserströmung der Fall sein. Dabei ist insbesondere vorteilhaft, wenn die reduzierte Rotationskraftübertragung 50% bis 90%, insbesondere 60% bis 80%, bevorzugt 70%, einer maximalen Rotationskraftübertragung der Strömung auf das Rotorblatt entspricht.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die Verriegelungsvorrichtung mindestens ein Sperrelement auf, das mittels eines hydraulischen oder elektromechanischen Aktuators betätigbar ist. Dadurch kann das Sperrelement leicht in eine Sperrposition gebracht werden und auch aus ihr wieder gelöst werden.

Dabei kann auch vorteilhaft sein, wenn das Sperrelement in seine Sperrposition vorgespannt ist, beispielsweise mittels eines Federelements.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausführungsformen sind in der Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen angegeben. Dabei sind insbesondere die in der Beschreibung und in den Zeichnungen angegebenen Kombinationen der Merkmale rein exemplarisch, so dass die Merkmale auch einzeln oder anders kombiniert vorliegen können.

Kurze Figurenbeschreibung

Im Folgenden soll die Erfindung anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher beschrieben werden. Dabei sind die Ausführungsbeispiele und die in den Ausführungsbeispielen gezeigten Kombinationen rein exemplarisch und sollen nicht den Schutzbereich der Erfindung festlegen. Dieser wird allein durch die anhängigen Ansprüche definiert.

Es zeigen:

Fig. 1 bis Fig. 23: schematische Schnittansichten verschiedener unterschiedlicher bevorzugter Ausführungsbeispiele für eine Unterwasserturbine.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Im Folgenden werden gleiche oder funktionell gleichwirkende Elemente mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet.

Die Figur 1 zeigt eine schematische Schnittansicht einer Unterwasserturbine 1. Die Unterwasserturbine 1 umfasst als Hauptbestandteile eine Rotornabe 2, die dazu ausgelegt ist, Rotorblätter 4 zu lagern und zu tragen, sowie eine mit der Rotornabe 2 fest verbundene Rotorhauptwelle 6, die sich in eine Gondel 8 erstreckt, in der ein Generator 10 zur Stromerzeugung aufgenommen ist. Die Rotorhauptwelle 6 kann beispielsweise mittels Befestigungsmittel, insbesondere Schrauben 5, an der Rotornabe 2 befestigt sein. Die Rotorblätter 4 werden von einer Wasserströmung angeströmt und bedingen dadurch eine Drehung der Rotornabe 2. Durch die drehfeste Verbindung der Rotornabe 2 mit der Rotorhauptwelle 6 wird wiederum ein drehfest mit der Rotorhauptwelle 6 verbundener Rotor 12 des Generators 10 angetrieben. Der Rotor 12 kann direkt an der Rotorhauptwelle 6 befestigt sein, es ist jedoch auch möglich, dass zwischen Rotorhauptwelle 6 und Generator 10 ein

Getriebe (nicht dargestellt) angeordnet ist, das die langsame Rotation der Rotorhauptwelle 6 in eine schnelle Rotation für die Stromerzeugung umsetzt. Die Rotorhauptwelle 4 wiederum ist drehbar mittels Lagereinheiten 14, 16 in der Gondel 8 gelagert. Die Lagereinheiten 14, 16 sind insbesondere derart ausgebildet, dass sie axiale und radiale Lasten aufnehmen können. So kann die Rotorhauptwelle 6 beispielsweise über Axial- und Radiallagereinheiten gelagert sein.

Die Rotorblätter 4 werden vorzugsweise ebenfalls drehbar gelagert, damit sie an die jeweilige Strömungsrichtung angepasst werden können, ohne dass die gesamte Gondel 8 gedreht werden muss. Darüber hinaus ermöglicht die Verstellung der Rotorblätter 4 auch, dass die Rotorblätter 4 in die sogenannte Fahnenstellung gedreht werden, bei der die Strömung nicht zu einer Rotation der Rotornabe 2 führt. Dadurch kann die Unterwasserturbine 1 insgesamt stillgelegt werden.

Die Rotorblätter 4 selbst sind üblicherweise zueinander symmetrisch angeordnet und sind im Fall von zwei Rotorblättern 4-1, 4-2 bspw. einander direkt gegenüberliegend angeordnet. Bei mehr als zwei Rotorblättern, wie bspw. drei oder vier Rotorblättern 4 können diese in einem 120° Abstand bzw. in einem 90° Abstand zueinander angeordnet sein.

In den in den Figuren 1 bis 23 dargestellten Ausführungsbeispielen ist jeweils ein zweiblättriger Rotor dargestellt, der zwei einander gegenüberliegende Rotorblätter 4-1; 4-2 aufweist.

Weiterhin zeigen die Figuren 2 bis 23 verschiedene Details und Ausführungsbeispiele der Unterwasserturbine 1. Insbesondere zeigen die Figuren 2 bis 5 verschiedene Grundausgestaltungen einer Rotornabenanordnung 200. Die Rotornabenanordnung 200 umfasst üblicherweise ein Rotornabengehäuse 202 in das eine Rotorblattwelle 204 eingesetzt wird.

Die Rotorblattwelle 204 wiederum ist dazu ausgelegt, mit den eigentlichen Rotorblättern 4 verbunden zu werden (siehe Fig. 1) und kann einteilig oder mehrteilig ausgestaltet sein. Ebenfalls ist möglich, dass die Rotorblattwelle als Wellenstummel ausgebildet ist. Die Zweigeteiltheit in Rotorblatt 4 und Rotorblattwelle 204 ermöglicht, dass die Rotornabenanordnung 200 vormontiert transportiert werden kann und die Rotorblätter erst am

Einsatzort mit der Rotornabenanordnung 200 und genauer mit der Rotorblattwelle 204 verbunden werden. Dabei ist bei manchen Ausgestaltungen sogar eine Montage der Rotorblätter an der Rotorblattwelle unter Wasser möglich. Dazu ist insbesondere vorteilhaft, wenn ein Rotornabeninnenraum 210 gegenüber dem Wasser, in das die Unterwasserturbine eingebracht wird, abgedichtet ist.

Bei dem in den Fig. 2 bis 5 dargestellten zweiblättrigen Rotor weisen die Rotorblattwellen 204-1, 204-2 jeweils ein seeseitiges Ende 207 und ein rotornabenseitiges Ende 208 auf. Das seeseitige Ende 206 ist dazu ausgelegt, mit den eigentlichen Rotorblättern 4 verbunden zu werden, während das rotornabenseitige Ende 208 in einen Innenraum 210 der Rotornabenanordnung 200 hineinragt und dazu ausgelegt ist, mit einer vorzugsweise zentralen Rotorblattverdrehvorrichtung 300 verbunden zu werden. Um eine Verdrehung der Rotorblätter bzw. der Rotorblattnaben 204 zu ermöglichen, sind die Rotorblattwellen 204 mithilfe einer Rotorblattlageranordnung 214 drehbar bezüglich des Gehäuses 202 der Rotornabe 2 gelagert.

Die Rotorblattwellen 204 selbst definieren zwischen ihrem seewasserseitigen Ende 207 und ihrem rotornabenseitigen Ende 208 eine Länge L der Rotorblattwelle 204. Die beiden rotornabenseitigen Enden 208-1 und 208-2 und die beiden seewasserseitigen Enden 207-1, 207-2 sind wiederum mit einem Abstand X bzw. Y beabstandet. Sind mehr als zwei Rotorblätter vorhanden, liegen die rotornabenseitigen Enden 207 und die seewasserseitigen Enden 208 jeweils auf einem Kreis mit einem Durchmesser X bzw. Y.

Die Rotorblattlageranordnung 214 umfasst weiterhin eine erste seeseitige Lagereinheit 220 und eine zweite rotornabenseitigen Lagereinheit 230. Die Lagereinheiten 220, und 230 können als Wälzlagerseinheiten 221, 231 ausgebildet sein, wie in den Fig. 2 bis 5 dargestellt. Es ist jedoch auch möglich, wie in den Figuren 6 bis 8 dargestellt, die Lagereinheiten 214 als Gleitlagerseinheiten 225; 235 auszugestalten.

Sind die Lagereinheiten 220; 230 als Wälzlager 221; 231 ausgebildet, weisen sie jeweils einen Innenring 222; 232 und einen Außenring 223; 233 auf, die zwischen sich einen Lagerinnenraum definieren, in dem Wälzkörper 224; 234 angeordnet sind. Die Wälzkörper 224; 234 können optional in einem Wälzlagerkäfig (nicht dargestellt) geführt sein.

Sind die Lagereinheiten 220; 230 als Gleitlager 225; 235 ausgebildet, können Gleitlagerbuchsen 226; 236 vorgesehen sein, die für eine besonders gute Gleitlagerung sorgen.

Die Lagerinnenringe 222; 232, genauer eine Innenbohrung 227, 237 der Lagerinnenringe 222; 232, bzw. die Gleitlagerbuchsen 226; 236 weisen jeweils einen Innendurchmesser d_{1i} , d_{2i} auf, der derart dimensioniert ist, dass die Lagerinnenringe 222, 232 bzw. die Gleitlagerbuchsen 226; 236 drehfest mit der jeweiligen Rotorblattwelle 204 verbunden werden können. Dabei werden üblicherweise die Innendurchmesser d_{1i} , d_{2i} derart dimensioniert, dass sie eine Überdeckung zu einem Außendurchmesser der Rotorblattwelle 204 aufweisen, sodass die Lagerinnenringe 222, 232 bzw. die Gleitlagerbuchsen 226; 236 mit Presspassung an der Rotorblattwelle 204 befestigt werden können.

Die Lageraußenringe 223, 233 sind drehfest an einem Rotornabengehäuseabschnitt 252; 262 angebracht. Der Rotornabengehäuseabschnitt 252 kann als integraler Bestandteil des Rotornabengehäuses 202 ausgeführt sein (siehe bspw. Fig. 2 und 3), es ist jedoch auch möglich, dass der Rotornabengehäuseabschnitt 262 als separater Gehäuseabschnitt vorliegt, der mittels Befestigungsmittel 264 mit dem Rotornabengehäuse verbunden wird (siehe bspw. Fig. 4 und 5).

Selbstverständlich ist es genauso möglich, die Gleitlagerbuchsen 226; 236 mit dem Rotornabengehäuseabschnitt 252; 262 drehfest zu verbinden, vorzugsweise in den Rotornabengehäuseabschnitt 252; 262 einzupressen.

Für die drehfeste Verbindung wird üblicherweise ein Innendurchmesser des Rotornabengehäuseabschnitts 252, 262 derart dimensioniert, dass er eine Überdeckung zu einem Außendurchmesser der Lageraußenringe 223, 233 bzw. der Gleitlagerbuchsen 226; 236 aufweisen, sodass die Lageraußenringe 223, 233 bzw. die Gleitlagerbuchsen 226; 236 mit Presspassung in dem Rotornabengehäuseabschnitt 252; 262 befestigt werden können.

Weiterhin weist die Rotornabenanordnung 200 eine vorzugsweise dynamische Seewasserdichtungsanordnung 240 auf, die dazu ausgelegt ist, einen Spalt 242 zwischen der Rotorblattwelle 204 und dem Gehäuse 202 abzudichten, um zu verhindern, dass Wasser in den Innenraum der Rotornabe 2 gelangt.

Um eine ideale Kippsteifigkeit und damit eine hohe Belastbarkeit zu erzielen und gleichzeitig die Auswirkungen der thermischen Unterschiede in der Rotorblattlageranordnung 214 zu kompensieren, ist weiterhin die erste Lagereinheit 220 und die zweite Lagereinheit 230 in einem bestimmten Lagerabstand W , jeweils gemessen von der Mitte der Lagereinheit, (siehe Fig. 2, 3 und 6, 7) zueinander beabstandet angeordnet. Dabei wird der Lagerabstand W in Relation zu dem Innendurchmesser d_{li} der Innenbohrung 227 der seeseitigen Lagereinheit 220 gesetzt, sodass gilt, $0,8 \cdot d_{li} \leq W \leq 2 \cdot d_{li}$, vorzugsweise $1 \cdot d_{li} \leq W \leq 1,5 \cdot d_{li}$.

Damit kann zudem bei Wälzlagern 221; 231, insbesondere bei Kegelrollenlagern, das mögliche thermische Wachsen der Rotorblattwelle 204, sowie das Ringwachsen der warmen Lagerinnenringe 222 gegenüber den kälteren Lageraußenringen 223 kompensiert werden, was zu einem klemmfreien Betrieb der Lagereinheiten 220, 230 sorgt. Darüber hinaus kann damit auch – sofern die Lagereinheiten 220, 230 mit einer Vorspannung eingebaut sind, wie z. B. bei Kegelrollenlagern üblich – einem Vorspannungsverlust in der Lagerung begegnet werden.

Die spezielle beabstandete Anordnung der Lagereinheiten 220, 230 ermöglicht weiterhin, dass die Rotorblattwelle 204 länger ausgebildet sein kann und damit weiter in den Innenraum 210 der Rotornabe 2 reicht. Außerdem kann dadurch der Durchmesser der Rotorblattwelle 204 reduziert werden, da die Kräfte, die vom Rotorblatt 4 auf die Rotorblattwelle 204 und auf die Lager 220, 230 ausgeübt werden, auf eine längere Strecke verteilt werden. Der kleinere Wellendurchmesser wiederum ermöglicht, dass die seewasserseitigen Dichtungsanordnungen 240, die die Rotornabe abdichten, ebenfalls einen kleineren Durchmesser aufweisen. Dadurch wird die Relativbewegung der Dichtungen reduziert, was dazu beiträgt, dass die Dichtungen insgesamt weniger schnell verschleifen.

Dabei ist insbesondere bevorzugt, dass eine Länge L der Rotorblattwelle 204 derart angepasst ist, dass ein Abstand X der rotornabenseitigen Enden 208-1, 208-2 zueinander gegenüberliegenden Rotorblattwellen 204-1, 204-2 und ein Abstand der seewasserseitigen Enden 207-1, 207-2 der einander gegenüberliegenden Rotorblattwellen 204-1, 204-2 (oder alternativ die Durchmesser X , Y der von den entsprechenden Enden 208 bzw. 207 beschriebenen Kreise) der folgenden Relation genügen:

$$X: Y \approx 6:1.$$

Dies ermöglicht eine kurze Distanz der Rotorblattwellen 204-1, 204-2 zueinander bei einem verhältnismäßig großen Rotorblattabstand.

Fig. 9 zeigt weiterhin, dass das Rotornabengehäuse 202 Rippenstrukturen 250 aufweist, die das Gehäuse 202 strukturell verstärken und ermöglichen, ein relativ dünnwandiges Gehäuse 202 bereitzustellen, das jedoch hohen Belastungen standhält, insbesondere auch einen hohen Wasserdruck in größeren Tiefen.

Wie insbesondere den Fig. 2 bis 6 zu entnehmen sind die Lagereinheiten derart angeordnet, dass sie eine O-Anordnung bilden, wobei die O-Anordnung derart ausgelegt ist, dass ein Kraftfluss von den Rippenstrukturen 250, die in dem Gehäuse 202 angeordnet sind, aufgenommen werden kann und an die Rotorhauptwelle 6 übertragen wird. Dies ist sowohl bei Wälzlagerseinheiten, insbesondere Kegelrollenlagern, als auch bei einer entsprechenden Gleitlagerausgestaltung (siehe Fig. 6) möglich.

Weiterhin zeigen die Figuren 2, 3 und 6 bis 8, dass die Rotorblattwelle 204 zusammen mit den Lagereinheiten 220 und 230 in das Rotornabengehäuse 202 eingesetzt werden kann, wobei das Rotornabengehäuse 202 in diesem Ausführungsbeispiel den integral mit dem Rotornabengehäuse ausgebildeten sich rohrförmig nach innen erstreckenden Rotornabengehäuseabschnitt 252 aufweist, der als Lagersitz für die Außenringe 223; 233 bzw. als Gleitfläche oder Sitz für die Gleitlagerbuchsen 226; 236 ausgebildet sein kann.

Alternativ können jedoch auch die Rotorblattwelle 204 und die Lagereinheiten 220 und 230 als Modul 260 ausgeführt sein, das in seiner Gesamtheit in das Rotornabengehäuse 202 eingesetzt werden kann (siehe dazu insbesondere die Figuren 4 und 5). Dazu weist das Modul 260 weiterhin den ebenfalls rohrförmigen ausgestalteten separaten Rotornabengehäuseabschnitt 262 auf, der im Folgenden als Modul-Gehäuseabschnitt 262 bezeichnet wird und als Lagersitz für die Außenringe 223; 233 bzw. als Gleitfläche oder Sitz für die Gleitlagerbuchsen 226; 236 für die Lagereinheiten 220 bzw. 230 ausgebildet ist. Der rohrförmige Modul-Gehäuseabschnitt 262 kann mittels Befestigungselementen 264 an dem Gehäuse 202 der Rotornabenanordnung befestigt werden. Die Ausbildung als Modul 260 hat den Vorteil, dass die Lagereinheiten 220 und 230 fertig montiert und, falls erforderlich, fertig vorgespannt bereitgestellt werden können und lediglich in das Gehäuse eingesetzt werden

müssen. Weiterhin kann in diesem Fall bereits die Seewasserdichtung 240 an dem Modul 260 befestigt sein, sodass die Montageschritte beim Zusammenbau des Moduls 260 in das Rotornabengehäuse 202 deutlich vereinfacht werden können.

Als Lagerungseinheiten 220; 230 sind insbesondere Kegelrollenlager geeignet, da diese in O-Anordnung eine hohe externe Last, speziell Biegemomente, aufnehmen können und eine stetige Krafteinleitung in die Rotorhauptwelle 6 ermöglichen. Dadurch können die Lager insgesamt aber auch kleiner dimensioniert werden.

Alternativ zeigen die Fig.6 bis 8 die oben erwähnte Gleitlagerung der Rotorblattwelle 204, wobei in den Figuren 6 bis 8 eine Rotorwelle 204 dargestellt ist, die in das Gehäuse 202 der Rotornabe 2 eingesetzt wird, wobei zwischen dem rohrförmigen Gehäuseabschnitt 252 des Rohrnabengehäuses 202, bzw. der Modul-Gehäuseabschnitt 262 und der Rotorblattwelle 204 eine Gleitpaarung ausgestaltet, die jeweils eine erste seeseitig Gleitflächenpaarung 280 und eine rotornabenseitige Gleitflächenpaarung 290 ausbildet. In den Figuren 6 bis 8 ist lediglich die integrierte Ausführung mit einem Gehäuseabschnitt 252 und nicht die modulare Ausführung dargestellt. Das im Folgende gesagte gilt jedoch analog.

Zum Ausbilden der rotornabenseitigen Gleitflächenpaarung 280 bzw. der seewasserseitigen Gleitflächenpaarung 290 mit äußeren Gleitflächen 281; 291 und inneren Gleitflächen 282, 292 weist der Gehäuseabschnitt 252 insbesondere einen ersten rotornabenseitigen 254 und zweiten seeseitigen Abschnitt 255 auf, die als äußere Gleitflächen 281, 291, ausgestaltet sind. Die inneren Gleitflächen 282; 292 werden in diesem Ausführungsbeispiel von den Gleitlagerbuchsen 226; 236 ausgebildet. Die inneren und äußeren Gleitflächen 281, 291, 282, 292 sind dabei als radiale Gleitflächen ausgebildet, die einer Radiallagerung der Rotorblattwelle 204 bzgl. des Rotornabengehäuseabschnitts 252 dienen.

Analog kann als Gegengleitflächen eine äußere Mantelfläche 203 der Rotorblattwelle 204 dienen. In Fig. 8 ist die eine derartige Ausführung illustriert, bei der die Gleitlagerbuchsen 226, 236 in den Rotornabengehäuseabschnitt 252 eingepresst sind und die Rotorblattwelle 204 einen ersten Mantelflächenabschnitt 203-1 und einen zweiten Mantelflächenabschnitt 203-2 aufweist, die als innere Gleitflächen 282, 292 ausgebildet sind.

Zusätzlich können auch axiale Gleitflächen 283, 293 (äußere); 284, 294 (innere) vorgesehen sein. Die axialen Gleitflächen 283, 293; 284, 294 ermöglichen, dass beispielsweise die Rotorblattwelle 204 an ihrem seeseitigen Ende 207 mit einer Anschlagfläche 206 ausgestattet ist, die mit einer entsprechenden Gegenanschlagsfläche 256 an dem Rotornabengehäuseabschnitt 252 zusammenwirkt, um eine definierte Einschublage der Rotorblattwelle 204 in das Rotornabengehäuse 202 zu definieren. An der Anschlagfläche 206 ist dann die äußere axiale Gleitfläche 293 ausgebildet, während an der Gegenanschlagsfläche 256 des Rotornabengehäuseabschnitts 252 die innere axiale Gleitfläche 294 ausgebildet ist.

Analog kann auch an dem rotornabenseitigen Ende 208 der Rotorblattwelle 204 bzw. dem rotornabenseitigen Ende 254 des Rotornabengehäuseabschnitts 252 eine axiale Gleitlagerung ausgebildet sein. In den dargestellten Ausführungsbeispielen der Fig. 7 und 8 ist an der Rotornabengehäuseabschnitt 252 auch rotornabenseitig eine Anschlagfläche 257 ausgebildet, die als äußere axiale Gleitfläche 283 für das rotornabenseitige Gleitlager 235 ausgebildet ist. An dieser Gleitfläche 283 kann beispielsweise eine Wellenmutter 246, die mit einer inneren Gleitfläche 284 ausgestattet ist zusammenwirken. Die Wellenmutter 246 dient beispielsweise dazu die Rotorblattwelle 204 in dem Rotornabengehäuse 202 zu sichern.

Statt der in den Figuren dargestellten Gleitlagerbuchsen 226; 236 können die entsprechenden Gleitflächen 281, 291; 282, 292; 283; 293; 284; 294 auch mit einer Gleitbeschichtung versehen, beispielsweise aus einem Faserverbundstoff, um eine Stahl-Stahl-Gleitpaarung zu vermeiden. Auch die Gleitlagerbuchse 226; 236 kann aus einem Faserverbundmaterial hergestellt sein. Ein derartiges Faserverbundmaterial umfasst bevorzugt eine Gleitfaser und/oder eine Kunststoffmatrix aus einem gleitfähigen Material, wie bspw. PTFE.

Bei den in den Figuren 6 und 7 dargestellten Ausführungsbeispielen werden Gleitlagerbuchsen 226; 236 eingesetzt, die drehfest an der Rotorblattwelle 204 befestigt sind, während in Fig. 8 die Gleitlagerbuchsen in den Rotornabengehäuseabschnitt 252 eingepresst sind.

Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem analog zu einer O-Anordnung eines Kegelrollenlagers, kegelförmige Gleitlagerbuchsen verwendet werden, die ebenfalls in O-Anordnung angeordnet sind. Dabei kann die Rotorblattwelle 204 eine kegelige

Gleitlagerbuchsenaufnahme­fläche (oder Gleitfläche) 205 aufweisen, es ist jedoch auch möglich, dass an Rotorblattwelle 204 ein zusätzliches Lagerelement, wie beispielsweise ein Innenring 286 angeordnet ist, der die kegelige Gleitlagerbuchse 236 trägt oder als Gleitfläche für die kegelige Gleitlagerbuchse dient. Der Anstellwinkel der kegeligen Gleitlageranordnung ist wiederum so gewählt, dass eine Krafteinleitung in die Verstärkungsrippen 250 ermöglicht ist.

Die Gleitlagerbuchsen 226, 236 können, wie Fig. 7 und Fig. 8 zeigen, auch zylinderförmige Gleitflächen ausbilden. Weiterhin ist in Fig. 7 und 8 gezeigt, dass die Gleitlagerbuchsen 226; 236 einen als Radiallagerung dienenden zylindrischen Hülsenabschnitt 228; 238, mit Hilfe dessen die radialen Gleitflächen 281, 291; 282, 292 ausgebildet werden, und einen als Axiallagerung dienenden Flanschabschnitt 229, 239, mit Hilfe dessen die axialen Gleitflächen 283, 293, 284, 294 ausgebildet werden, aufweisen.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Gleitlagerung zudem fluid­insbesondere wassergeschmiert. Dazu kann vorzugsweise der gesamte Innenraum 210 der Rotornabe 2 mit einem Fluid geflutet sein, sodass nicht nur die Gleitlagerbuchsen 226; 236, wie in den Figuren 6 bis 8 dargestellt, mit dem Fluid geschmiert werden, sondern ebenfalls andere in dem Rotornabeninnenraum 210 angeordnete Lagereinheiten. Das Fluid kann Wasser sein, insbesondere ein deionisiertes und demineralisiertes Wasser, das, verglichen mit Seewasser, korrosionsvermindernde Eigenschaften hat, oder auch ein Fluid, das eine analoge Dichte zu Wasser aufweist.

Wird Wasser als Fluid verwendet, kann weiterhin auf die Seewasserdichtung 240, die den Zwischenraum 242 zwischen Rotorgehäuse 202 und Rotorblattwelle 204 vollständig abdichtet, verzichtet werden und lediglich eine einfache Dichtung 244 mit einer Schmutzrückhaltefunktion vorgesehen werden (siehe Fig. 7). Da sowohl im Rotornabeninnenraum 210 als auch in dem umgebenden Medium der gleiche Druck herrscht, wird diese Dichtung 244 nicht stark belastet und sorgt lediglich für ein Rückhalten von Schmutzpartikeln, die die Gleitlagerpaarung zwischen Rotorgehäuse 202 und Rotorblattwelle 204 gefährden könnten.

Bei einer derartigen fluidgeschmierten Lagerung kann weiterhin auf Dichtungsvorrichtungen, an dem rotornabenseitigen Ende 208 der Rotorblattwelle 204 verzichtet werden.

Üblicherweise wird nämlich sowohl ein Innenraum von der Rotorblattwelle 204 als auch vom Rotorblatt 4 mit Wasser gefüllt, um ein Aufschwimmen bzw. einen Auftrieb aufgrund von eingeschlossener Luft zu verhindern. Dadurch kann die Rotorblattwelle 204, wie insbesondere Figur 8 zeigt, insgesamt als Hohlwelle ausgeführt werden, die beispielsweise lediglich mithilfe von Kurbelscheiben abgeschlossen wird. Selbstverständlich ist ebenfalls möglich, die Rotorblattwelle 204, wie in den Figuren 6 und 7 dargestellt, nicht vollständig als Hohlwelle auszubilden.

Weiterhin zeigen die Ausführungsbeispiele der Figuren 2, 4 und 10 bis 13, dass als zentrale Rotorblattverdrehvorrichtung 300 zum Verstellen der Rotorblattwellen 204 ein Kegelradantrieb 310 zum Einsatz kommt. Für eine Verstellung mithilfe eines Kegelradantriebs 310 ist in den dargestellten Ausführungsbeispielen an der Rotorblattwelle 204 an dem rotornabenseitigen Ende 208 jeweils ein Kegelrad 312-1 bzw. 312-2 angebracht, die mit einem zentralen Kegelrad 314 kämmen. Das zentrale Kegelrad 314 wird wiederum über eine Antriebseinheit 316 bzw. einen Elektromotor angetrieben und ermöglicht eine Verstellung der Rotorblätter um 360° . Diese Lösung ist sowohl bei einem modularen Aufbau wie in Figur 4 dargestellt als auch bei einem Einbau der Rotorblattwelle in das Gehäuse 202 selbst möglich (siehe Fig. 2 und 10 bis 13). Der Elektromotor 316 kann kompakt ausgestaltet sein und in dem Innenraum 210 und Rotornabe 2 (siehe Fig. 11) bzw. in der als Hohlwelle ausgebildeten Rotorhauptwelle 6 (siehe Fig. 12) angeordnet sein.

Bei dem in Fig. 11 dargestellten Ausführungsbeispiel, ist der Antriebsmotor 316 kompakt ausgestaltet und kann deshalb das benötigte Drehmoment direkt übertragen. Um das benötigte Drehmoment an der Rotorblattwelle 204 bereitzustellen, wird in dem dargestellten Ausführungsbeispiel zwischen dem Kegelrad 312 und der Rotorblattwelle 204 ein Getriebe 317 vorgesehen. Die Kegelräder 312-1, 312-2 sind hierbei mit einer Getriebeeingangswelle 318 gekoppelt. Über eine Übersetzungsstufe 319 wird die Drehzahl reduziert und das Drehmoment erhöht. An der Getriebeausgangsseite ist die Rotorblattwelle drehfest angebracht. Das Getriebe 317 ist vorzugsweise mit ein oder mehrere Planetenstufen ausgebildet.

Ist der Elektromotor 316 baulich jedoch relativ ausladend, kann weiterhin vorgesehen sein, an dem Gehäuse 202 der Rotornabenanordnung 200 einen zusätzlichen Gehäuseabschnitt 272 vorzusehen, der dazu ausgelegt ist, den Elektromotor 316 aufzunehmen. Um in diesem Fall

die Stromlinienförmigkeit der Unterwasserturbine 1 nicht zu beeinträchtigen bzw. die Anströmung an die Rotorblätter 4 zu verbessern, kann an dem Gehäuseabschnitt 272 ein sogenannter Spinner 274 angebracht sein (siehe insbesondere Fig. 2, 10 and 13).

Statt eines Elektromotors 316 kann der Gehäuseabschnitt 272 selbstverständlich auch andere Arten von Antriebseinheiten aufnehmen.

Weiterhin zeigen insbesondere die Fig. 4, 10 und 12, dass die Rotorhauptwelle 6 hohl ausgebildet ist und Kabel 270 durch sie führbar sind, die für eine Ansteuerung des Elektromotors 316 eingesetzt werden können. Weiterhin zeigen die Figuren 2, 4 und 10 bis 13, dass auch die Rotorblattwellen 204 eine Bohrung 209 aufweisen können, durch die Kabel 270 geführt werden können, um bspw. Sensoren (nicht dargestellt) zu bestromen und Signale zu leiten, die bspw. eine Verformung der Rotorblätter 4 und/oder eine Last, die auf die Rotorblätter 4 wirkt, detektieren.

Da sich die Rotorblätter nicht ständig an neue Positionen bewegen müssen und es manchmal sinnvoll ist, die Rotorblätter in eine sogenannte Fahnenstellung zu bewegen und dort zu halten, in der kein Drehmoment von der Wasserströmung auf die Rotorblätter übertragen werden kann, bspw. zu Wartungszwecken, ist es weiterhin sinnvoll, eine Sperrvorrichtung 320 vorzusehen, die die Rotorblätter in einer bestimmten Position festsetzt. Dazu kann, wie in Figur 13 dargestellt, eine drehfest an dem Rotornabengehäuse 202 befestigte Sperreinrichtung 320 vorgesehen sein, die ebenfalls ein Kegelrad 322 aufweist, das mithilfe von Betätigungselementen 324 mit den Kegelrädern 312-1 und 312-2 in Eingriff gebracht werden kann, um diese an ihrer weiteren Drehung zu hindern. Ist das Sperrkegelrad 322 mit den Kegelrädern 312 in Eingriff, so kann die Antriebseinheit 316 stromlos geschaltet werden und muss nicht ständig die Kegelräder 312 und damit die jeweiligen Rotorblattwellen 204 in ihrer Position halten. Dies ist auch energetisch vorteilhaft. Weiterhin kann die Sperrvorrichtung 320 derart ausgelegt sein, dass im Fall eines Stromausfalls das Sperrkegelrad 322 erst dann in Eingriff mit den Kegelrädern 312 geht, wenn die Rotorblätter 4 aufgrund der Wasserströmung und aufgrund, dass keine Kraft die Rotorblätter in die Wasserströmung dreht, in Fahnenstellung gehen. Die Sperrvorrichtung 320 sorgt dann dafür, dass ein weiteres Verdrehen der Rotorblätter 4 nicht möglich ist.

Statt einer Kegelradanordnung kann als zentrale Rotorblattverdrehvorrichtung 300 auch eine Schubstangenanordnung 330 eingesetzt werden.

Die Figuren 3, 5 und 14 bis 23 zeigen als alternative zentrale Rotorblattverdrehvorrichtung 300 die Schubstangenanordnung 330 mit einer Schubstange 332, die axial beweglich ist und mit der Rotorblattwelle 204 zusammenwirkt, um diese zu verdrehen. Die Schubstange 332 weist üblicherweise ein erstes rotornabenseitiges Ende 334 und ein zweites gegenüberliegendes Ende 336 auf, und erstreckt sich durch eine Bohrung 60 in der Rotorhauptwelle 6. Diese Bohrung kann im Fall einer gefluteten Rotornabe mit Hilfe einer Dichtung 374 (siehe Fig. 17) abgedichtet sein.

Die Schubstange 332 wird mit Hilfe eines Linearantriebs 400 axial bewegt, wobei der Linearantrieb 400 direkt mit der Schubstange zusammenwirken kann (siehe Fig. 14 und 15), aber auch als separates Bauteil indirekt auf die Schubstange einwirken kann (siehe Fig. 16).

Wie insbesondere den Figuren 17 und 18 zu entnehmen, ist die Schubstange 332 mit Hilfe einer Verbindungsvorrichtung 340 mit dem rotornabenseitigen Ende 208 der Rotorblattwelle 204 verbunden.

Dabei weist die Verbindungsvorrichtung 340 pro Rotorblattwelle 204 ein Pleuel 342 auf. Jedes Pleuel 342 umfasst eine Pleuelstange 344 an deren Enden 346; 348 jeweils ein Auge 350; 352 ausgebildet ist. Die Augen 350; 352 dienen als Gleitlager für Bolzen 354; 356, die für eine drehbare Befestigung der Pleuel 342 sorgen.

Das Pleuel 342 ist an seinem erste Ende 346 mittels der Bolzen 354 drehbar mit einem Pleuel-Schubstangen-Verbindungselement, insbesondere einem Pleuelhalter 358 verbunden, das wiederum drehfest an der Schubstange 332 angebracht ist.

Auf der zweiten Seite 348 sind die jeweiligen Pleuel 342-1, 242-2 mittels Bolzen 356 drehbar an Pleuel-Rotorblattwelle-Verbindungselement, beispielsweise Kurbelscheiben 360-1, 360-2 angebracht, wobei jede Kurbelscheibe 360 wiederum drehfest mit der entsprechenden Rotorblattwelle 204 verbunden ist, wobei beispielsweise Befestigungselemente 362 verwendet werden können.

Der Schnittansicht von Fig. 8 ist insbesondere eine weitere Ausgestaltung der Pleuel-Rotorblattwelle-Verbindung gezeigt, wobei hier ebenfalls eine Kurbelscheibe 360 zum Einsatz kommt, die mit Befestigungselementen 362 an der Rotorblattwelle 204 befestigt sind. Weiterhin ist diesem Ausführungsbeispiel zu entnehmen, dass die Pleuel 342-1, 342-2 in ihren zweiten Pleuelaugen 352 jeweils eine sphärische Lagereinheit 380-1, 380-2 aufweisen, die in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als sphärisches Gleitlager ausgebildet ist. Die sphärische Lagereinheit 380 weist wiederum einen Außenring 381 und einen Innenring 382 auf, die gleitend aneinander angeordnet sind. Das sphärische Gleitlager 380 kann beispielsweise mit Hilfe eines Bolzen 384, der das Lager trägt, in das Pleuelauge 352 eingepresst werden und mit der Kurbelscheibe 360 verbunden werden.

Weiterhin ist in Fig. 8 zu sehen, dass zwischen Kurbelscheibe 360 und Rotorblattwelle 204 ein O-Ring 390 als Dichtung eingesetzt sein kann, der beispielsweise eine geflutete Rotorblattwelle gegen einen trocken ausgeführten Rotornabeninnenraum abdichtet.

Wird die Schubstange axial bewegt, wie in den Figuren 18, A, B, und C, dargestellt, so kann die Rotorblattwelle 204 von einer ersten Maximalposition I (siehe Figur 11A) in eine zweite Maximalposition II (siehe Figur 11C) verdreht werden. Bei der in Figur 11B dargestellten Mittelposition ist das Pleuel 342 maximal winklig angestellt. Weiterhin ist bevorzugt, dass die erste Maximalposition I einer Fahnenstellung bzw. und die zweite Maximalposition II einer maximalen Kraftaufnahmeposition der Rotorblätter 4 in der Wasserströmung entsprechen.

Weiterhin ist bevorzugt, dass die Schubstange 332 in die Fahnenstellungsposition I vorgespannt ist, sodass nur bei aktiver Bewegung der Schubstange 332 das Rotorblatt 4 in eine Position bewegt wird, in der die Wasserströmung ein Drehmoment auf die Rotorblätter 4 ausübt.

Die Schubstange 332 kann, wie in den Figuren 15 bis 23 dargestellt, in der als Hohlwelle ausgebildeten Rotorhauptwelle 6 aufgenommen sein, es ist jedoch auch möglich, dass die Schubstange 332, wie in Figur 14 dargestellt, auf einer der Rotorhauptwelle 6 entgegengesetzten Seite der Rotornabe 2 angeordnet ist. In diesem Fall ist analog zu dem Kegelradantrieb der Figuren 2 und 3 ein Gehäuse 272 vorgesehen, das den Schubstangenmechanismus 330 umgibt und das Gehäuse 272 kann wiederum mit einem Spinner 274 als Strömungsoptimierungselement ausgestattet sein.

Erstreckt sich die Schubstange 332 durch die als Hohlwelle ausgebildete Rotorhauptwelle 6, wie in den Figuren 3, 5 und 15 bis 23 dargestellt, so ist weiterhin an der Rotorhauptwelle 6 eine Linearlagereinheit 370 in Form einer Lagerbuchse 372 angeordnet, die die Schubstange 332 hinsichtlich der Rotorhauptwelle 6 lagert und für eine axiale Beweglichkeit der Schubstange 332 sorgt. Die Schubstange 332 selbst hat, wie oben erwähnt, ein rotornabenseitiges Ende 334 und ein zweites Ende, das in den Fig. 3, 5 und 15 bis 23 als gondelseitiges Ende 336 ausgebildet ist. Das zweite Ende 336 kann sich, durch die gesamte Rotorwelle 6 erstrecken, es ist jedoch auch möglich, wie insbesondere in Figur 15 dargestellt, dass auch das gondelseitige Ende 336 der Schubstange 332 in der Rotorhauptwelle 6 aufgenommen ist.

Um die Schubstange 332 axial zu bewegen, wird, wie oben erwähnt das zweite Ende 336 der Schubstange 332 direkt oder indirekt mithilfe eines Linearantriebs 400 axial mit Kraft beaufschlagt. In dem in den Figuren 14 und 15 dargestellten Ausführungsbeispielen ist dafür die Schubstange 332 an ihrem zweiten Ende 336 als ein Hydraulikkolben 402 ausgebildet, der in einem Hydraulikzylinder 404 aufgenommen ist. In Fig. 14 ist der Hydraulikzylinder 404 in dem Gehäuseabschnitt 272 aufgenommen, während in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 15, der Hydraulikzylinder in die Rotorhauptwelle 6 eingesetzt ist.

Selbstverständlich kann neben dem hier dargestellten hydraulischen Linearantrieb 400 auch jeder andere Linearantrieb 400 zum Einsatz kommen, bspw. ein pneumatischer Linearantrieb oder auch ein Schneckenantrieb.

Die als Koben ausgestaltet ausgestaltete Schubstange 332 weist an ihrem zweiten Ende einen Flansch 405 auf, der dichtend in dem Kolbengehäuse 404 geführt ist und somit einen ersten Arbeitsraum 406 und einen zweiten Arbeitsraum 408 ausbildet. Der erste Arbeitsraum 406 und zweiten Arbeitsraum 408, können jeweils mit Hydraulikfluid beaufschlagt werden, um den Schubstangenkolben 402 und damit die Schubstange 332 von der ersten Position I in die zweite Position II zu bewegen. Für die Beaufschlagung mit Hydraulikfluid ist weiterhin ein Pumpenaggregat 410 vorgesehen, das in dem in Fig. 15 dargestellten Ausführungsbeispiel drehfest in der Gondel 8 aufgenommen ist und über einen Drehdurchführung 412 drehbar an dem Hydraulikzylinder 404 befestigt ist. Derartige Drehdurchführungen 412 sind im Stand der Technik bekannt und werden deshalb nicht weiter ausgeführt.

Die Drehdurchführung 412 ist wiederum mithilfe eines Befestigungselements 414 drehfest an der Gondel 8 befestigt. Weiterhin sind Steuergeräte 416 stationär in der Gondel 8 aufgenommen. Dabei zeigt Figur 15, dass eine Kabeldurchführung für das Kabel 270 vorgesehen ist, das von der Gondel 8 bzw. den Steuergeräten 416 durch die Rotorhauptwelle 6 verläuft und sich bis in die Rotorblätter 4 erstreckt, um beispielsweise Sensoren zu bestromen und/oder Signale zu leiten. Auch dieses Kabel 270 ist über eine Drehdurchführung 419 am Ende der Rotornabe 6 mit den stationären Elementen 416, 410 in der Gondel 8 verbunden.

Die Figuren 16 bis 23 zeigen Ausführungsbeispiele, bei denen sich das gondelseitige Ende 336 der Schubstange 332 in den Gondelinnenraum 802 erstreckt. Auch in diesen dargestellten Ausführungsbeispielen wird die Schubstange 332 mittels eines hydraulischen Linearantriebs 400 von der ersten I in die zweite Position II bewegt. Im Gegensatz zu dem in Figur 12 dargestellten Ausführungsbeispiel wird bei den in Figur 16 bis 23 dargestellten Ausführungsbeispielen jedoch nicht die Schubstange 332 bzw. ihr gondelseitiges Ende 336 direkt mit einem Hydraulikfluid beaufschlagt, sondern das gondelseitige Ende 336 der Schubstange 332 wird mithilfe einer separaten Linearantriebseinheit 400, die drehfest in der Gondel 8 befestigt ist, von der ersten I in die zweite II Position bewegt. Da sich jedoch die Schubstange 332 genauso wie die Rotorhauptwelle 6 mit der Rotornabe 2 drehen, der Linearantrieb 400 jedoch stationär ist, muss eine Drehentkopplung zwischen der Schubstange 332 und dem Linearantrieb 400 bereitgestellt werden.

Weiterhin zeigen die Figuren, dass der Linearantrieb 400 wiederum einen sich axial bewegendenden Kolben 402 aufweist, der allerdings jetzt als separates Element ausgestaltet ist und auf das gondelseitige Ende 336 der Schubstange 332 einwirkt. Dazu weist der Kolben 402 ein schubstangenseitiges Ende 420 und ein gondelseitiges Ende 422 auf. Das gondelseitige Ende 422 des Kolbens 402 ist in einem Kolbenzylindergehäuse 404 aufgenommen und ist dazu ausgelegt mit Hydraulikfluid beaufschlagt zu werden. Dazu ist wiederum ein erster Arbeitsraum 406 und ein zweiter Arbeitsraum 408 bereitgestellt, die analog zu dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel mit Hydraulikfluid, das von dem Pumpenaggregat 410 geliefert wird, beaufschlagt wird, um den Kolben 402 von der ersten Position I in die zweite Position II zu bewegen.

Weiterhin zeigen insbesondere die Figuren 16, 19 und 20, 21, dass das schubstangenseitige Ende 420 des Kolbens 402 und das gondelseitige Ende 336 der Schubstange 332 in einem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 aufgenommen ist. Das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 ist wiederum axial verschiebbar in einem Linearantriebsgehäuse 428 aufgenommen, das wiederum drehfest mit der Rotorhauptwelle 6 gekoppelt ist. Dabei kann der Kolben 402, genauer das schubstangenseitige Ende 420 des Kolbens 402, drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 verbunden sein (siehe Fig. 16, 19), es ist jedoch auch möglich, wie in den Figuren 20 und 21 dargestellt, dass das gondelseitige Ende 336 der Schubstange 332 drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 gekoppelt ist.

In beiden Fällen ist zu berücksichtigen, dass das Linearantriebsgehäuse 428 und die Schubstange 332 zusammen mit der Rotorhauptwelle 6 rotieren, während der Kolben 402 des Linearantriebs 400 stationär ausgebildet ist. Aus diesem Grund ist in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 eine erste und eine zweite Lagereinheit 430, 440 angeordnet. Die Lagereinheiten 430; 440 sind in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als Wälzlager mit einem Innenring 432; 442, einem Außenring 434; 444 und dazwischen angeordneten Wälzkörpern 436; 446 ausgebildet, kann aber auch ein Gleitlager sein. Wie insbesondere den Detailansichten der Figuren 19, 20 und 21 zu entnehmen ist, sind die Lagerinnenringe 432 bzw. 442 drehfest an der Schubstange 332 (siehe Figur 19) oder drehfest an dem Kolben 402 (siehe Figur 20, 21) befestigt, während die Außenringe 434; 444 drehfest von dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 aufgenommen sind.

Durch das Vorsehen der Lagereinheiten 430 und 440 in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 kann eine Drehentkopplung zwischen der sich drehenden Schubstange 332 und dem stationären Kolben 402 erreicht werden. Dementsprechend ist das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 der in den Figuren 19 bis 23 dargestellten Ausführungsbeispiele ebenfalls stationär, während es sich in dem Ausführungsbeispiel der Figuren 20, 21 zusammen mit der Rotorhauptwelle 6, dem Linearantriebsgehäuse 428 und der Schubstange 332 dreht.

Wie weiterhin in den Figuren 3, 5 und 16 bis 23 dargestellt und oben erwähnt, ist der Linearantrieb 400 auch in diesem Ausführungsbeispiel als hydraulischer Kolbenantrieb ausgebildet. Dabei wird der Kolben 402 in einem Zylinder 404 geführt und bildet mit diesem einen ersten Arbeitsraum 406 und einen zweiten Arbeitsraum 408, die abwechselnd mittels

eines Hydraulikfluids, das über die Hydraulikpumpe 410 bereitgestellt ist, mit Hydraulikfluid beaufschlagt werden, um den Kolben 402 von einer ersten I in eine zweite Position II zu bewegen. Dazu weist der Kolben 402 an dem zylindergehäuseseitigen Ende 422 einen Flansch 405 auf, mit dem der Kolben 402 dichtend in dem Kolbengehäuse 404 geführt ist und die Arbeitsräume 406, 408 voneinander trennt. Das Kolbengehäuse 404 wird einerseits mithilfe eines Befestigungsmittels 414 drehfest in der Gondel abgestützt und wird zumindest teilweise von dem Linearantriebsgehäuse 428 umfasst. Dadurch kann eine definierte Lage und Befestigung des Linearantriebs 400 in der Gondel gewährleistet werden.

Da jedoch, wie oben erwähnt, das Linearantriebsgehäuse 428 drehfest mit der Rotorhauptwelle 6 verbunden ist und deshalb sich ebenfalls dreht, das Kolbengehäuse 404 jedoch stationär ausgebildet ist, muss auch zwischen dem Kolbengehäuse 404 und dem Linearantriebsgehäuse 428 eine Drehentkopplung bereitgestellt werden.

In den in den Figuren 16 und 19 bis 23 dargestellten Ausführungsbeispielen erfolgt diese Drehentkopplung über zwei Lagereinheiten 450, 460, die analog zu den Lagereinheiten 420, 430 als Wälzlager, insbesondere Kegelrollenlager, ausgebildet sind und jeweils einen Innenring 452, 462, einen Außenring 454; 464 und dazwischen angeordnete Wälzkörper 456; 466 aufweisen. Die Innenringe 452, 462 sind drehfest an dem Kolbengehäuse 424 angeordnet, während die Außenringe 454, 464 drehfest in dem Lineargehäuse 428 angeordnet sind. Selbstverständlich kann auch hier ein Gleitlager zum Einsatz kommen oder die Lagereinheiten anders angeordnet sein.

Wie weiterhin den Detailansichten der Figuren 19, 20 und 21 zu entnehmen, ist weiterhin an dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 ein Vorspannungselement 470 in Form einer Feder angeordnet, das für eine Vorspannung der Schubstange 332 in eine erste Position I sorgt (siehe insbesondere Fig. 21). Dabei ist die erste Position I vorzugsweise die Fahnenstellung, sodass bei einem Stromausfall oder einer Nichtbeaufschlagung mit Hydraulikfluid die Rotorblätter 4 aus der Strömung gedreht werden, sodass kein Drehmoment in die Unterwasserturbine 1 eingeleitet wird. Ist das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 drehfest mit dem Kolben 402 verbunden, so stützt sich die Feder, wie Figur 19 zu entnehmen, vorzugsweise einerseits am Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 und andererseits am Kolbengehäuse 404 ab. Ist dagegen das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 drehfest mit der Schubstange 332 verbunden

(siehe Fig. 20, 21), dreht es sich mit der Schubstange 332 und dem Linearantriebsgehäuse 428 mit, sodass sich das Federrückstellelement 470 einerseits am Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 und andererseits an dem Linearantriebsgehäuse 428 abstützen kann, wie in den Figuren 21 und 22 dargestellt.

Neben dem Vorspannungselement 470, das die Schubstange 332 in eine bestimmte Position vorspannt, ist weiterhin vorteilhaft, wenn zudem eine Sperrvorrichtung 480 vorgesehen ist, die die Linearbewegung der Schubstange 332 blockiert. Dabei kann die Sperrvorrichtung 480 Sperrelemente bspw. in Form von Bolzen 482, 484 aufweisen, die, wie in den Figuren 19 bis 21 dargestellt, mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 in Eingriff gehen und dieses in einer bestimmten Position festlegen. Dazu weist das Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 eine Öffnung 486 auf, in die der Bolzen 482 bzw. 484 eingeschoben werden kann und die Schubstange 332 in einer bestimmten vorgegebenen Position hält. Dabei kann die erste Position I (siehe Fig. 21) wiederum die Fahnenstellung der Rotorblätter sein, während die zweite Position II (siehe Fig. 20) einer optimalen Drehmomentübertragungsposition der Rotorblätter 6 entsprechen kann. Selbstverständlich können auch mehrere Sperrbolzen vorgesehen sein.

Alternativ oder zusätzlich zu den Bolzen 482, 484, die mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse 426 zusammenwirken, kann, wie dem Ausführungsbeispiel der Fig. 22 und 23 zu entnehmen, ebenfalls vorgesehen sein, dass die Sperrvorrichtung 480 direkt auf die Schubstange 332 einwirkt. So kann bspw. ein Bolzen 488 an der Rotorhauptwelle 6 angeordnet sein, der sich durch eine Bohrung 490 in der Rotorhauptwelle 6 in Richtung der Schubstange 332 erstreckt und dort mit einer in der Schubstange 332 vorgesehenen Bolzenaufnahme 492 zusammenwirkt, um die Schubstange 332 in einer bestimmten Position zu sichern. Auch in diesem Fall ist vorteilhaft, dass diese Position der Fahnenstellung der Rotorblätter 4 entspricht, da in diesem Fall sichergestellt ist, dass auch bei einem Stromausfall bzw. einer nicht aktiven Ansteuerung der Rotorblätter, diese aus der Strömung gedreht bleiben und kein weiteres Drehmoment in die Unterwasserturbine einleiten.

Die Sperrvorrichtung 480 genauso wie andere Elemente und Sensoren können wiederum über Steuergeräte 416, die in der Gondel 8 angeordnet sind, bestromt werden bzw. angesteuert werden.

Dazu können ebenfalls Kabel 418 vorgesehen sein, die über entsprechende Drehdurchführungen sich zu den Sperrelementen oder auch den Rotorblättern erstrecken, um Signale oder Strom zu leiten.

Bezugszeichenliste

1	Unterwasserturbine
2	Rotornabe
4	Rotorblätter
5	Schrauben
6	Rotorhauptwelle
8	Gondel
802	Gondelinnenraum
10	Generator
12	Generatorrotor
14, 16	Lagereinheiten Rotorhauptwelle
200	Rotornabenanordnung
202	Rotornabengehäuse
203	Mantelfläche Rotorblattwelle
204	Rotorblattwelle
205	kegelige Auflagefläche für kegelige Gleitlagerbuchse
206	Anschlagsfläche
207	seeseitiges Ende der Rotorblattwelle
208	rotornabenseitiges Ende der Rotorblattwelle
209	Bohrung Rotorblattwelle
210	Innenraum
214	Rotorblattlageranordnung
220	seeseitige Rotorblattwellenlagereinheit
230	rotornabenseitige Rotorblattwellenlagereinheit
221; 231	Wälzlager
222; 232	Innenring
223; 233	Außenring
224; 234	Wälzkörper

225; 235	Gleitlager
226; 236	Gleitlagerbuchsen
227; 237	Innenbohrung der Lagerringe
228; 238	Hülsenabschnitt der Gleitlagerbuchse
229; 239	optionaler Flanschabschnitt der Gleitlagerbuchse
240	Seewasserdichtung
242	Spalt zwischen Gehäuse und Rotorblattwelle
244	Schmutzrückhaltedichtung
246	Wellenmutter
250	Rippenstrukturen
252	Rotornabengehäuseabschnitt
254	rotornabenseitiger erster Gehäuseabschnitt
255	seeseitiger zweiter Gehäuseabschnitt
256	Gegenanschlagsfläche
260	Modul
262	rohrförmiger Modulgehäuseabschnitt
264	Befestigungsmittel für Modul
270	Kabel
272	Antriebsvorrichtungsgehäuse
274	Spinner
280	rotornabenseitige Gleitflächenpaarung
290	seeseitige Gleitflächenpaarung
281; 291	äußere radiale Gleitflächen
282; 292	innere radiale Gleitflächen
283; 293	äußere axiale Gleitfläche
284; 294	innere axiale Gleitfläche
286	Innenring
300	Rotorblattverdrehvorrichtung
310	Kegelradantrieb
312	Kegelrad an Rotorblattwelle

314	zentrales Kegelrad
316	Kegelradantrieb (Elektromotor)
317	Getriebe
318	Getriebeeingangswelle
319	Übersetzungsstufe
320	Sperrvorrichtung
322	Sperrkegelrad
330	Schubstangenanordnung
332	Schubstange
334	Rotornabenseitiges erstes Ende
336	zweites Ende
338	Halteelement
340	Verbindungsvorrichtung
342	Pleuel
344	Pleuelstange
346	erstes Pleuelende
348	zweites Pleuelende
350	erstes Pleuelauge
352	zweites Pleuelauge
354	Bolzen
356	Bolzen
358	Pleuel-Schubstangen-Verbindungselement; Pleuelhalter
360	Pleuel-Rotorblattwelle-Verbindungselement; Kurbelscheibe
362	Befestigungsmittel
370	Linearlagereinheit
372	Lagerbuchse
380	sphärisches Gleitlager
381	Außenring
282	Innenring
384	Bolzen
390	O-Ring

400	Linearantrieb
402	Hydraulikkolben
403	Flansch
404	Hydraulikzylinder
406	erster Arbeitsraum
408	zweiter Arbeitsraum
410	Pumpe
412	Drehdurchführung
414	Befestigung in Gondel
416	Steuergeräte
418	Kabel
419	Schleifring
420	rotornabenseitiges Ende des Kolbens
422	gondelseitiges Ende des Kolbens
424	Kolbengehäuse = Zylinder
426	Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse
428	Linearantriebsgehäuse
430; 440	Lagereinheiten
432; 442	Lagerinnenring
434; 444	Lageraußenring
436; 446	Wälzkörper
450; 460	Lagereinheiten
470	Rückstellelement
480	Sperrvorrichtung
482; 484	Sperrelemente=Bolzen
486	Bolzenaufnahmeöffnung
488	Bolzen
490	Bohrung
492	Bolzenaufnahme

X	Abstand
Y	Abstand
d1i	Innendurchmesser
d2i	Innendurchmesser
W	Lagerabstand
L	Länge der Rotorblattwelle

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Unterwasserturbine (1) mit einer Rotornabe (2) , die drehfest mit einer Rotorhauptwelle (6) verbunden ist und dazu ausgelegt ist, die Rotorhauptwelle (6) anzutreiben, wobei sich die Rotorhauptwelle (6) in eine über die Rotorhauptwelle (6) mit der Rotornabe (2) verbundenen Gondel (8) erstreckt und dort einen darin aufgenommenen Generator (10) antreibt, wobei die Rotornabe (2) weiterhin dazu ausgelegt ist, zumindest ein Rotorblatt (4) zu tragen, wobei das mindestens eine Rotorblatt (4) an einer Rotorblattwelle (204) befestigt ist und wobei die Rotorblattwelle (204) drehbar an der Rotornabe (2) gelagert ist und ein erstes rotornabenseitiges Ende (208), das in einen Innenraum der Rotornabe (2) ragt, und ein zweites seeseitiges Ende (207), das drehfest an dem jeweiligen Rotorblatt (4) befestigbar ist, aufweist, wobei jeweils das rotornabenseitige Ende (208) der Rotorblattwellen (204) dazu ausgelegt ist, mit einer Rotorblattverstellanordnung (300) zusammenzuwirken, um die mindestens eine Rotorblattwelle (204) zu drehen, wobei die Rotorblattverstellanordnung (300) weiterhin eine translatorisch bewegbare Schubstange (332) aufweist, die ein erstes rotornabenseitiges Ende (334) aufweist, das dazu ausgelegt ist, in die Rotornabe (2) der Unterwasserturbine (1) hineinzuragen und mindestens eine Verbindungsvorrichtung (340) aufweist, die dazu ausgelegt ist, mit der Rotorblattwelle (204) derart verbindbar zu sein, dass die translatorische Bewegung der Schubstange (332) in eine rotatorische Bewegung der mindestens einen Rotorblattwelle (204) umgesetzt wird, und wobei die Schubstange (332) ein zweites gondelseitiges Ende (336) aufweist, das dazu ausgelegt ist, sich in Richtung der Gondel (8) der Unterwasserturbine (1) zu erstrecken, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotorblattverstellanordnung (330) weiterhin eine Verriegelungsvorrichtung (480)

aufweist, die dazu ausgelegt ist, die Schubstange (332) in zumindest einer vorgegebenen translatorischen Position zu fixieren.

2. Unterwasserturbine (1) nach Anspruch 1, wobei die Verriegelungsvorrichtung (480) mindestens ein verstellbares Sperrelement (482; 484; 488) aufweist, das mit der Schubstange (332) oder einer die Schubstange (332) translatorisch bewegenden Komponente (406; 426) des Linearantriebs (400) zusammenwirkt, um die Schubstange (332) in ihrer translatorischen Position zu fixieren.
3. Unterwasserturbine (1) nach Anspruch 2, wobei die Schubstange (332) an ihrer Mantelfläche mindestens eine Aussparung (492) aufweist, die dazu ausgelegt ist, mit dem Sperrelement (482; 484; 488) zusammenzuwirken.
4. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Sperrelement (488) des mindestens einen Sperrelements (482; 484; 488) an der Rotorhauptwelle (6) angeordnet ist.
5. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Sperrelement (482; 484) des mindestens einen Sperrelements (482; 484; 488) an einem den Linearantrieb (400) umgebenden Linearantriebsgehäuse (428) oder dem Linearantrieb (400) selbst angeordnet ist.
6. Unterwasserturbine (1) nach Anspruch 5, wobei das Linearantriebsgehäuse (428) drehfest an der Rotorhauptwelle (6) angebracht ist.
7. Unterwasserturbine (1) nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Linearantrieb (400) weiterhin einen translatorischen auf die Schubstange (332) einwirkenden Kolben (402) aufweist, der ein rotornabenseitiges Ende (420), mit dem er auf die Schubstange (332) einwirkt, und ein gondelseitiges Ende (422), das mittels des Linearantriebs (400) mit Kraft beaufschlagt wird, aufweist, und das gondelseitige Ende (336) der Schubstange (332) und das rotornabenseitige Ende (420) des Kolbens (402) in einem translatorisch in dem Linearantriebsgehäuse (428) verschiebbaren Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse (426) aufgenommen sind.

8. Unterwasserturbine (1) nach Anspruch 7, wobei das gondelseitige Ende der Schubstange (3336) drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse (426) verbunden ist und der Kolben (402) mittels einer zweiten drehentkoppelnden Lagereinheit (430; 440) drehbar in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse (426) gelagert ist und wobei die Verriegelungsvorrichtung (480) mindestens ein Sperrelement (482; 484) aufweist, das mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse (426) zusammenwirkt.
9. Unterwasserturbine (1) nach Anspruch 7, wobei das rotornabenseitige Ende (420) des Kolbens (402) drehfest mit dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse (426) verbunden ist und das gondelseitige Ende (336) der Schubstange (332) mittels einer zweiten drehentkoppelnden Lagereinheit (430; 440) drehbar in dem Schubstangen-Kolben-Verbindungsgehäuse (426) gelagert ist, und wobei die Verriegelungsvorrichtung (480) an dem Linearantrieb (400) angeordnet ist und mindestens ein Sperrelement (482; 484; 488) aufweist, das mit dem Kolben (402) zusammenwirkt.
10. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verriegelungsvorrichtung (480) dazu ausgelegt ist, die Schubstange (332) an mehreren translatorischen Positionen zu fixieren.
11. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine erste translatorische Fixierposition der Schubstange (332) einer Rotorblattstellung entspricht, in der keine Rotationskraft von der Strömung auf das Rotorblatt (4) übertragen wird.
12. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine zweite translatorische Fixierposition der Schubstange (332) einer Rotorblattstellung entspricht, die eine maximale Rotationskraftübertragung der Strömung auf das Rotorblatt (4) ermöglicht.
13. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine dritte translatorische Fixierposition der Schubstange (332) einer Rotorblattstellung entspricht, die eine definierte reduzierte Rotationskraftübertragung der Strömung auf

das Rotorblatt (4) ermöglicht, die 50% bis 90%, insbesondere 60% bis 80%, bevorzugt 70%, einer maximalen Rotationskraftübertragung der Strömung auf das Rotorblatt (4) ermöglicht.

14. Unterwasserturbine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verriegelungsvorrichtung (480) mindestens ein Sperrelement (482; 484; 488) aufweist, das mittels eines hydraulischen oder elektromechanischen Aktuators betätigbar ist.

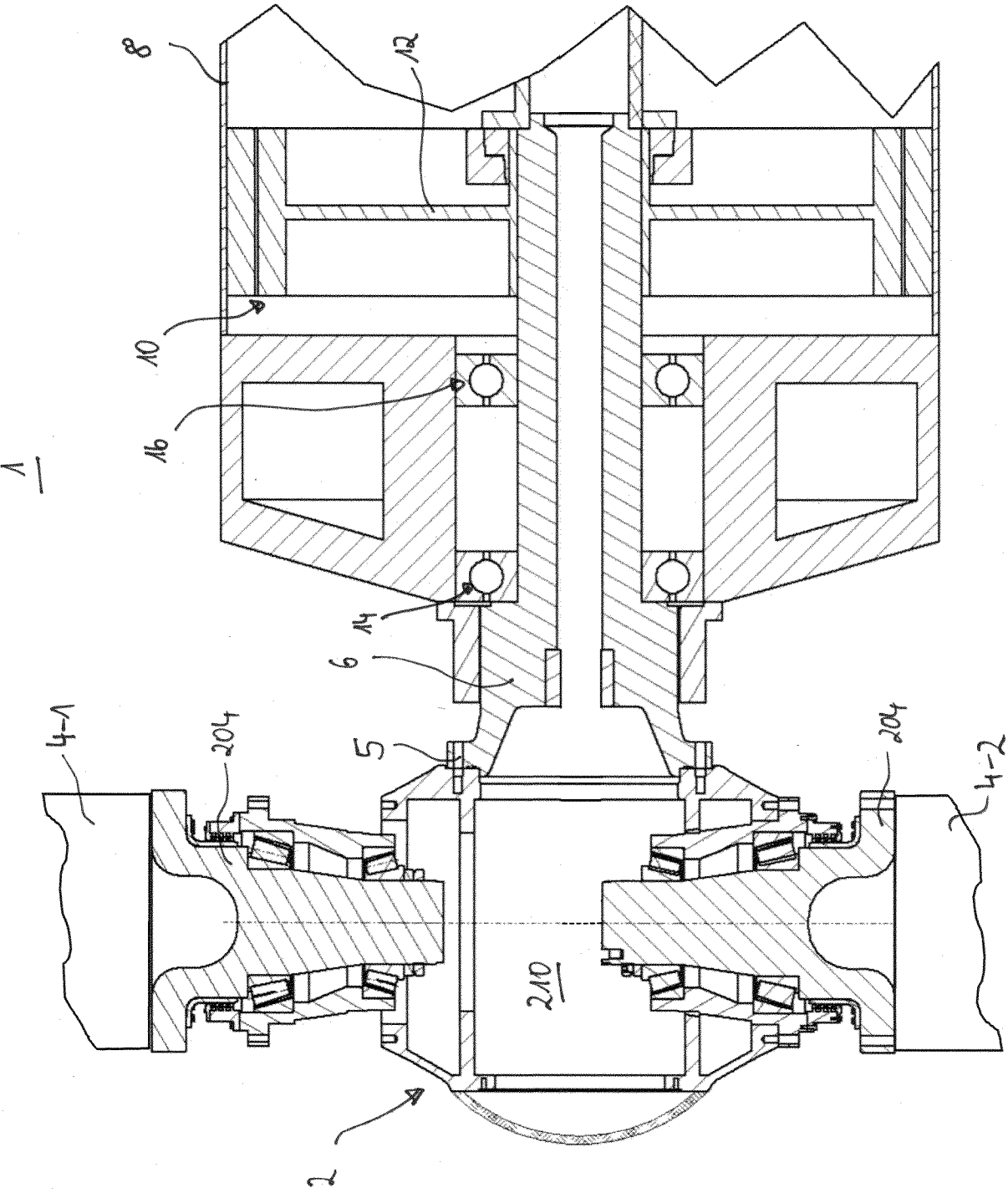


Fig. 1

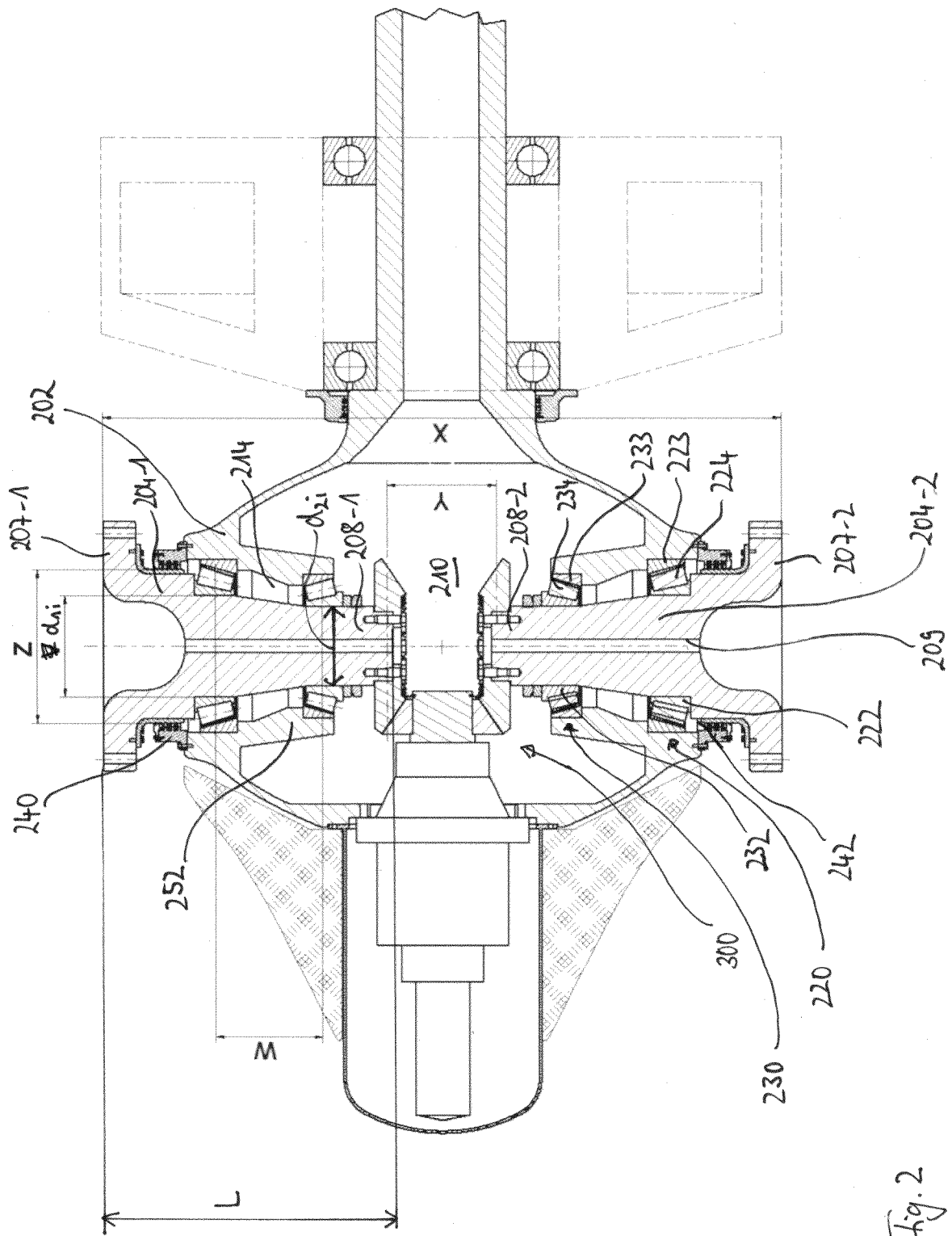


Fig. 2

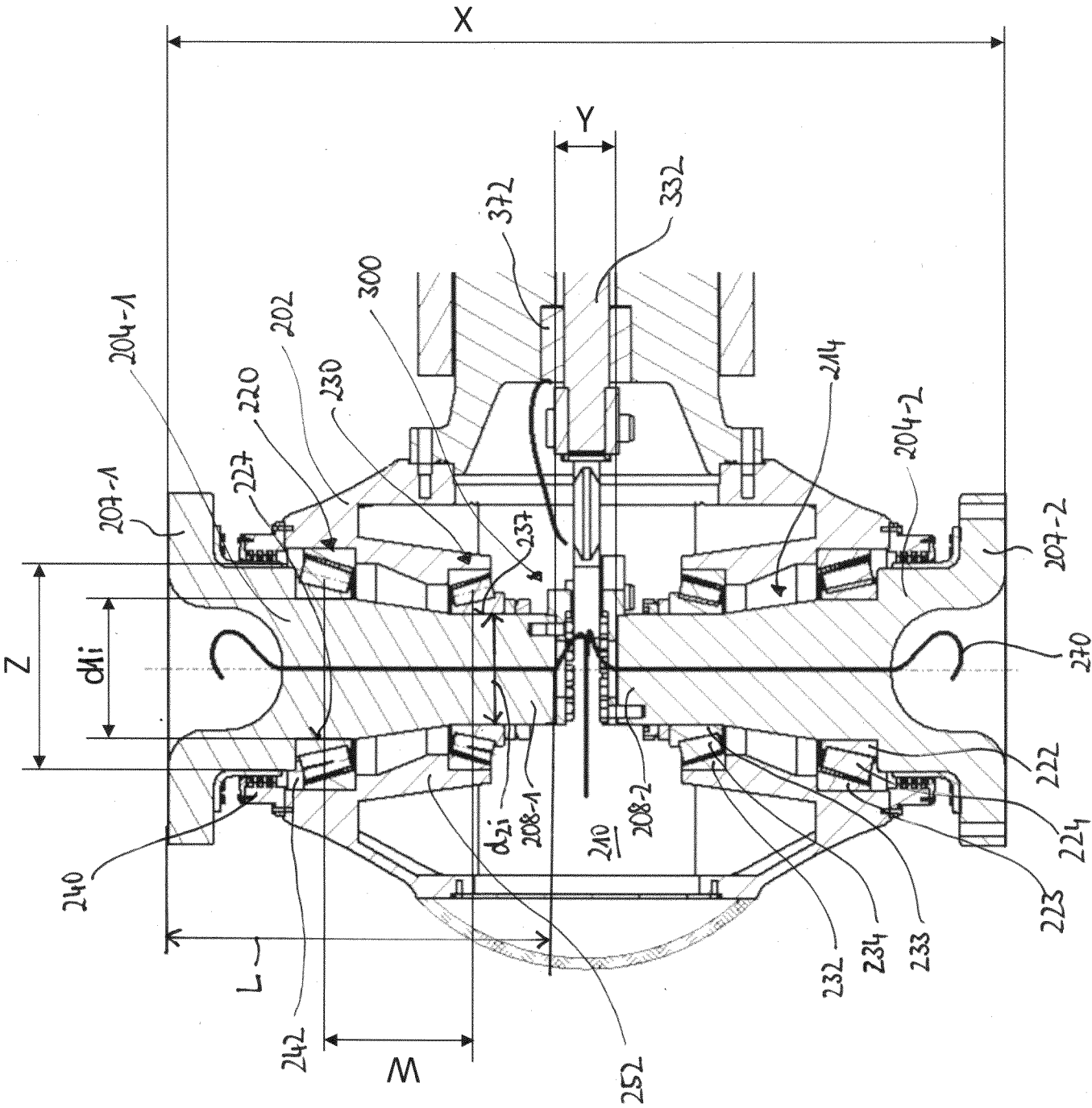


Fig. 3

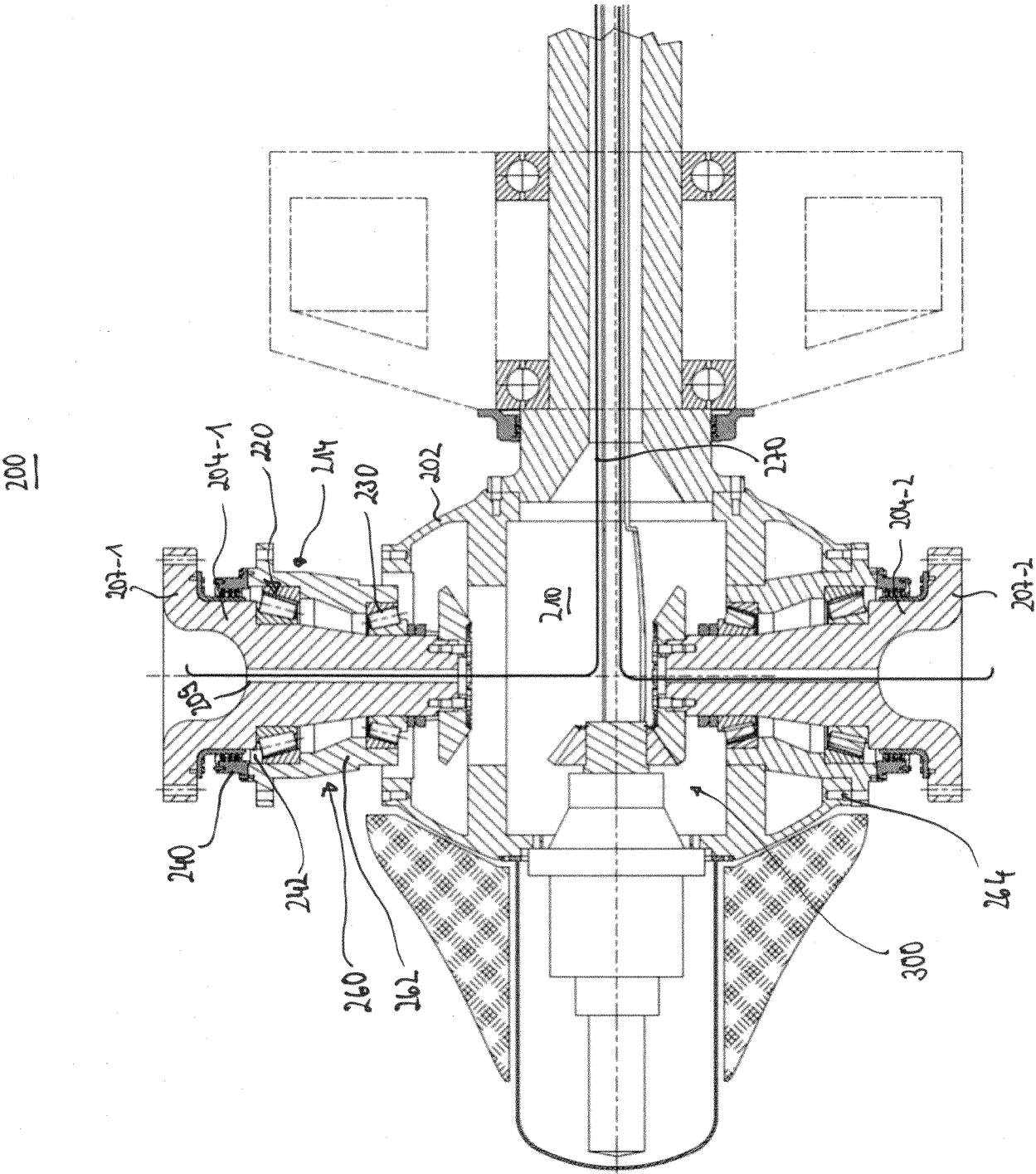


Fig. 4

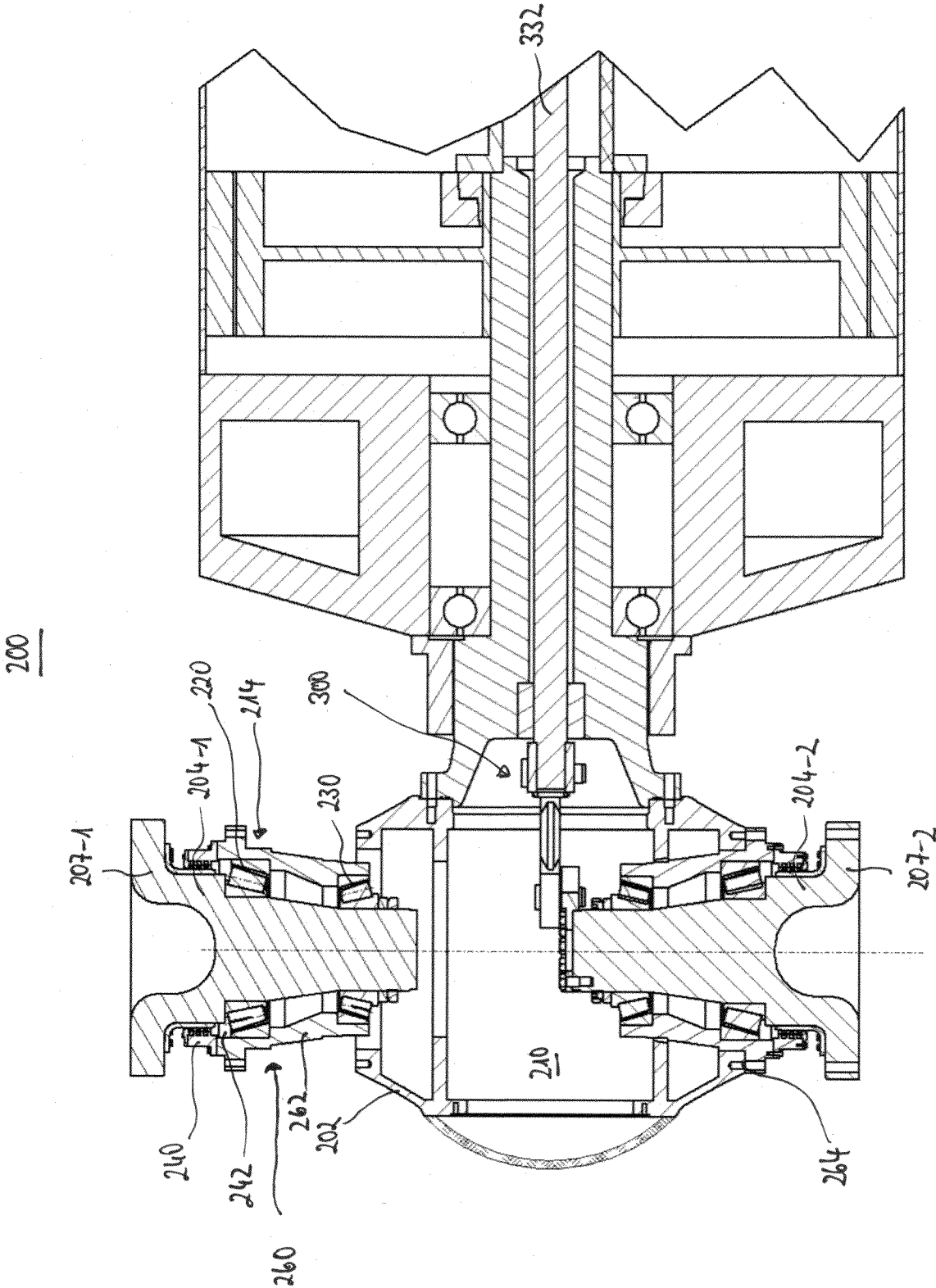


Fig. 5

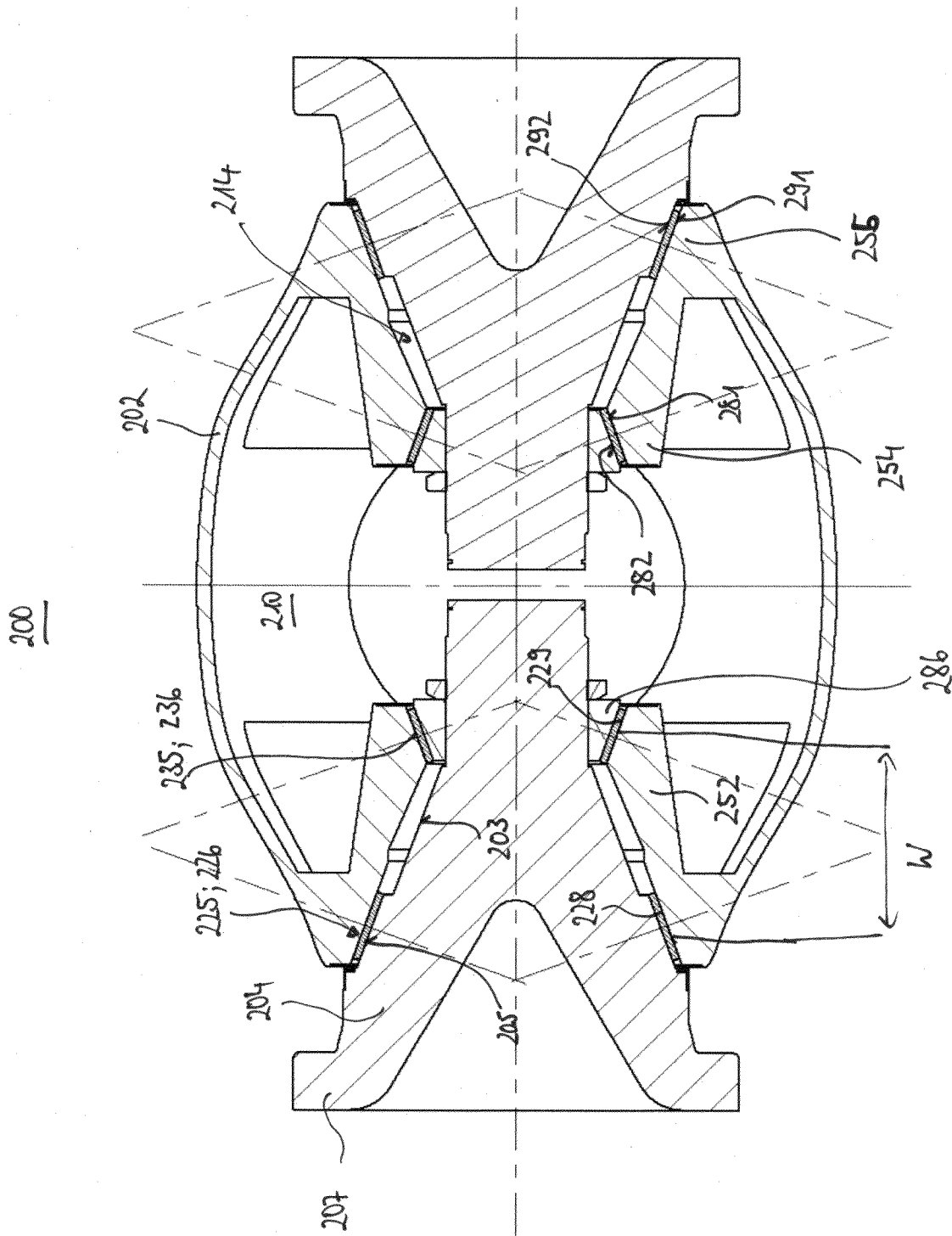


Fig. 6

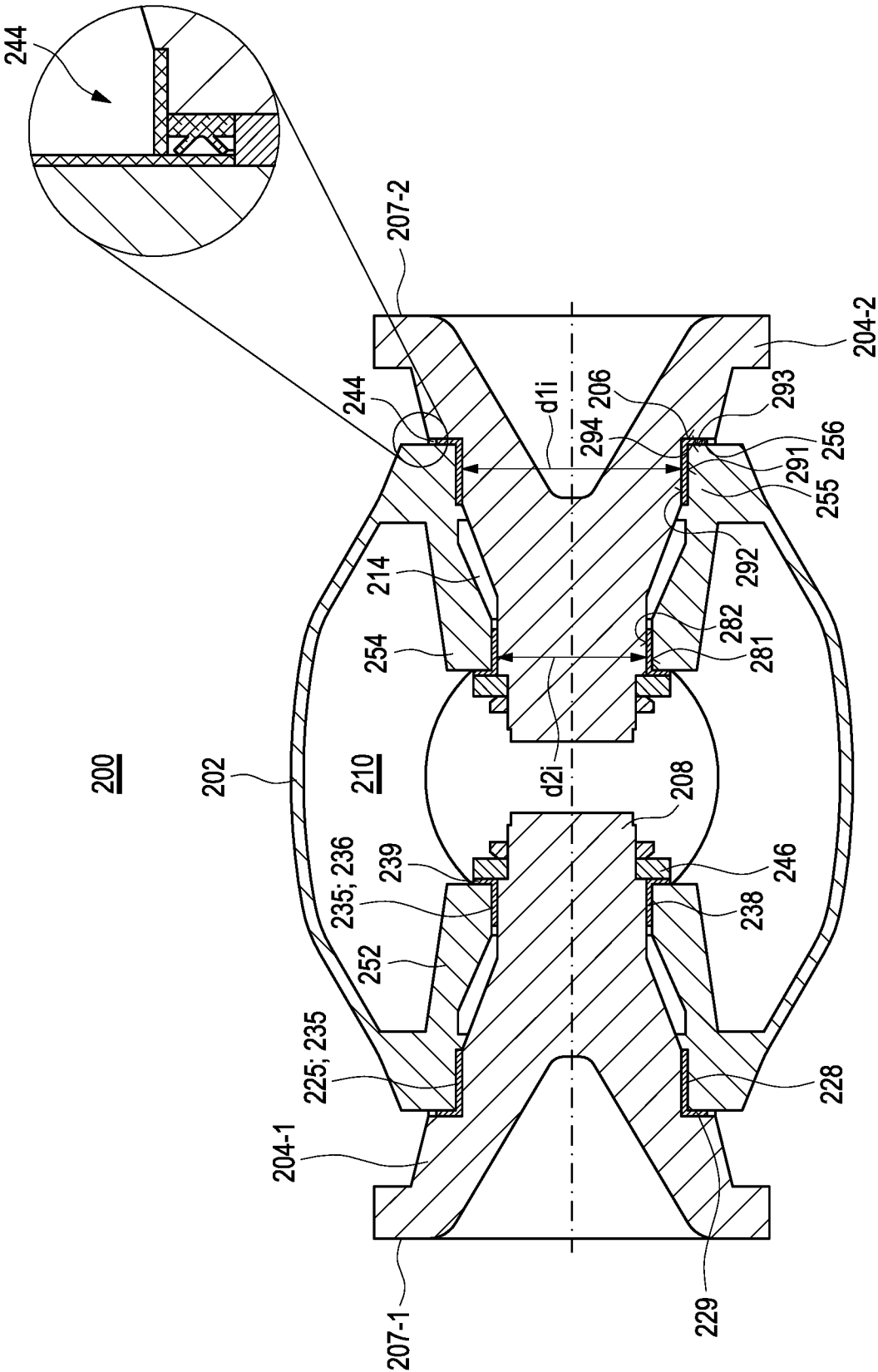
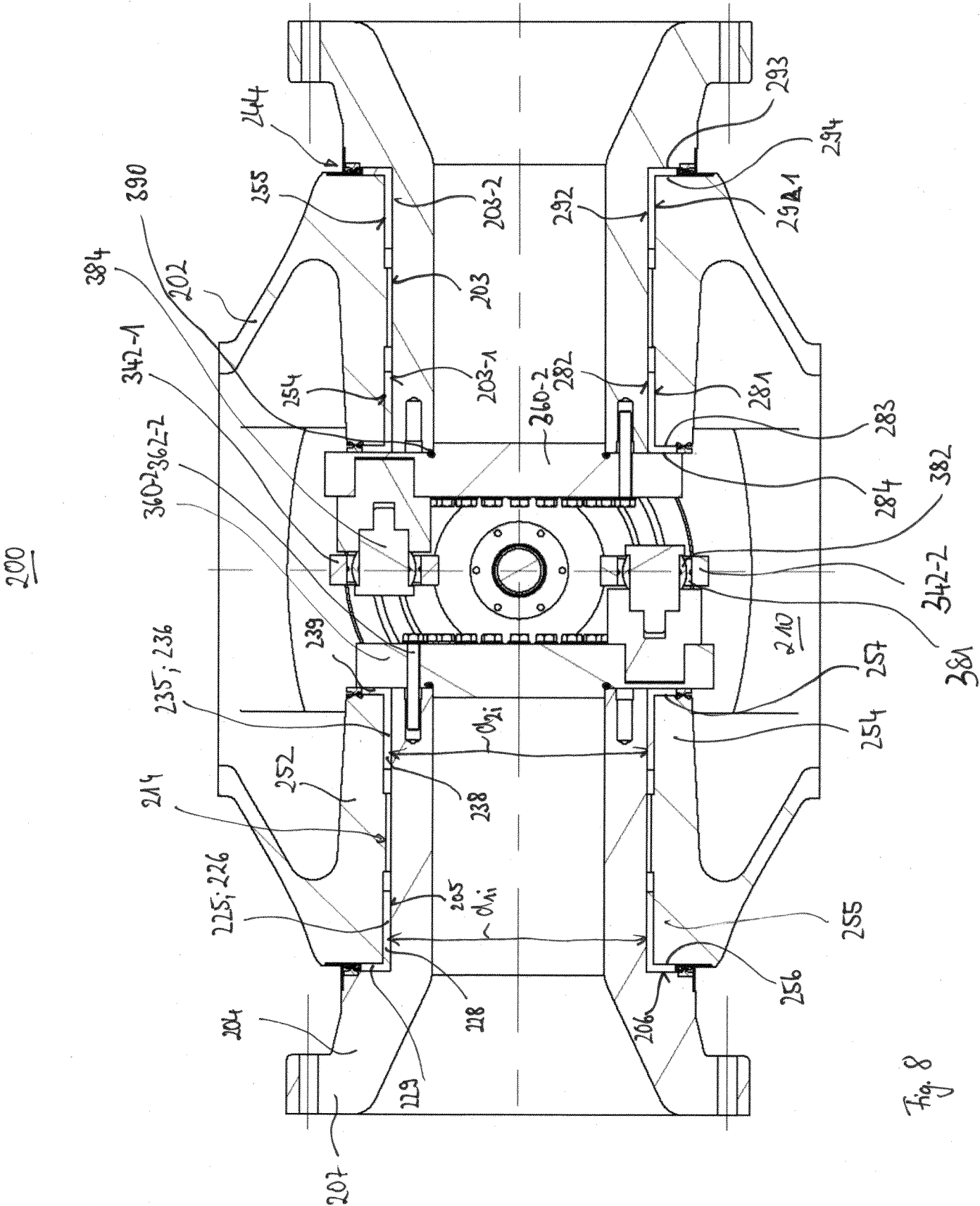


Fig. 7



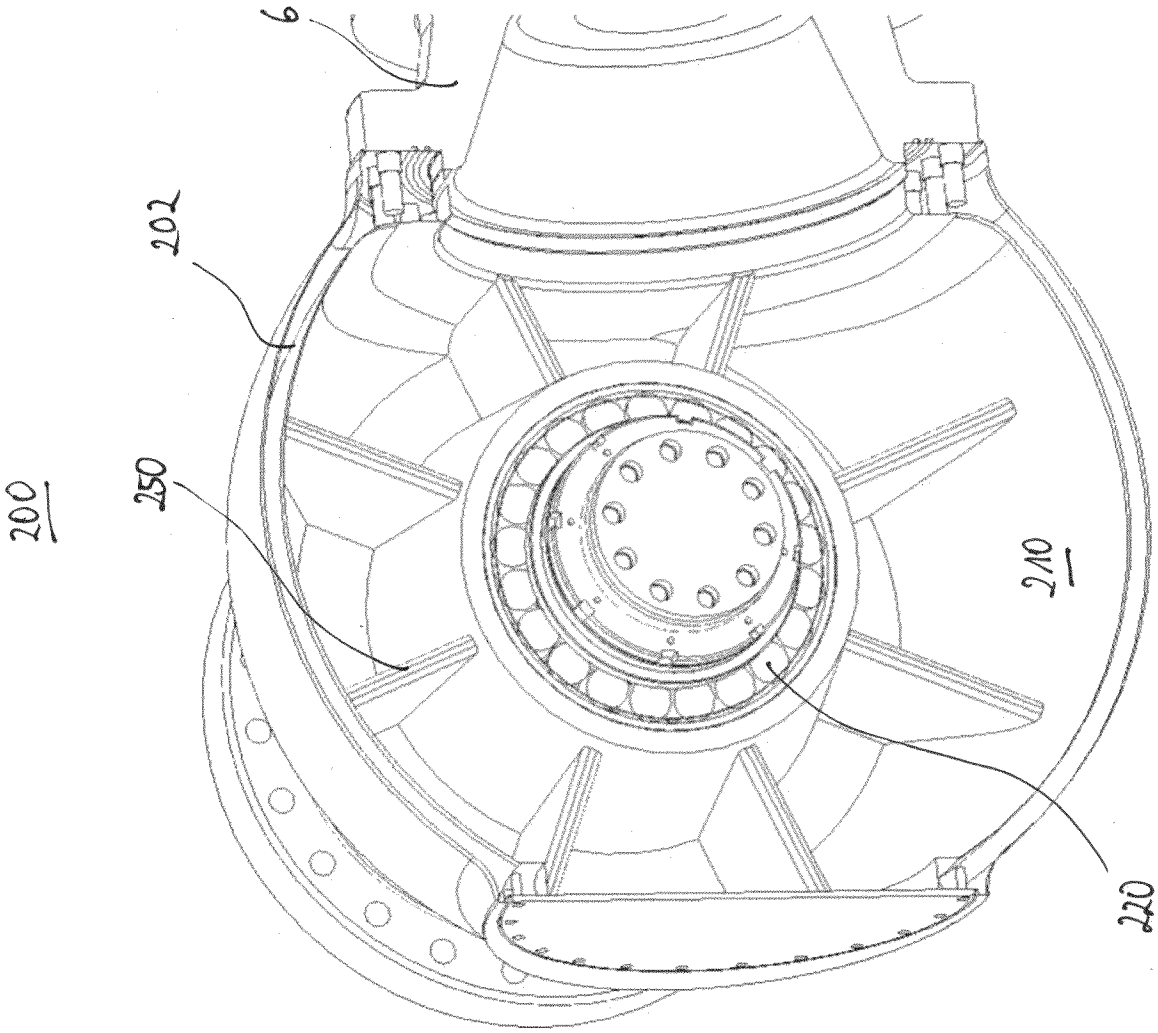


Fig. 9

200

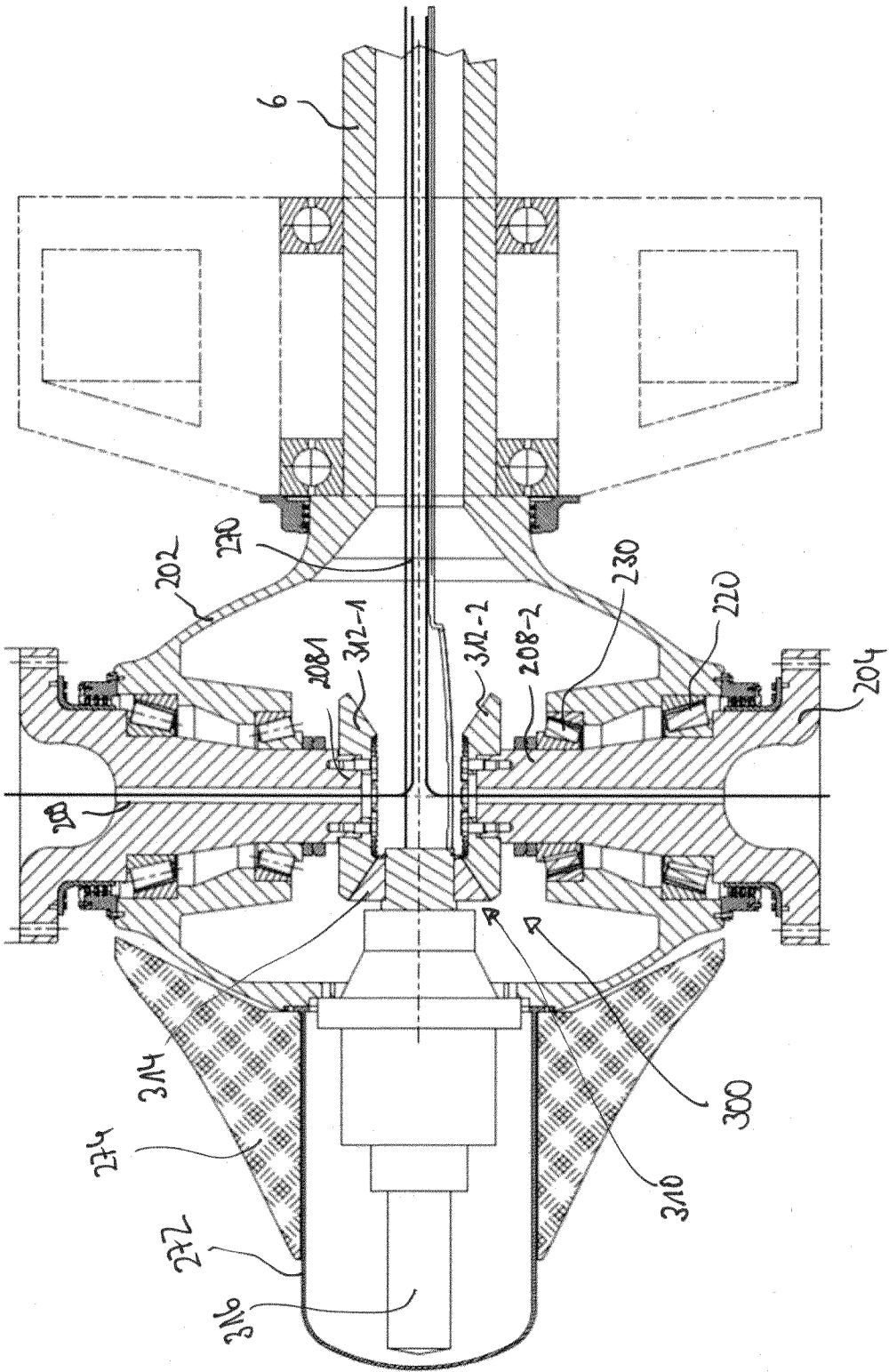


Fig. 10

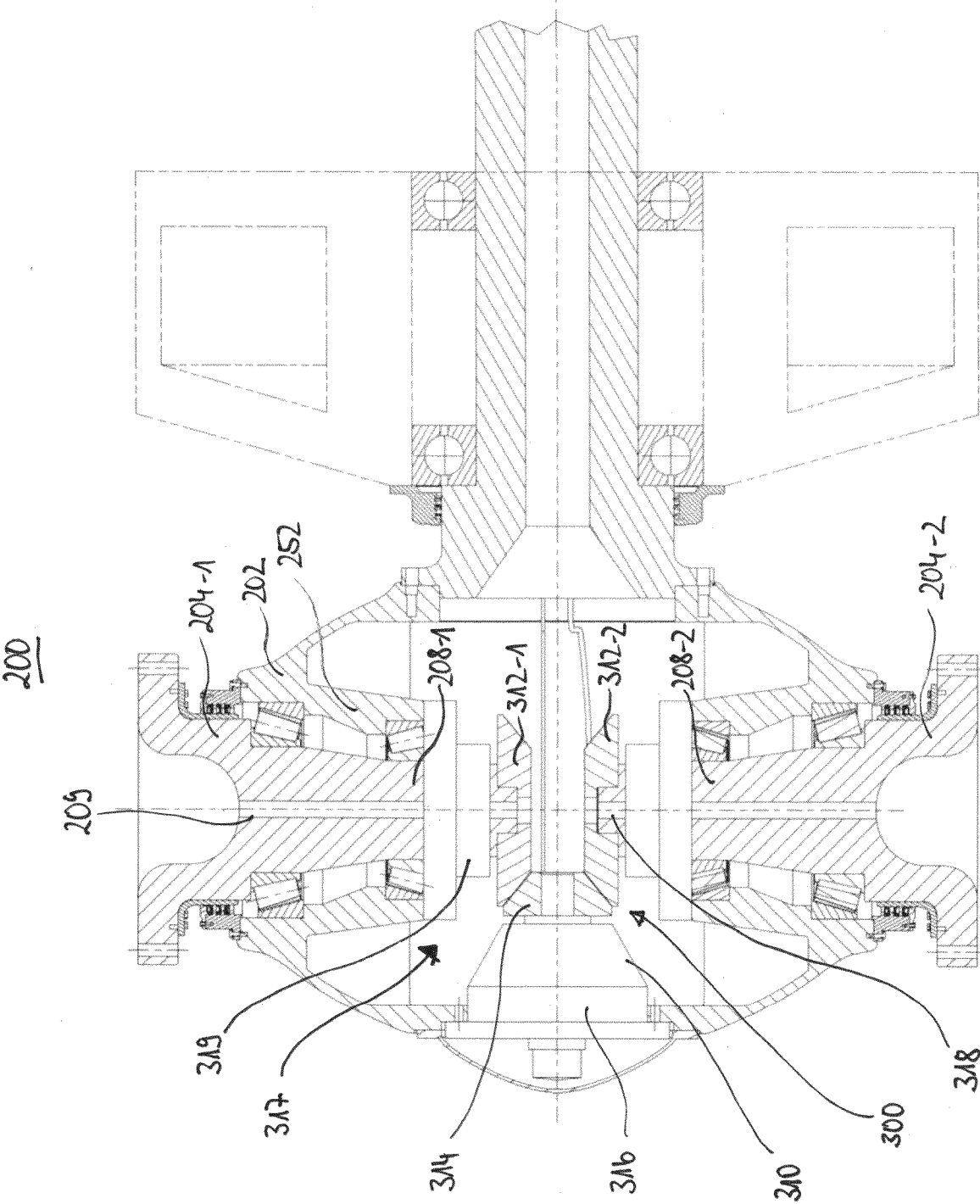


Fig. 11

200

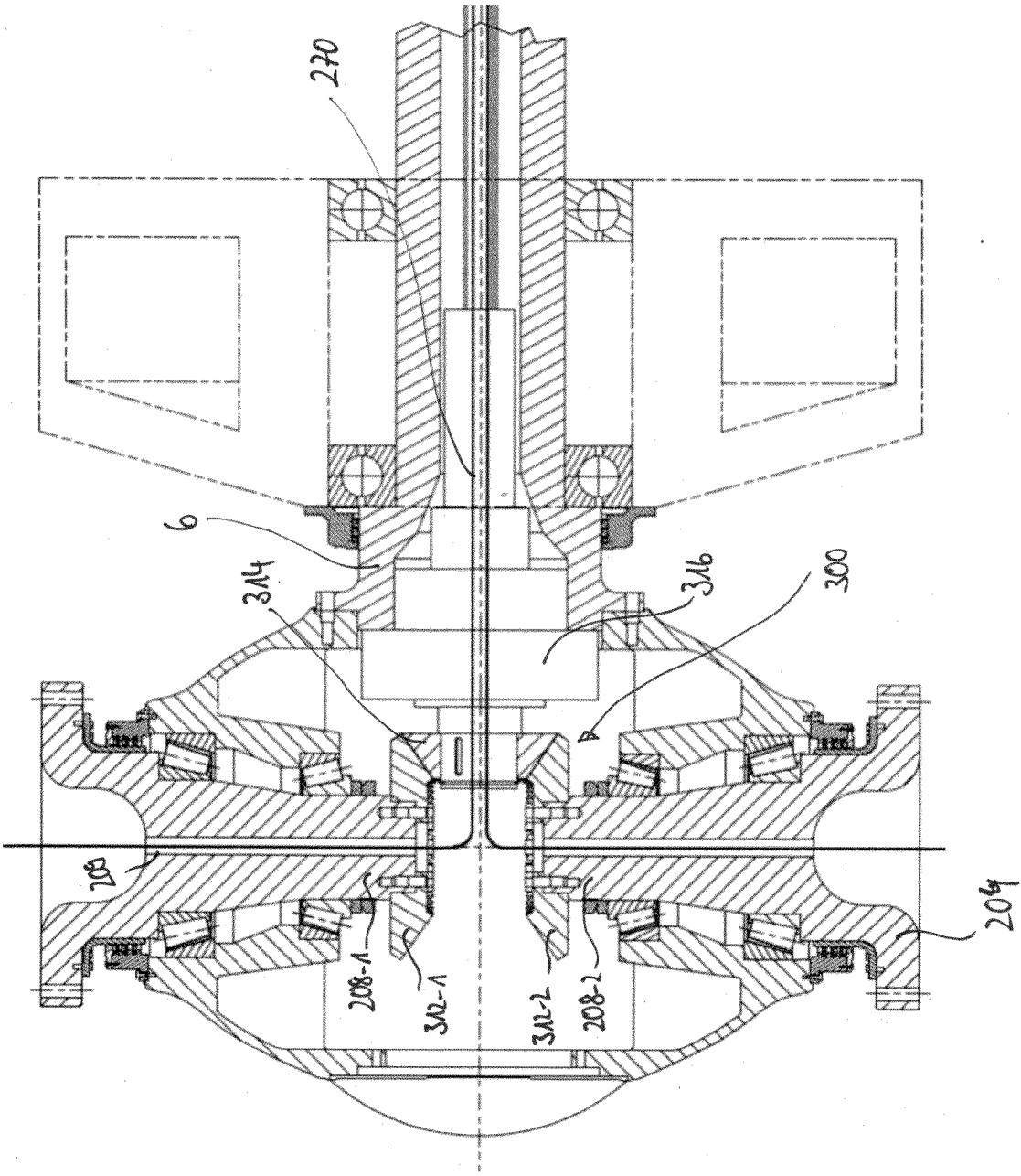


Fig. 12

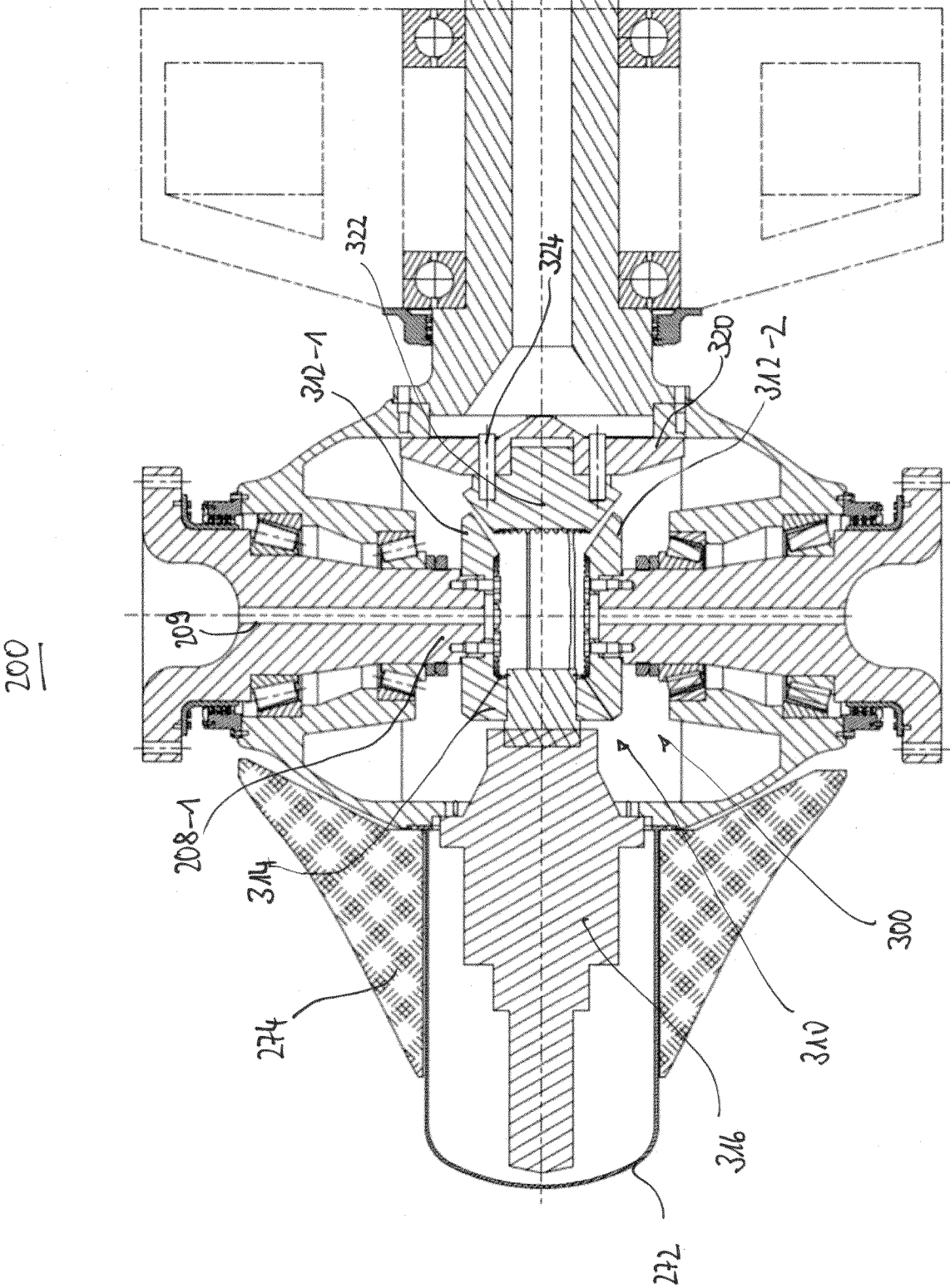


Fig. 13

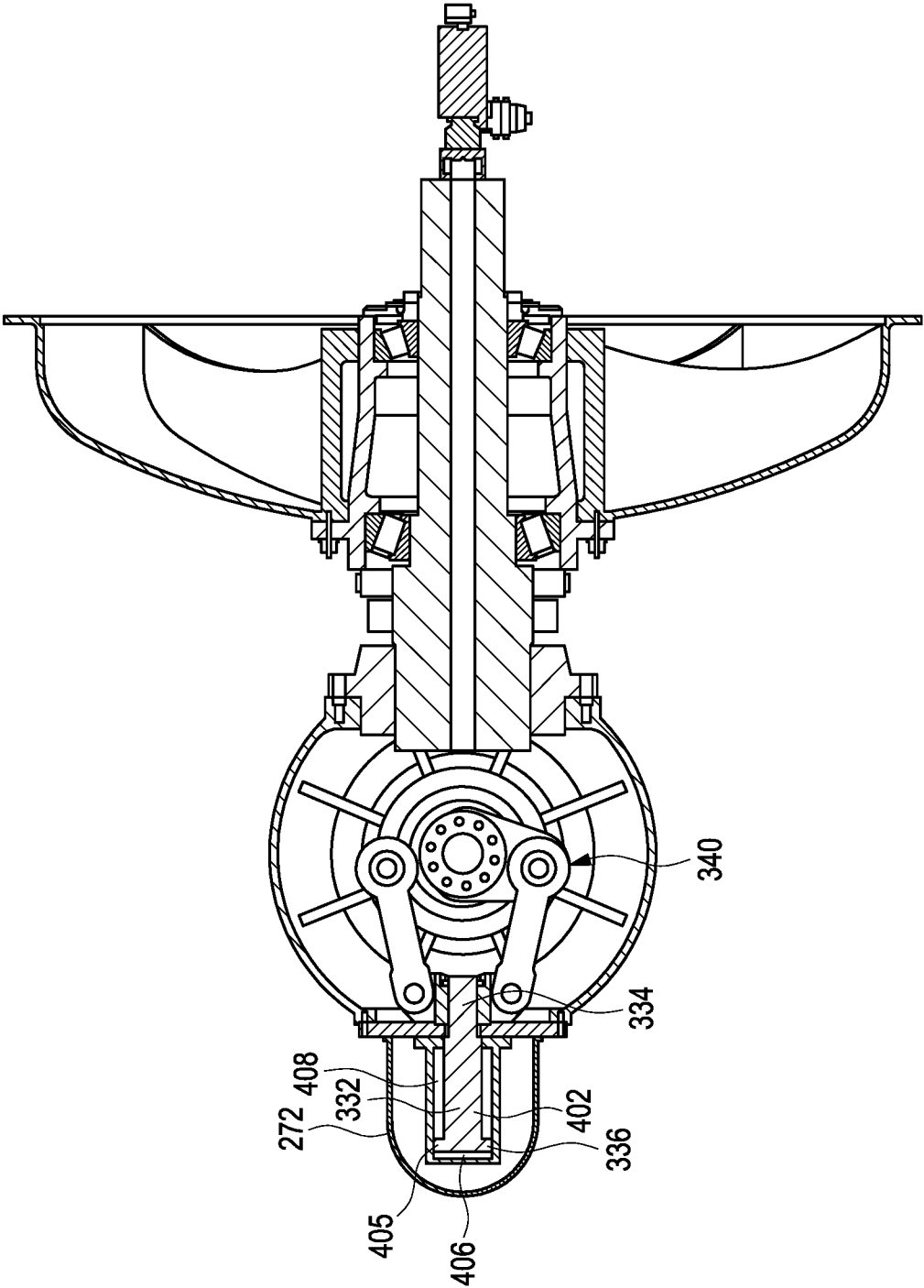


Fig. 14

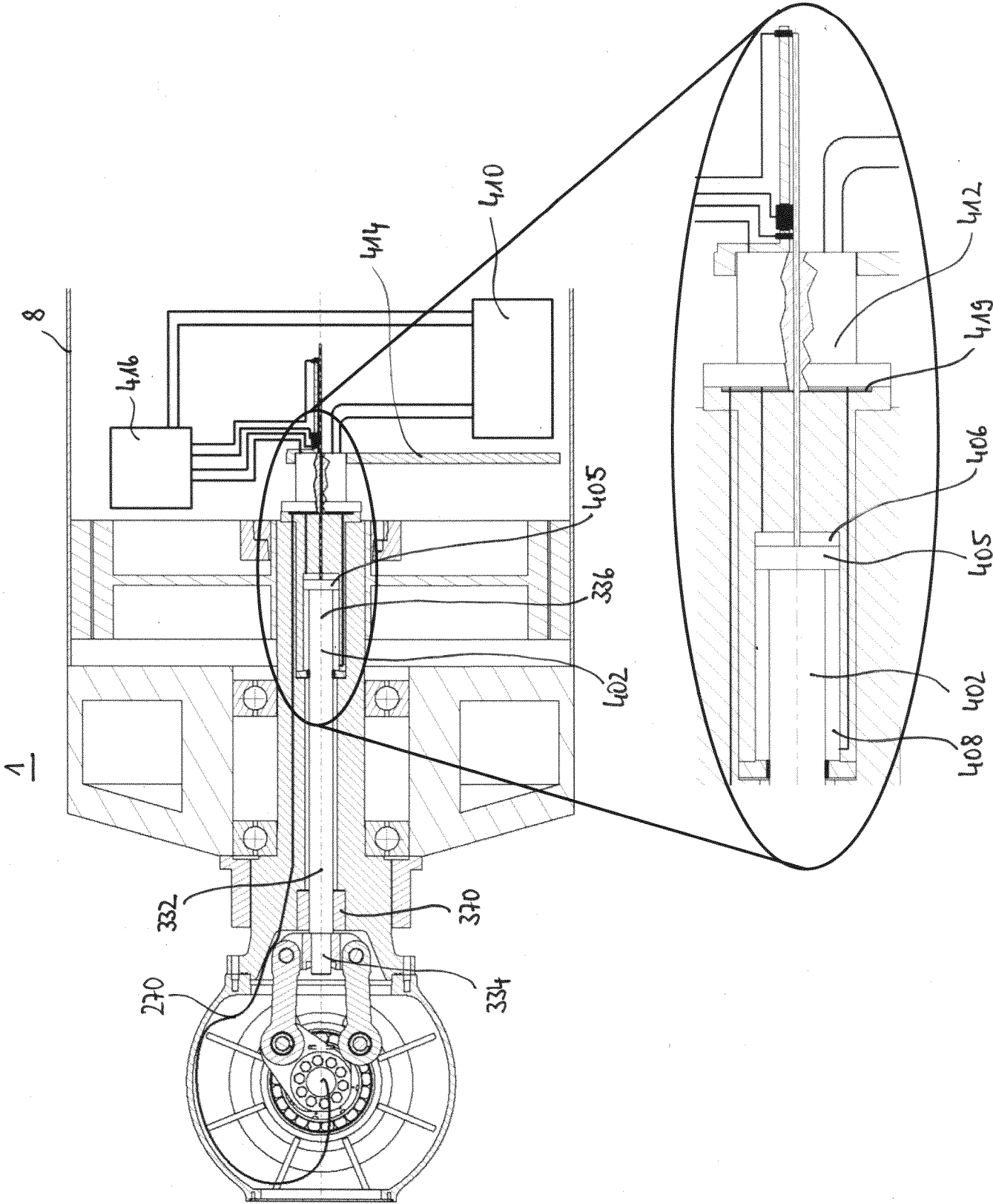


Fig. 15

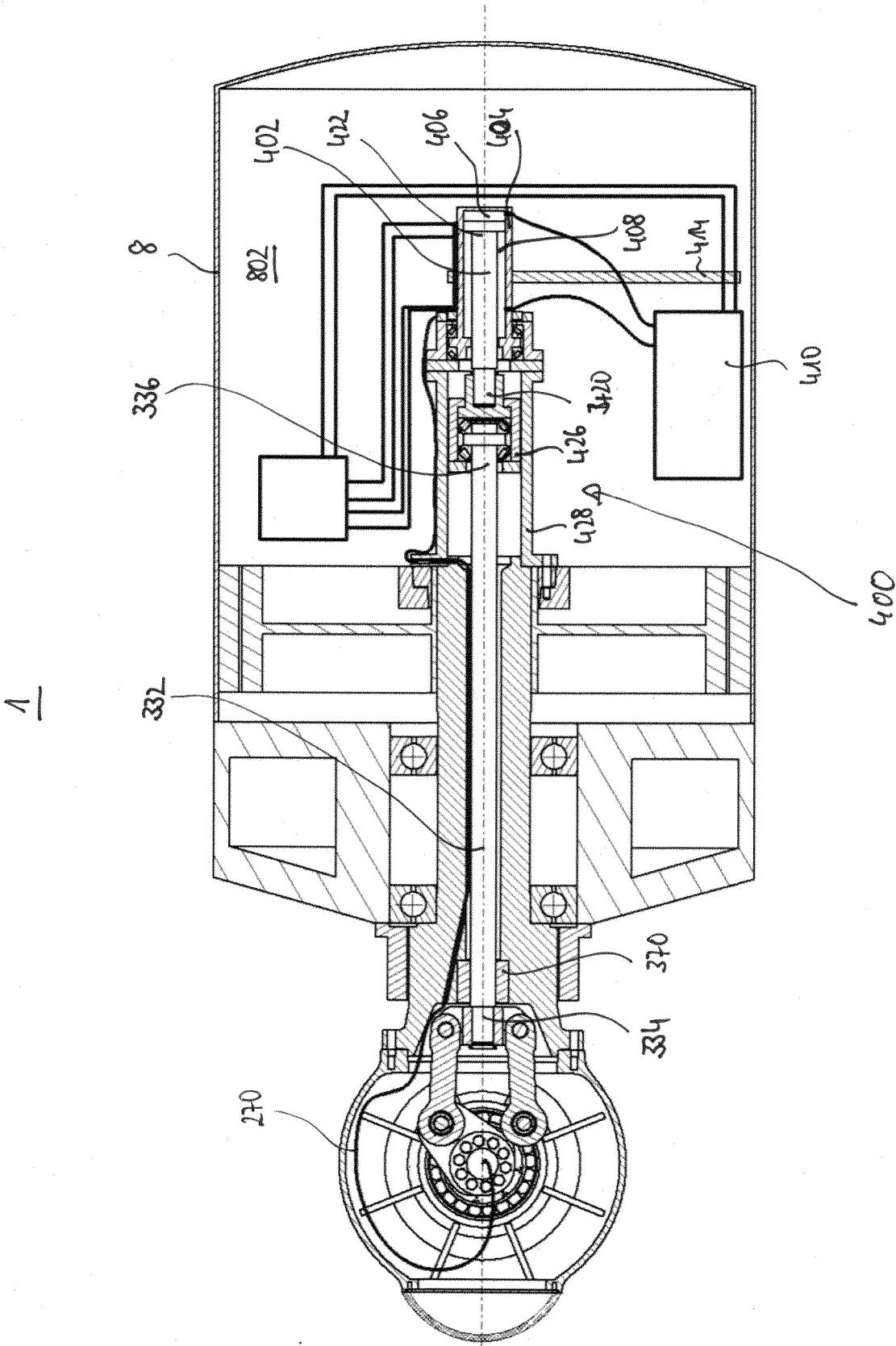


Fig. 16

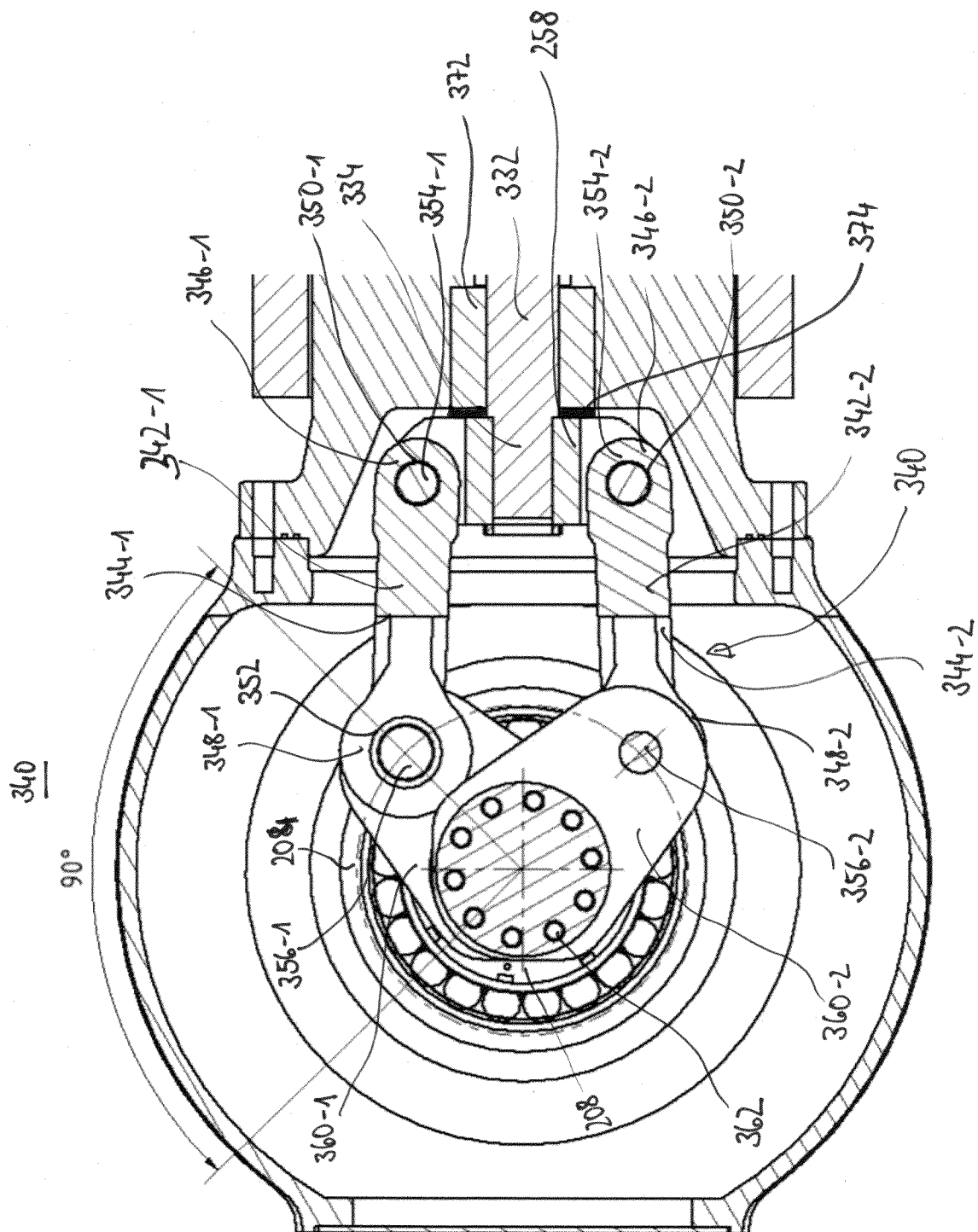


fig. 17

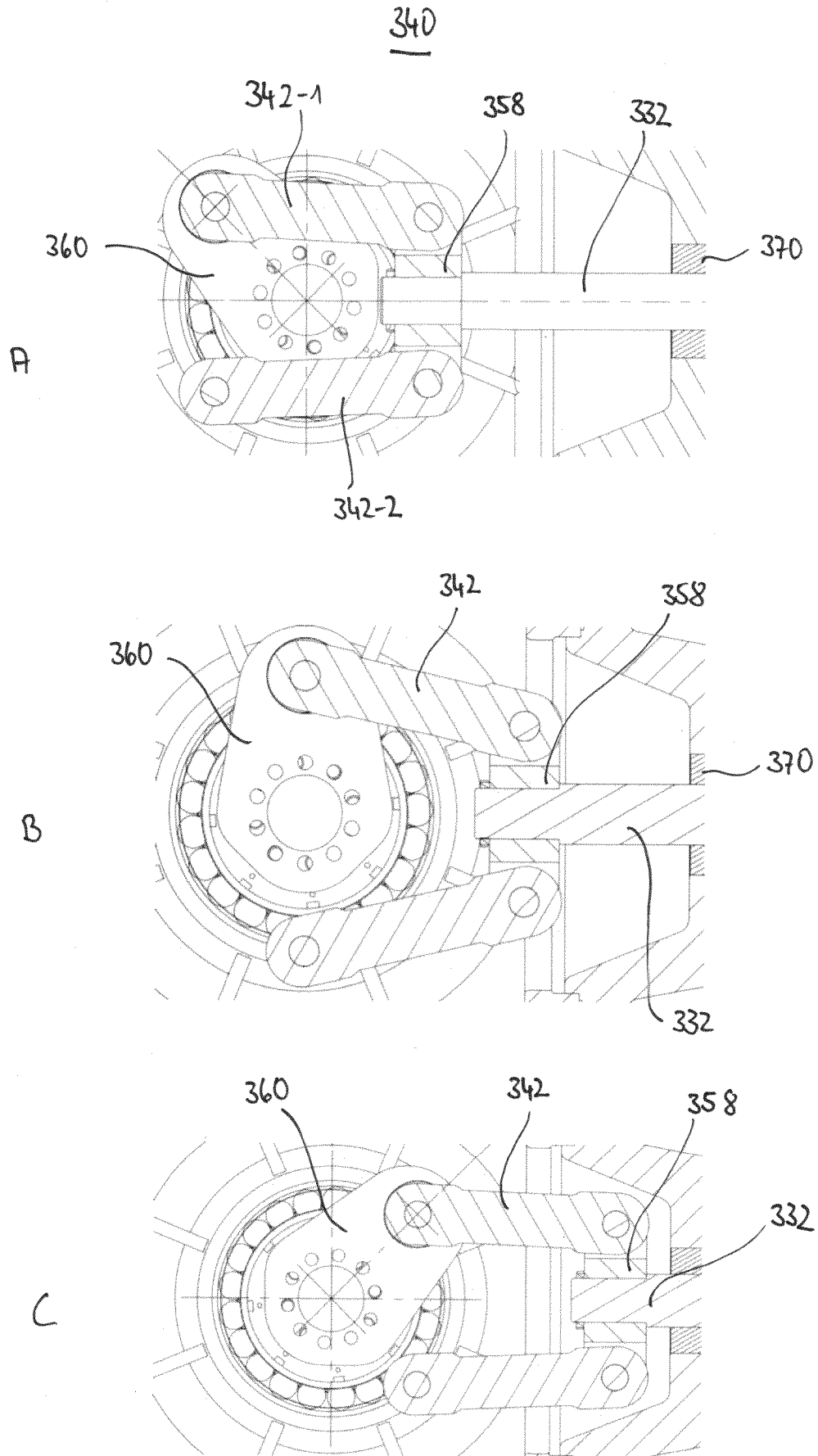


Fig. 18

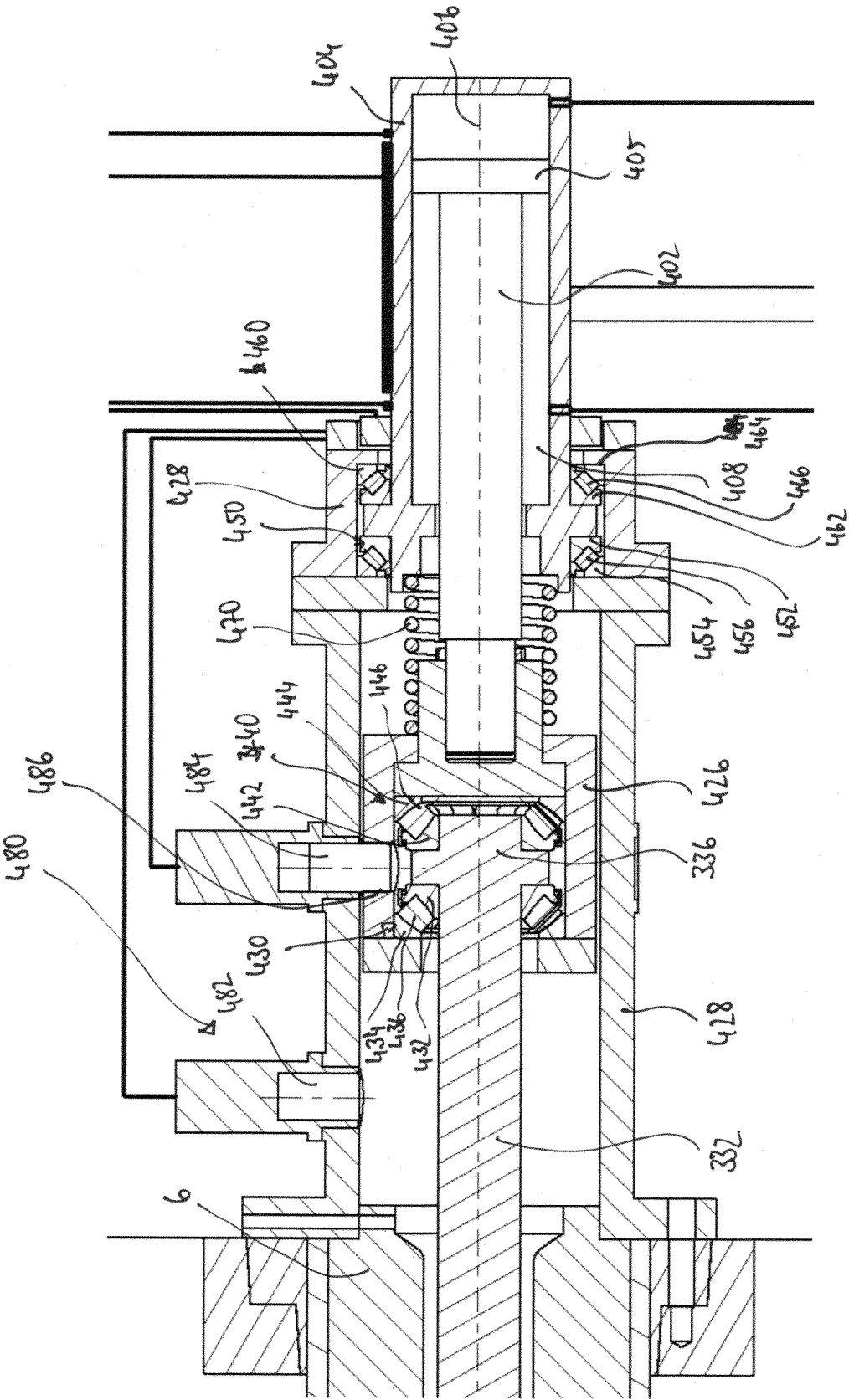


Fig. 19

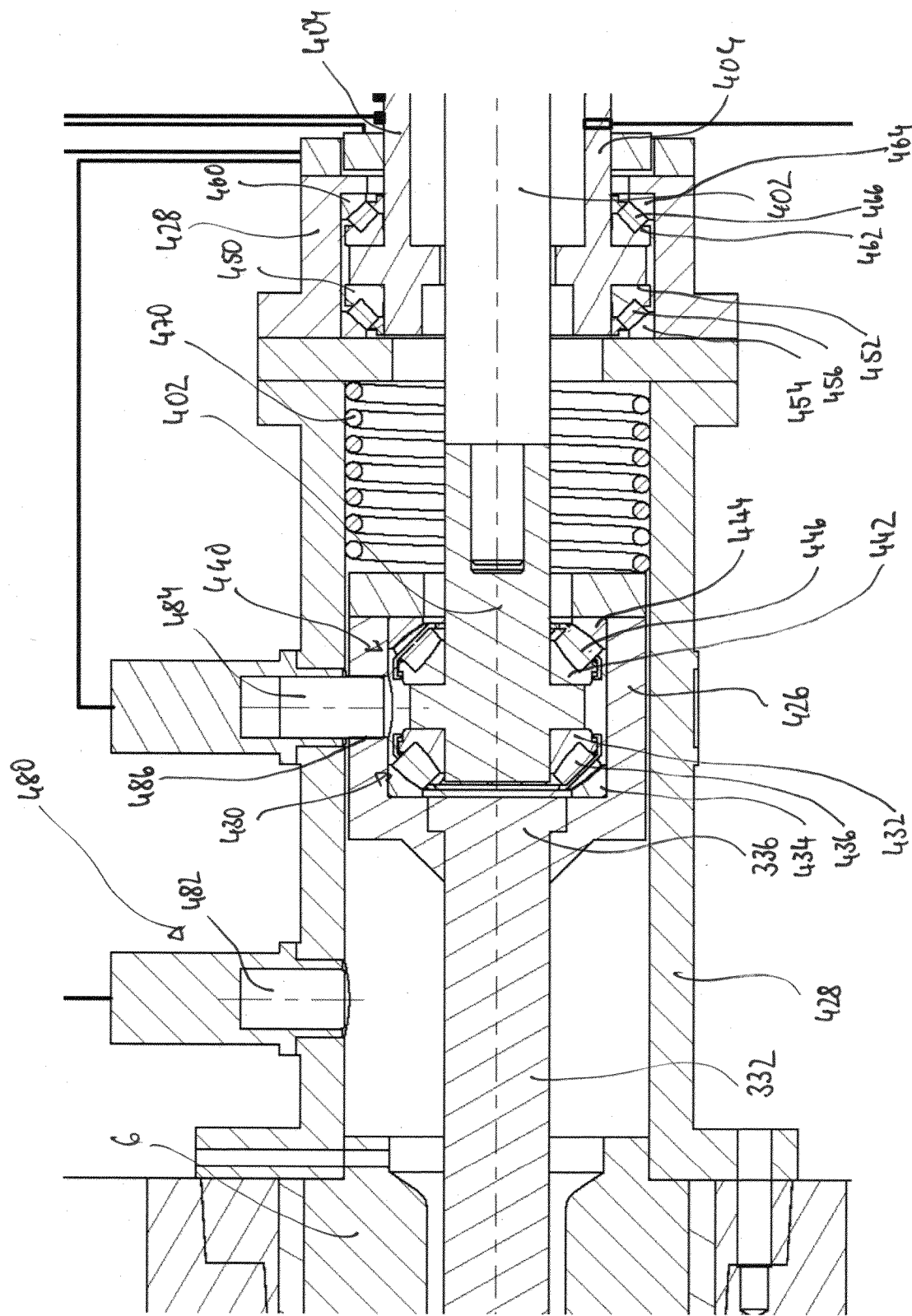


Fig. 20

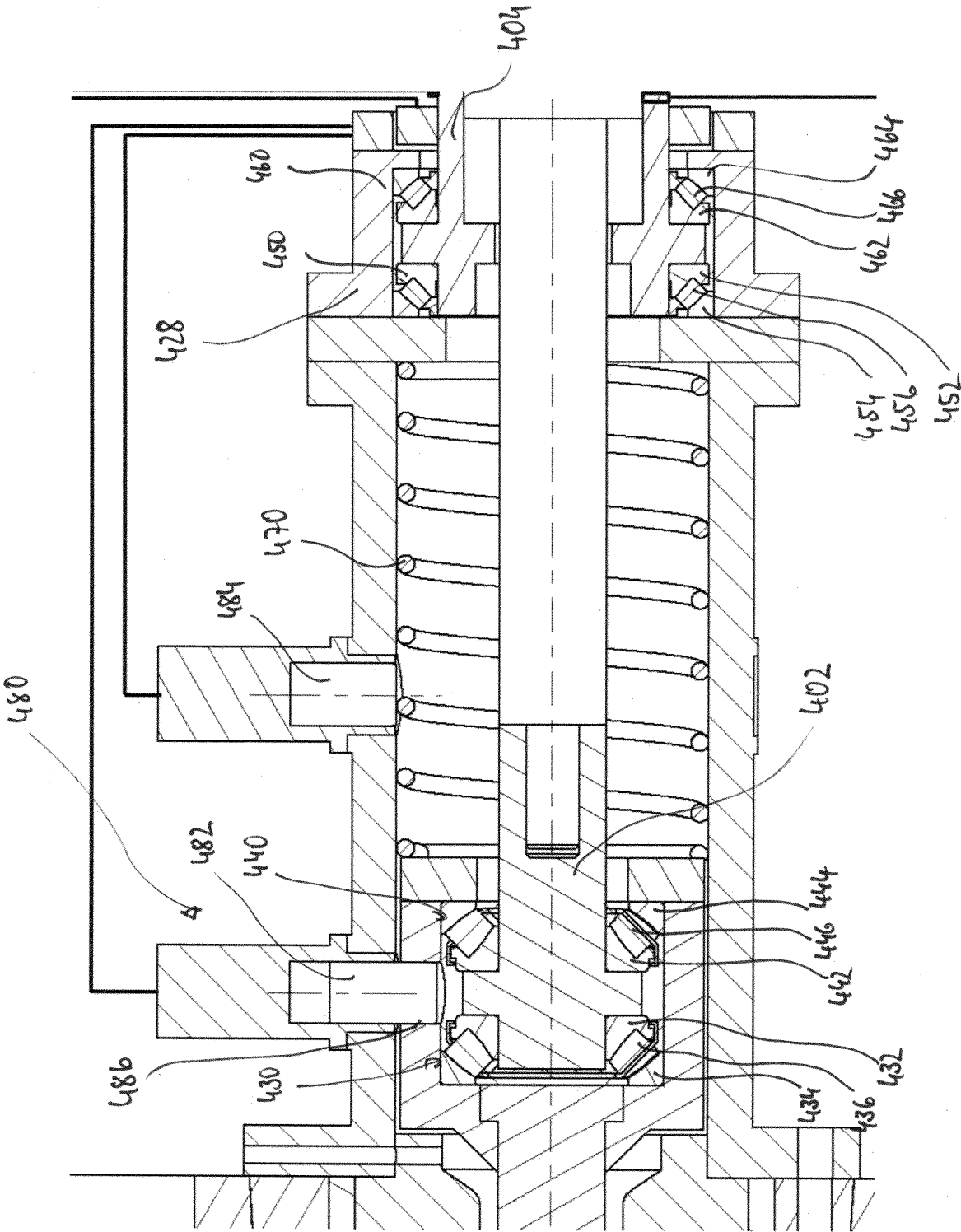


Fig. 21

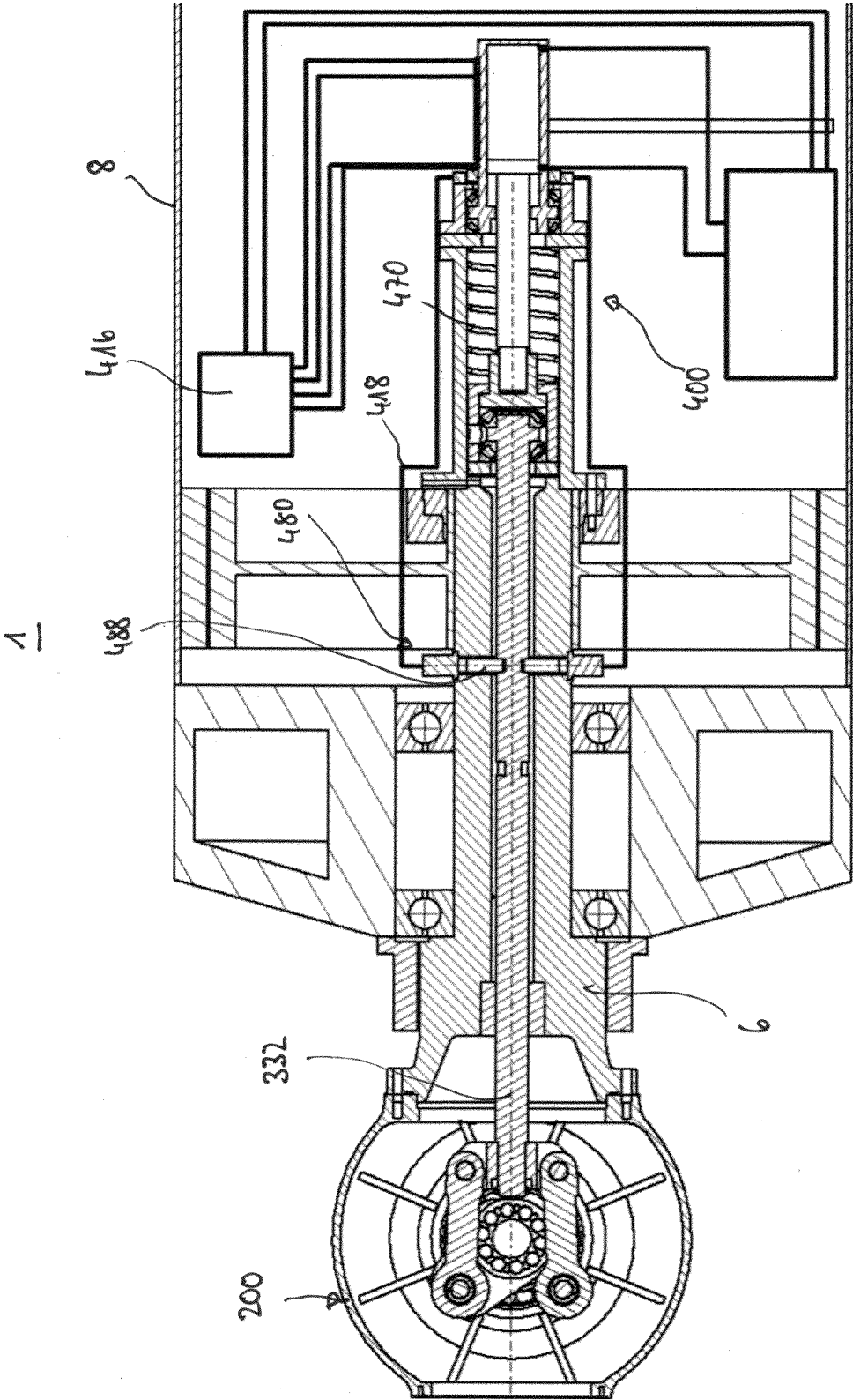


Fig. 22

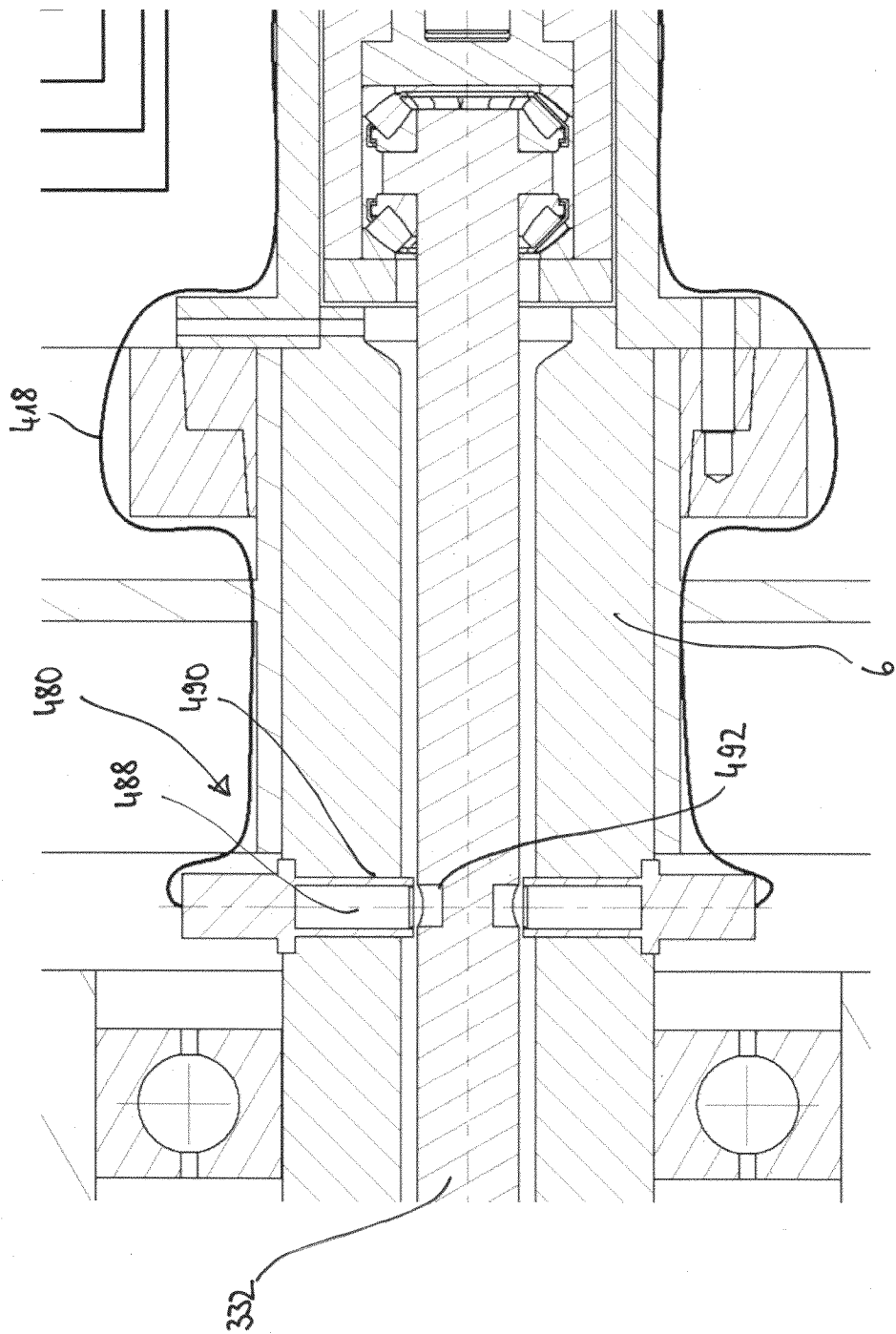


Fig. 23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/085990

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F03B 3/14 (2006.01)i; F03B 13/10 (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) F03B 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	CN 111156123 A (UNIV SHANDONG JIAOTONG) 15 May 2020 (2020-05-15) paragraphs [0002], [0007], [0008], [0026], [0046], [0086], [0089], [0091], [0092]; figures 1-6	1,2,4,5,10-14
X	US 2012114483 A1 (CARR FRED [US]) 10 May 2012 (2012-05-10) paragraphs [0003], [0053] - [0046]; figures 1-5	1,2,4-6,10-14
A	CN 111173666 B (UNIV SHANDONG JIAOTONG) 25 May 2021 (2021-05-25) page 3; figures 3-8	1-14
A	DE 4229430 C2 (RIEDMAYER HERBERT [DE]) 16 June 1994 (1994-06-16) column 3, line 34 - column 4, line 8; figures 1,2	1-14
A	DE 102020104347 A1 (VOITH PATENT GMBH [DE]) 31 December 2020 (2020-12-31) abstract; figure 1	1-14
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 March 2025		Date of mailing of the international search report 04 April 2025
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Lux, Ralph Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/085990

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	111156123	A	15 May 2020	NONE	
US	2012114483	A1	10 May 2012	NONE	
CN	111173666	B	25 May 2021	NONE	
DE	4229430	C2	16 June 1994	NONE	
DE	102020104347	A1	31 December 2020	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F03B3/14 F03B13/10 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F03B		
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	CN 111 156 123 A (UNIV SHANDONG JIAOTONG) 15. Mai 2020 (2020-05-15) Absätze [0002], [0007], [0008], [0026], [0046], [0086], [0089], [0091], [0092]; Abbildungen 1-6 -----	1, 2, 4, 5, 10-14
X	US 2012/114483 A1 (CARR FRED [US]) 10. Mai 2012 (2012-05-10) Absätze [0003], [0053] - [0046]; Abbildungen 1-5 -----	1, 2, 4-6, 10-14
A	CN 111 173 666 B (UNIV SHANDONG JIAOTONG) 25. Mai 2021 (2021-05-25) Seite 3; Abbildungen 3-8 ----- - / - -	1-14
☒ 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 27. März 2025		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 04/04/2025
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 Lux, Ralph

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 42 29 430 C2 (RIEDMAYER HERBERT [DE]) 16. Juni 1994 (1994-06-16) Spalte 3, Zeile 34 - Spalte 4, Zeile 8; Abbildungen 1,2 -----	1 - 14
A	DE 10 2020 104347 A1 (VOITH PATENT GMBH [DE]) 31. Dezember 2020 (2020-12-31) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1 - 14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/085990

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 111156123 A	15-05-2020	KEINE	
US 2012114483 A1	10-05-2012	KEINE	
CN 111173666 B	25-05-2021	KEINE	
DE 4229430 C2	16-06-1994	KEINE	
DE 102020104347 A1	31-12-2020	KEINE	