



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 009 688.4**

(22) Anmeldetag: **28.01.2011**

(43) Offenlegungstag: **02.08.2012**

(51) Int Cl.: **F03B 13/10 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

**Hagemann, Benjamin, 70839, Gerlingen, DE;
Scharmann, Nik, 97082, Würzburg, DE; Vath,
Andreas, 63849, Leidersbach, DE; Fass, Ulrich,
64289, Darmstadt, DE**

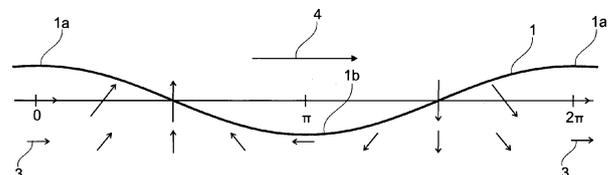
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Wellenenergiemaschine**

(57) Zusammenfassung: Offenbart ist eine Wellenenergiemaschine, die zur Nutzung einer umlaufenden Orbitalströmung eines welligen Gewässers – insbesondere eines Meeres – dient. Dies geschieht über zumindest einen Rotor, insbesondere über eine Turbine, an dessen/deren Rotorwelle eine Abtriebsleistung erzeugbar ist. Der Rotor und die Rotorwelle sind um ein im Wesentlichen ortsfestes Lager mit der umlaufenden Orbitalströmung umlaufend schwenkbar.

Dabei sind gemäß einer ersten Weiterbildung der Erfindung vom Rotor unterschiedliche – insbesondere gegeneinander gerichtete – Richtungen einer durch Addition aus der Orbitalströmung und aus einer Relativströmung gebildeten Gesamtströmung gleichzeitig für die Abtriebsleistung nutzbar. Die Gesamtströmung ist wie eine für den Rotor scheinbare oder effektive Strömung zu verstehen. Insbesondere ist dabei auch eine Gegenströmung für die Abtriebsleistung nutzbar, die den Rotor von hinten anströmt.

Gemäß einer zweiten Weiterbildung der Erfindung sind am Rotor gleichzeitige unterschiedliche – insbesondere gegeneinander gerichtete – Richtungen der Gesamtströmung vermieden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Wellenenergiemaschine gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Die Erfindung betrifft eine Wellenenergiemaschine zur Umwandlung von Wellenenergie von Gewässern in nutzbare Energie. Es ist eine Vielzahl von derartigen Maschinen im Stand der Technik bekannt. Diese können nach ihrem Einsatzort unterschieden werden, je nachdem, ob sie auf hoher See oder in Küstennähe angeordnet sind. Eine andere Unterscheidung bezieht sich darauf, wie die Energie aus der Wellenbewegung entnommen wird. So sind auf der Wasseroberfläche schwimmende Bojen bzw. Schwimmkörper bekannt, so dass durch deren Heben und Senken beispielsweise ein Lineargenerator angetrieben wird. Bei einem anderen Maschinenkonzept, dem sogenannten „Wave Roller“ wird am Meeresboden ein flächiges Widerstandselement angebracht, der auf Grund der Bewegung der Wassermoleküle hin und her gekippt wird. Die Bewegungsenergie des Widerstandselements wird in einem Generator beispielsweise in elektrische Energie umgewandelt. Eine Übersicht über Wellenenergiekraftwerke ist in dem Buch „Renewable Energie“ von Godfrey Boyle gezeigt.

[0003] Weiterhin sind Wellenenergiemaschinen bekannt, die im Wesentlichen unter der Wasseroberfläche angeordnet sind, und deren Kurbel- bzw. Rotorwelle von einer umlaufenden Orbitalströmung von Wasserteilchen in Rotation versetzt wird.

[0004] Basierend auf diesem Prinzip ist ein Maschinenkonzept aus der im Jahr 2007 erschienenen Veröffentlichung „A rotating wing for the generation of energy from waves“ von Pinkster et al. bekannt, bei dem der Auftrieb eines angeströmten Flügelprofils in Rotation umgewandelt wird.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Wellenenergiemaschine zur Nutzung einer umlaufenden Orbitalströmung eines welligen Gewässers mit verbessertem Wirkungsgrad zu schaffen.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Wellenenergiemaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0007] Die erfindungsgemäße Wellenenergiemaschine dient zur Nutzung einer umlaufenden Orbitalströmung eines welligen Gewässers – insbesondere eines Meeres – über zumindest einen Rotor – insbesondere über eine Turbine –, an dessen bzw. an deren Rotorwelle eine Abtriebsleistung abgreifbar ist. Der Rotor und die Rotorwelle sind um ein weitgehend ortsfestes Lager mit der umlaufenden Orbitalströmung umlaufend schwenkbar. Damit kann der

Rotor stets passend zur und insbesondere gegen die momentane Orbitalströmung ausgerichtet werden. Dadurch ist der Wirkungsgrad verbessert.

[0008] In [Fig. 2](#) ist ein Beispiel eines erfindungsgemäß schwenkbaren Rotors durch eine momentane Anströmung die Orbitalströmung von links nach rechts gezeigt. Dem entsprechend ist der Rotor in dieser Momentaufnahme senkrecht und die Rotorwelle waagrecht entlang der Orbitalströmung gestellt. Wenn die Orbitalströmung derart umläuft, dass sie zu einem späteren Zeitpunkt von oben nach unten gerichtet ist, werden die Rotorwelle und der erfindungsgemäße Rotor entsprechend im Uhrzeigersinn mitlaufend um ein Lager der gezeigten Anordnung verschwenkt. Durch diese Schwenkbewegung entsteht eine Relativströmung an den geschwenkten Teilen und insbesondere am Rotor (im gezeigten Beispiel an seine Blättern), die sich mit der Orbitalströmung zu einer Gesamtströmung überlagert. Diese Gesamtströmung ist in [Fig. 2](#) (für alle möglichen momentanen Schwenkpositionen) eingezeichnet. Sie führt dazu, dass der Rotor in der gezeigten Momentaufnahme im (in [Fig. 2](#)) oberen Bereich eine Gesamtanströmung erfährt, die (in [Fig. 2](#)) teilweise von rechts nach links gerichtet ist und somit gegen dessen gewünschte Anströmungsrichtung wirkt. Damit entstehen Einbußen des Wirkungsgrades der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschinen. Als Gegenmaßnahme werden zwei prinzipielle Weiterbildungen der Erfindungen bevorzugt.

[0009] Bei einer ersten prinzipiellen Weiterbildung der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine sind vom Rotor unterschiedliche – insbesondere gegeneinander gerichtete – Richtungen einer durch Addition aus der Orbitalströmung und aus einer Relativströmung gebildeten Gesamtströmung gleichzeitig für die Abtriebsleistung nutzbar. Die Gesamtströmung ist wie eine für den Rotor scheinbare Strömung zu verstehen. Insbesondere ist dabei auch der Anteil der Gesamtströmung für die Abtriebsleistung nutzbar, die den Rotor von hinten – also gegen die Orbitalströmung – anströmt. Damit ist der Wirkungsgrad der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine verbessert.

[0010] Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Rotor eine Wells-Turbine mit anströmungsrichtungstoleranten Flügeln. Damit kann auch gegenüber der Orbitalströmung gegenläufig gerichtete Strömungskomponenten der Gesamtströmung für die Abtriebsleistung genutzt werden.

[0011] Für die folgenden bevorzugten Weiterbildungen zur ersten Variante der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine gilt, dass die sich aus einer Überlagerung von Orbital- und Relativströmung ergebende Gesamtströmung weitgehend kreisförmig um einen Nullpunkt verläuft, der im Weiteren als Auge

bezeichnet werden soll. Der Nullpunkt bildet sich dort aus, wo die beiden Strömungskomponenten sich gegenseitig kompensieren. In einem ersten Bereich an der vom Auge abgewandten Seite des Lagers und ein Zwischenbereich, der zwischen dem Lager und dem Auge angeordnet ist, entspricht dabei die Strömungsrichtung der Gesamtströmung derjenigen der Orbitalströmung, während in einem zweiten Bereich außerhalb des Auges die Strömungsrichtung der Gesamtströmung gegen diejenige der Orbitalströmung gerichtet ist. Dabei hängt der Abstand des Auges zu dem Lager des Rotors von den Parametern örtliche Strömungsgeschwindigkeit der Orbitalströmung und der Geschwindigkeit der Schwenkbewegung ab, variiert also im Realfall mit sich ändernden Einsatzbedingungen (Wellenzuständen).

[0012] Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Rotor ein Verstellrotor mit mehreren Blättern bzw. Flügeln bzw. Schaufeln, deren Anstellwinkel unabhängig voneinander auch gegeneinander einstellbar sind.

[0013] Dabei können die Blätter in einem zur Rotorwelle benachbarten Abschnitt profillos sein, dessen Länge etwa dem für das Wellenklima am Einsatzort des Rotors typischen Abstand des Auges zum Lager entspricht. Profilierte Abschnitte der Blätter, die einen ersten (unteren) Bereich durchlaufen, werden mit einem positiven Anstellwinkel angestellt, während die einen zweiten (oberen) Bereich durchlaufenden Blätter mit einem negativen Anstellwinkel angestellt werden. Damit wird jedes Rotorblatt pro Umlauf zwischen zwei grundsätzlichen Anstellwinkeln verstellt. Um die Wandlungseffizienz zu optimieren können diese beiden Anstellwinkel zusätzlich je nach Betriebspunkt auch noch variiert werden, um den Rotor nicht nur an die örtlich herrschende Anströmrichtung, sondern auch an das herrschende Geschwindigkeitsprofil anzupassen. Dies entspricht beispielweise der Pitchverstellung von Windkraftanlagen.

[0014] Bei einem anderen besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Rotor ebenfalls ein Verstellrotor mit mehreren Blättern bzw. Flügeln bzw. Schaufeln, deren Anstellwinkel unabhängig voneinander auch gegeneinander einstellbar sind, wobei die Blätter um ein Mehrfaches länger sind, als der Abstand des Auges zum Lager. Die den ersten (unteren) Bereich durchlaufenden Blätter werden mit einem positiven Anstellwinkel angestellt, während die den zweiten (oberen) Bereich und damit auch einen (oberen) Zwischenbereich durchlaufenden Blätter mit einem negativen Anstellwinkel angestellt werden. Der Zwischenbereich ist dabei im Vergleich zum zweiten Bereich verhältnismäßig klein, so dass die Blätter, die wegen des Durchlaufs durch den zweiten Bereich negativ angestellt werden, nur in dem verhältnismäßig kleinen Zwischenbereich aus der Rich-

tung angeströmt werden, die nicht zum negativen Anstellwinkel passt.

[0015] Bei einem anderen besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Rotor ein Verstellrotor mit mehreren Blättern bzw. Flügeln bzw. Schaufeln, wobei jedes Blatt in Segmente unterteilt ist, deren Anstellwinkel unabhängig voneinander auch gegeneinander einstellbar sind. Damit können Blätter, die gemäß der Orbitalströmung und gleichzeitig aus der Gegenrichtung – gegen die Orbitalströmung – angeströmt werden, abschnittsweise an die jeweiligen Bedingungen angepasst werden. Es können also Segmente eines Blattes, die den Zwischenbereich durchlaufen, positiv angestellt werden, während andere Segmente des gleichen Blattes, die den (benachbarten) zweiten Bereich durchlaufen, negativ angestellt werden.

[0016] Bei einem anderen besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Rotor ein Verstellrotor mit mehreren Blättern bzw. Flügeln bzw. Schaufeln, deren Anstellwinkel unabhängig voneinander auch gegeneinander einstellbar sind. Dabei ist ein Schwenkarm vorgesehen, der sich vom Lager bis etwa zur Rotorwelle erstreckt, und der um das Lager umlaufend schwenkbar ist. Die Rotorwelle ist an einem äußeren Endabschnitt des Schwenkarms drehbar gelagert, wobei die Länge des Schwenkarms derart gewählt ist, dass die Rotorwelle des Rotors im Auge angeordnet ist. Damit kann die Rotorwelle mit dem Auge in der umlaufenden Orbitalströmung umlaufen und wird dabei stets im Auge gehalten werden. Der Umlauf des Schwenkarms kann passiv durch die auf den Rotor wirkende Widerstandskraft oder aktiv durch gezieltes Nachführen erfolgen. Damit entfällt der kritische Zwischenbereich. Die den ersten (unteren) Bereich durchlaufenden Blätter werden mit einem positiven Anstellwinkel angestellt, während die den zweiten (oberen) Bereich durchlaufenden Blätter mit einem negativen Anstellwinkel angestellt werden.

[0017] Wenn die Rotorwelle über den Schwenkarm in das Auge gebracht und durch den unter Umständen radial einstellbaren und umlaufenden Schwenkarm dort gehalten wird (ist der Schwenkarm nicht längenveränderbar, dann sollte er an die durchschnittliche Augenposition am Einsatzort angepasst sein), entsteht ein Freiheitsgrad bzgl. der Ausrichtung des Rotors: die Rotorwelle kann stets etwa entlang der Orbitalströmung ausgerichtet sein, oder die Rotorwelle kann zur Orbitalströmung angestellt sein, da der Rotor auch dann von der Gesamtströmung mit optimaler Effizienz angeströmt wird. Voraussetzung hierfür ist ein entsprechendes Pitchen der Rotorflügel oder die Verwendung einer strömungsrichtungsunabhängigen Turbine, wie zum Beispiel einer Wells-Turbine.

[0018] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel hat der Rotor mehrere den Magnus-Effekt nutzende im Wesentlichen kreiszylindrische Flettner-Rotoren, die sich etwa radial von der Rotorwelle erstrecken, und die rotatorisch unabhängig voneinander auch in einander entgegengesetzten Richtungen antreibbar sind. Dabei ist ein Schwenkarm vorgesehen, der sich vom Lager bis etwa zur Rotorwelle erstreckt, und der um das Lager umlaufend schwenkbar ist. Es sind auch Ausführungen mit den beschriebenen Flettner-Rotoren aber ohne Schwenkarm möglich. Die Rotorwelle ist an einem äußeren Endabschnitt des Schwenkarms drehbar gelagert. Die Länge des Schwenkarms ist derart gewählt, dass die Rotorwelle des Rotors im Auge angeordnet ist. Damit kann die Rotorwelle mit dem Auge in der umlaufenden Orbitalströmung umlaufen und wird stets im Auge gehalten. Somit entfällt der kritische Zwischenbereich. Die den ersten (unteren) Bereich durchlaufenden Flettner-Rotoren werden rotatorisch in eine erste Richtung angetrieben, während die den zweiten (oberen) Bereich durchlaufenden Flettner-Rotoren rotatorisch in eine zweite Richtung angetrieben werden.

[0019] Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung hat dabei jeder Flettner-Rotor für seinen rotatorischen Antrieb zwei Savonius-Rotoren, deren Drehachsen vorzugsweise derjenigen des jeweiligen Flettner-Rotors gleichen. Die Wirkrichtungen der Savonius-Rotoren sind gegeneinander gerichtet, wobei jeweils ein Savonius-Rotor über eine gemeinsame oder über eine jeweilige Abschirmvorrichtung – z. B. über eine Hülse – von der Gesamtströmung abschirmbar ist. Die den ersten (unteren) Bereich durchlaufenden Flettner-Rotoren werden vom jeweiligen ersten Savonius-Rotor in die erste Richtung angetrieben, während die den zweiten (oberen) Bereich durchlaufenden Flettner-Rotoren vom jeweiligen zweiten Savonius-Rotor in die zweite Richtung angetrieben werden. Alternativ zu einer Hülsenlösung sind auch Kuppplungslösungen denkbar, bei denen der gewünschte Savonius-Rotor an den Flettner-Rotor angekuppelt wird, während der andere abgekuppelt ist und frei dreht. Die Savonius-Rotoren sollten dabei vorzugsweise am äußeren Ende der Flettner-Rotoren angeordnet sein, da hier die Strömungsgeschwindigkeiten wesentlich größer sind.

[0020] Bei einer zweiten prinzipiellen Weiterbildung der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine werden am Rotor unterschiedliche – insbesondere gegeneinander gerichtete – Richtungen der durch Addition aus der Orbitalströmung und aus einer Relativströmung gebildeten Gesamtströmung für die Abtriebsleistung vermieden. Auf den Rotor wirkt also zu jedem Moment eine Gesamtströmung ein, die stets im Wesentlichen eine einheitliche Richtung hat, obwohl sie über die Zeit betrachtet umläuft. Die Gesamtströmung ist wie eine für den Rotor scheinbare Strömung zu verstehen. Auch damit ist der Wirkungs-

grad der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine verbessert.

[0021] Auch für die folgenden Ausgestaltungen der zweiten prinzipiellen Weiterbildung gilt, dass ein Auge von der Gesamtströmung an einer Stelle gebildet wird, an der sich Orbitalströmung und Relativströmung kompensieren. Ein erster Bereich an der vom Auge abgewandten Seite und ein Zwischenbereich, der zwischen der Rotorwelle und dem Auge angeordnet ist, wird dabei von der Gesamtströmung aus der Richtung der Orbitalströmung angeströmt, während ein zweiter Bereich außerhalb des Auges von der Gesamtströmung aus der Gegenrichtung – also gegen die Orbitalströmung – angeströmt wird.

[0022] Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel hat der Rotor Blätter bzw. Flügel bzw. Schaufeln, deren Länge für die typischen Wellenzustände in etwa dem mittleren Abstand des Auges von dem Lager entspricht. Damit durchlaufen die umlaufenden Blätter nur den ersten Bereich und den Zwischenbereich, so dass sie von der Gesamtströmung im Wesentlichen aus der Richtung gemäß der Orbitalströmung angeströmt werden.

[0023] Ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel hat ein Schwenkarm, der sich vom Lager bis etwa zur Rotorwelle erstreckt, und der um das Lager umlaufend schwenkbar ist. Die Rotorwelle ist dabei an einem äußeren Endabschnitt des Schwenkarms drehbar gelagert.

[0024] Dabei kann die Länge des Schwenkarms größer sein, als die Summe aus dem Radius des Rotors und aus dem Abstand des Auges von der Rotorwelle. Damit ist der Rotor stets im zweiten Bereich angeordnet, wo er komplett aus der Richtung gegen die Orbitalströmung angeströmt wird. Entsprechend haben alle Blätter einen negativen Anstellwinkel.

[0025] Oder der Radius des Rotors ist kleiner, als die Summe aus der Länge des Schwenkarms und dem Abstand eines Auges von der Rotorwelle. Damit ist der Rotor stets im ersten Bereich angeordnet, wo er komplett aus der Richtung der Orbitalströmung angeströmt wird. Entsprechend haben alle Blätter einen positiven Anstellwinkel.

[0026] Bei einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Rotorwelle quer zur Gesamtströmung angeordnet.

[0027] Dabei kann der Rotor zu der Gruppe von Rotoren mit quer angeströmter Rotorachse gehören, wie beispielweise eine Darrieus-Turbine, ein Savonius-Rotor oder eine Gorlov-Turbine.

[0028] Auch bei der zweiten prinzipiellen Weiterbildung kann der Rotor mehrere den Magnus-Effekt nut-

zende im Wesentlichen kreiszylindrische Flettner-Rotoren haben. Diese erstrecken sich etwa radial von der Rotorwelle, und sind rotatorisch antreibbar.

[0029] Dabei wird es bevorzugt, wenn jeder Flettner-Rotor zum rotatorischen Antrieb einen Savonius-Rotor hat, dessen Drehachse vorzugsweise derjenigen des Flettner-Rotors gleicht.

[0030] Der Rotor kann als Leeläufer an einem der Orbitalströmung abgewandten Endabschnitt der Rotorwelle angeordnet sein. Damit ergibt sich eine passive Ausrichtung des Rotors gegen die Orbitalströmung.

[0031] Oder der Rotor kann als Luvläufer an einem der Orbitalströmung zugewandten Endabschnitt der Rotorwelle angeordnet sein, wobei der Rotor und die Rotorwelle entlang der Orbitalanströmung hinter dem Lager angeordnet sind. Auch damit ergibt sich eine passive Ausrichtung des Rotors gegen die Orbitalströmung.

[0032] Oder der Rotor kann als Luvläufer an einem der der Orbitalströmung zugewandten Endabschnitt der Rotorwelle angeordnet sein. Dabei ist an einem von der Orbitalströmung abgewandten Endabschnitt der Rotorwelle ein flächiges Element – insbesondere Platte oder symmetrisches Auftriebsprofil – angeordnet, das etwa entlang der Rotorwelle ausgerichtet ist, und das zusammen mit der Rotorwelle um das Lager schwenkbar ist. Auch damit ergibt sich eine passive Ausrichtung des Rotors gegen die Orbitalströmung.

[0033] Dabei kann zur Einstellung des Rotors zur Orbitalströmung bzw. zur Trimmung an dem flächigen Element eine Klappe schwenkbar angeordnet sein. Vorzugsweise ist eine Schwenkachse zwischen dem flächigen Element und der Klappe quer zur Orbitalströmung angeordnet und zusätzlich bei beispielweise horizontaler Position ebenfalls horizontal.

[0034] Darüber hinaus ist jedoch auch eine aktive Nachführung des Rotors entsprechend der Orbitalströmungsrichtung um die Schwenkachse herum mit geeigneten Antriebslösungen möglich.

[0035] Bei beiden Varianten der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine wird es zur Anpassung an verschiedenen Wellen und damit an verschiedene Durchmesser der Orbitalströmung besonders bevorzugt, wenn die Länge des Schwenkarms – vorzugsweise elektrisch oder hydraulisch – einstellbar ist.

[0036] Eine Geschwindigkeitssteigerung der Gesamtströmung ist mit einem den Rotor umfassenden Ring, der als Venturi-Rohr ausgebildet sein kann, möglich.

[0037] Eine bevorzugte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine hat mehrere Rotoren, die dezentral an einen jeweiligen oder zentral an einen gemeinsamen Generator gekoppelt sind.

[0038] Dabei werden zwei Rotoren bevorzugt, die entweder jeweils über eine Kegelradstufe und über ein gemeinsames Getriebe an einen gemeinsamen Generator gekoppelt sind, oder die jeweils über eine Hydropumpe und über einen gemeinsamen Hydro-motor an einen gemeinsamen Generator gekoppelt sind.

[0039] Vorzugsweise ist ein Pfahl vorgesehen, über den das Lager am Meeresboden befestigt ist, oder eine selbst referenzierende Boje, über die das Lager unter einer Oberfläche des Gewässers gehalten ist.

[0040] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen beschrieben.

[0041] Im Folgenden werden anhand der Figuren verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung detailliert beschrieben. Es zeigen:

[0042] [Fig. 1a](#) eine schematische Darstellung der von einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschinen genutzten Orbitalströmung;

[0043] [Fig. 1b](#) einen Rotor eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in verschiedenen Positionen jeweils in einer seitlichen Ansicht;

[0044] [Fig. 2](#) den Rotor der Wellenenergiemaschine aus [Fig. 1b](#) in einer seitlichen Ansicht;

[0045] [Fig. 3](#) einen Rotor eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht;

[0046] [Fig. 4](#) einen Rotor eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht;

[0047] [Fig. 5](#) einen Rotor eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht;

[0048] [Fig. 6](#) den Rotor gemäß [Fig. 5](#) in einem fünften Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht;

[0049] [Fig. 7](#) einen Teil eines sechsten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht;

[0050] [Fig. 8](#) einen Teil eines siebten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht;

[0051] [Fig. 9](#) einen Teil eines achten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht;

[0052] [Fig. 10](#) das achte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht;

[0053] [Fig. 11](#) einen Teil eines neunten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht;

[0054] [Fig. 12](#) einen Rotor eines zehnten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer Ansicht;

[0055] [Fig. 13a](#) eine Wellenenergiemaschine gemäß einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele ([Fig. 1b](#) bis [Fig. 12](#)) mit einer mechanischen Energiewandlung in einer schematischen Darstellung;

[0056] [Fig. 13b](#) eine Wellenenergiemaschine gemäß einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele ([Fig. 1b](#) bis [Fig. 12](#)) mit einer hydraulischen Energiewandlung in einer schematischen Darstellung;

[0057] [Fig. 14a–c](#) zeigen einen Teil der Anlage gemäß [Fig. 10](#) schematisch.

[0058] [Fig. 1a](#) zeigt eine schematische Darstellung der von erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschinen genutzten Orbitalströmung **3** eines Meeres. Eine Welle an der Wasseroberfläche **1** des Meeres breitet sich in [Fig. 1a](#) von links nach rechts gemäß dem Pfeil **4** aus. An einer bestimmten Stelle **0** bzw. **2p** befindet sich die Wasseroberfläche **1** bei der gezeigten Momentaufnahme an einem Maximum (Wellenberg **1a**), bevor sie sinkt, einen Nulldurchgang hat, um anschließend ein Minimum (Wellental **1b**) zu erreichen. Anschließend steigt die Wasseroberfläche **1** an der betrachteten Stelle wieder an, hat wiederum einen Nulldurchgang, um wieder ein Maximum zu erreichen. Danach beginnt der Zyklus erneut.

[0059] Wasserteilchen, die sich an der Wasseroberfläche **1** des Wellenberges **1a** oder unter dem Wellenberg **1a** befinden, bewegen sich in der Ausbreitungsrichtung gemäß Pfeil **4** der Welle. Beim anschließenden Nulldurchgang bewegen sich diese Wasserteilchen nach unten, im Wellental **1b** gegen die Ausbreitungsrichtung gemäß Pfeil **4** der Welle nach links und beim darauffolgenden Nulldurchgang nach oben. Dies ist durch die (in [Fig. 1a](#)) obere Reihe von Pfeilen

dargestellt. Es ergibt sich, dass sich die Wasserteilchen auf umlaufenden Orbitalbahnen bewegen.

[0060] Der Durchmesser der Orbitalbahnen ist an der Wasseroberfläche **1** gleich dem Höhenunterschied zwischen Wellental **1b** und Wellenberg **1a** und nimmt mit zunehmender Wassertiefe ab. Dieser Zusammenhang ist in [Fig. 1a](#) durch eine Darstellung der Orbitalströmung einerseits an der Wasseroberfläche **1** (obere Reihe von Pfeilen) und andererseits unter der Wasseroberfläche **1** (untere Reihe von Pfeilen) beispielhaft dargestellt.

[0061] Ab einer Wassertiefe von der Hälfte der Wellenlänge ist nahezu keine Orbitalbewegung mehr vorhanden. Daher sind Rotoren zur Aufnahme der Energie der Orbitalbewegung bei der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine vergleichsweise dicht unterhalb der Wasseroberfläche **1** angeordnet.

[0062] [Fig. 1b](#) zeigt einen Rotor **2** eines ersten Ausführungsbeispiels einer Wellenenergiemaschine. Dabei sind acht verschiedene Zustände des Rotors **2** jeweils in einer seitlichen Ansicht gezeigt, die den acht verschiedenen Richtungen der Orbitalströmung gemäß [Fig. 1a](#) entsprechen. Es ist zu erkennen, dass durch ein Schwenken einer Rotorachse **6** und damit des gesamten Rotors **2** dessen Blätter **8** stets optimal gegen die momentane Richtung der Orbitalströmung **3** (vgl. [Fig. 1a](#)) ausgerichtet werden.

[0063] [Fig. 2](#) zeigt den Rotor **2** in einer seitlichen Ansicht. Dabei ist die momentane Richtung der Orbitalströmung **3** (in [Fig. 2](#)) von links nach rechts (mit drei Pfeilen) dargestellt. Diese Momentaufnahme der Orbitalströmung **3** entspricht der Situation unter einem Wellenberg bei einer Wellenausbreitungsrichtung von links nach rechts (vgl. [Fig. 1a](#)). Bei der darauf folgenden Absenkung der Wasserteilchen und insbesondere im Nulldurchgang strömen die Wasserteilchen (in [Fig. 2](#)) von oben nach unten, was ein Umlaufen der Orbitalströmung **3** im Uhrzeigersinn bedeutet. Dem entsprechend wird der Rotor **2** gemäß dem Schwenkpfeil **10** verschwenkt. Durch diese Schwenkbewegung entsteht eine Relativströmung, bei deren Betrachtung das Wasser als stehend angenommen wird. Diese strömt das (in [Fig. 2](#)) untere Blatt **8** (in [Fig. 2](#)) von links nach rechts an, während sie das obere Blatt **8** von rechts nach links anströmt.

[0064] Die Überlagerung der Orbitalströmung **3** (auf Grund der Welle) und der Relativströmung (auf Grund des Verschwenkens) ergibt eine auf den Rotor **2** einwirkende Gesamtströmung, die in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 6](#) jeweils für den Zeitpunkt einer Anströmung durch die Orbitalströmung von links und mit Rotationsrichtung im Uhrzeigersinn als Vektorfeld dargestellt ist.

[0065] Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der vorliegenden Erfindung besteht darin, diese Überlagerung bei der Konstruktion der Wellenenergiemaschine zu beachten.

[0066] In [Fig. 2](#) ist zu erkennen, dass das (in [Fig. 2](#)) untere Blatt **8** mit einer gegenüber der Orbitalströmung **3** verstärkten Gesamtströmung **12** angeströmt wird, während das (in [Fig. 2](#)) obere Blatt **8** aus unterschiedlichen Richtungen angeströmt wird. Dabei entsteht in einem der Rotorachse **6** nahen Zwischenbereich **14** eine gegenüber der Orbitalströmung **3** abgeschwächte Gesamtströmung, während das Blatt **8** an einem äußeren bzw. zweiten Bereich **16** von einer Gesamtströmung angeströmt wird, die der Orbitalströmung **3** entgegen gerichtet ist.

[0067] Zwischen dem Zwischenbereich **14** und dem zweiten Bereich **16** entsteht ein Auge **18**, an dem die auf das Blatt **8** einwirkende Gesamtströmung **12** eliminiert ist. Der Abstand des Auges **18** zu dem (in [Fig. 2](#) nicht gezeigten) Lager hängt dabei von der örtlichen Strömungsgeschwindigkeit der Orbitalströmung und der Schwenkgeschwindigkeit um das Lager ab, und kann im Betrieb auf Grund der auftretenden Bandbreite an Wellenzuständen schwanken.

[0068] [Fig. 3](#) zeigt einen Rotor **102** eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht. Dabei ist gemäß einer zweiten Variante der Erfindung eine gegeneinander gerichtete Gesamtanströmung **12** des Rotors **102** vermieden. Dazu ist der Radius des Rotors **102** hinreichend klein dimensioniert, so dass seine Blätter **108** in den am jeweiligen Einsatzort des Rotors auftretenden Wellenzuständen bis in das Auge **18** und insbesondere nicht oder nur wenig darüber hinaus ragen. Damit ist sicher gestellt, dass die Gesamtströmung **12** den Rotor **102** im Wesentlichen in einer Richtung, und zwar in derjenigen der Orbitalströmung **3**, anströmt. Damit ist eine der Orbitalströmung **3** entgegen gerichtete Strömung (gemäß dem zweiten Bereich **16** aus [Fig. 2](#)) vermieden. Dies führt zu einer deutlichen Steigerung des Wirkungsgrades des Rotors **102**.

[0069] [Fig. 4](#) zeigt einen Rotor **202** eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht. Dabei ist an einem im Wesentlichen ortsfest im Wasser gehaltenen Lager **220** ein Schwenkarm **222** umlaufend schwenkbar befestigt, an dessen äußerem Endabschnitt der Rotor **202** gelagert ist. Dies ist über ein drehfest am Schwenkarm **222** befestigtes Gehäuse **224** realisiert. Im Betrieb des zweiten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Wellenenergieanlage wird der Schwenkarm **222** stets derart um das Lager **220** geschwenkt, dass er sich etwa vom Auge **18** weg erstreckt.

[0070] Die Blätter **208** des Rotors **202** sind gegenüber dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 3](#) verlängert, wobei ihre Länge in am Einsatzort typischen Wellenzuständen nicht die Summe aus der Länge des Schwenkarms **222** und dem Abstand vom Lager **220** zum Auge **18** überschreitet.

[0071] Damit ist gemäß der zweiten Variante der Erfindung sicher gestellt, dass der Rotor **202** stets aus einer Richtung von der Gesamtströmung **12** angeströmt wird, die beim dritten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 4](#) derjenigen der Orbitalströmung **3** entspricht.

[0072] [Fig. 5](#) zeigt einen Rotor **302** eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht. Er hat Blätter **308**, deren Anstellwinkel einstellbar ist, wobei die Blätter **308** durchschwenkbar sind, so dass während eines Umlaufs jedes Blattes **308** ein abwechselnd positiver und negativer Anstellwinkel eingestellt werden kann.

[0073] Bei der in [Fig. 5](#) gezeigten Momentaufnahme hat das (in [Fig. 5](#)) untere Blatt **308** einen positiven Anstellwinkel, während das (in [Fig. 5](#)) obere Blatt **308** einen negativen Anstellwinkel hat. Dabei ist der Rotor **302** über einen Schwenkarm **322** derart an einem im Wesentlichen ortsfesten Lager **220** befestigt, dass er – zusammen mit dem Schwenkarm **322** – im Uhrzeigersinn um das Lager **220** umläuft. Der Schwenkarm **322** ist derart bemessen und an einem Gehäuse **324** befestigt, dass die Rotorachse **306** durch das Auge **18** verläuft, und wird derart geschwenkt, dass die Rotorachse **306** parallel zur Orbitalströmung **3** ausgerichtet ist.

[0074] Damit wird das (in [Fig. 5](#)) untere Blatt **308** über seine gesamte Länge von der Gesamtströmung **12** aus derjenigen Richtung angeströmt, die der der Orbitalströmung **3** entspricht, während das (in [Fig. 5](#)) obere Blatt **308** über seine gesamte Länge von der Gesamtströmung **12** von „hinten“ angeströmt wird. Die Anströmung des in ([Fig. 5](#)) oberen Blattes ist damit der momentanen Orbitalströmung **3** entgegen gerichtet. Durch den negativen Anstellwinkel wird die Energie dieser Gesamtströmung **12** genutzt, wodurch die Energieausbeute der Wellenenergiemaschine gesteigert wird.

[0075] In [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) wird davon ausgegangen, dass die Rotorachse im Wesentlichen parallel zur aktuellen Orbitalströmungsrichtung gehalten wird.

[0076] [Fig. 6](#) zeigt den Rotor **302** gemäß [Fig. 5](#) mit einer Anordnung gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer seitlichen Ansicht. Der wesentliche Unterschied zum vierten Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 5](#) ist darin zu sehen, dass die durch das Auge **18**

verlaufende Rotorachse **306** schräg zur Orbitalströmung **3** angestellt ist. Dazu ist ein Schwenkarm **422** einerseits drehbar am Lager **220** befestigt und andererseits drehfest an einem Gehäuse **324** des Rotors **302** befestigt. Dadurch ergibt sich eine Verkippung des Rotors **302** gegenüber der Orbitalströmung **3**.

[0077] Damit wird das (in [Fig. 6](#)) untere Blatt **308** über seine gesamte Länge von der Gesamtströmung **12** aus einer ersten Richtung angeströmt, die der der Orbitalströmung **3** etwa entspricht, während das (in [Fig. 6](#)) obere Blatt **308** über seine gesamte Länge von der Gesamtströmung **12** dem gegenüber von „hinten“ angeströmt wird. Durch den negativen Anstellwinkel der oberen Blätter wird die Energie dieser Gesamtströmung **12** genutzt, wodurch die Energieausbeute der Wellenenergiemaschine gesteigert wird.

[0078] [Fig. 7](#) zeigt einen Teil eines sechsten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht. Dabei ist ein Rotor **502** als Leeläufer ausgebildet, dessen Rotorachse **506** entlang der momentanen Orbitalströmung **3** ausgerichtet ist, wobei ein Gehäuse **524** „luvseitig“ angeordnet ist, während der Rotor **502** „leeseitig“ angeordnet ist.

[0079] Luvseitig vom Rotor **502** ist am Gehäuse **524** ein Drehzapfen **526** befestigt, der an einem (in [Fig. 7](#) nicht gezeigten) Lager drehbar aufgenommen ist. Dadurch richtet sich der Rotor **502** stets senkrecht zur Orbitalströmung **3** aus.

[0080] [Fig. 8](#) zeigt einen Teil eines siebten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht. Dabei ist ein Rotor **602** luvseitig an einem Gehäuse **624** angeordnet, das wiederum über einen zweifach abgewinkelten Schwenkarm **622** an einem im Wesentlichen ortsfest im Wasser gehaltenen Lager **620** gelagert ist.

[0081] Da der Rotor **602** leeseitig vom Lager **620** angeordnet ist, richtet er sich stets senkrecht zur Orbitalströmung **3** (gemäß der zweiten Variante der Erfindung) aus.

[0082] [Fig. 9](#) zeigt einen Teil eines achten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht. Dabei ist der Rotor **602** luvseitig vom Gehäuse **624** angeordnet, das über den Drehzapfen **526** und um das Lager **510** schwenkbar gelagert ist.

[0083] Zur Ausrichtung des Rotors **602** ist am Gehäuse **624** ein flächiges Element **728** befestigt, das sich entlang der Orbitalströmung **3** leeseitig vom Gehäuse **624** und damit vom Rotor **602** ausrichtet. Dadurch ist der Rotor **602** stets gegen die umlaufende Orbitalströmung **3** ausgerichtet.

[0084] [Fig. 10](#) zeigt das achte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht. Diese hat eine selbst referenzierende Boje **730**, die im Wasser unterhalb des Bereiches der Orbitalströmung **3** (vgl. [Fig. 1a](#)) im Wesentlichen ortsfest schwebend eingestellt und gehalten wird. Über eine Stange **732**, die sich von der Boje **730** in den Bereich der Orbitalströmung **3** nach oben erstreckt, ist ein Kopf **734** an der Boje **730** befestigt. Seitlich am Kopf **734** sind zwei Schwenkgeelenke **720** vorgesehen, an denen jeweils auf die in [Fig. 9](#) gezeigte Weise ein Rotor **602** gelagert ist.

[0085] Der Kopf **734** ist drehbar an der Stange **732** gelagert, so dass die beiden Rotoren **602** senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle (vgl. [Fig. 1a](#), Pfeil **4**) ausgerichtet werden können. Oder die Boje **730** dreht sich komplett. Diese Ausrichtung ist in Abhängigkeit der sich ändernden Ausbreitungsrichtung der Welle **1a**, **1b** (vgl. Pfeil **4** in [Fig. 1a](#)) nötig.

[0086] Die Boje **730** ist über ein biegeschlaffes Zugmittel **736** (z. B. eine Kette oder ein Seil) am Boden des Meeres verankert. Im Wesentlichen parallel zum Zugmittel **736** verläuft eine elektrische Leitung, um die von den beiden Rotoren **602** der erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine erzeugte elektrische Leistung abzuführen.

[0087] Wenn die Boje **730** komplett drehbar ist, legt das als Ankerkette realisierte biegeschlaffe Zugmittel **736** die Drehachse fest.

[0088] [Fig. 11](#) zeigt einen Teil eines neunten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer perspektivischen Ansicht. Dabei ist ein Gehäuse **824** gezeigt, an das über vier Streben ein als Venturi-Rohr **838** ausgebildeter Ring befestigt ist, dessen Innendurchmesser etwas größer ist, als der Durchmesser eines (in [Fig. 11](#) nicht gezeigten) Rotors. Das Venturi-Rohr **838** ist über einen Drehzapfen **826** schwenkbar am (in [Fig. 11](#) nicht gezeigten) Lager befestigt. Das Venturi-Rohr **838** verbessert den Wirkungsgrad des darin aufgenommenen Rotors.

[0089] [Fig. 12](#) zeigt einen Rotor **902** eines zehnten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Wellenenergiemaschine in einer Ansicht. Er hat eine Rotorwelle **940**, die über einen Schwenkarm im Auge **18** der Gesamtströmung **12** (beide in [Fig. 12](#) nicht gezeigt) angeordnet und umlaufend dort gehalten ist (vgl. [Fig. 5](#)). Diese Konfiguration funktioniert auch ohne Schwenkarm.

[0090] Von der Rotorwelle **940** erstrecken sich jeweils in radialer Richtung vier kreiszylinderförmige Flettner-Rotoren **942**. Diese sind gegenüber der Rotorwelle **940** um ihre jeweilige Längsachse drehbar gelagert. Dazu sind pro Flettner-Rotor **942** jeweils

zwei Savonius-Rotoren **944** koaxial zueinander und zum jeweiligen Flettner-Rotor **942** vorgesehen. Bei den beiden (in [Fig. 12](#)) oberen Flettner-Rotoren **942** ist jeweils ein zur Rotorwelle **940** näherer Savonius-Rotor **944** dargestellt, während bei den beiden (in [Fig. 12](#)) unteren Flettner-Rotoren **942** jeweils ein von der Rotorwelle **940** abgewandter Savonius-Rotor **944** dargestellt ist. Bei den beiden oberen Flettner-Rotoren **942** ist der jeweilige von der Rotorwelle **940** abgewandte Savonius-Rotor von einer Hülse **946** umfasst bzw. ummantelt, während bei den beiden (in [Fig. 12](#)) unteren Flettner-Rotoren **942** der jeweilige zur Rotorwelle **940** nähere Savonius-Rotor von einer Hülse **946** umfasst bzw. ummantelt ist. Dabei dienen die Hülsen **946** zur Abschirmung und damit zur Deaktivierung des jeweiligen Savonius-Rotors **944**. Die beiden Savonius-Rotoren **944** jedes Flettner-Rotors **942** wirken bei gleicher Anströmung in verschiedene Drehrichtungen des Flettner-Rotors **942**. Der Abtrieb der vier von der Rotorwelle **940** abgewandten Savonius-Rotoren, von denen in [Fig. 12](#) nur zwei Savonius-Rotoren **944** dargestellt sind, erfolgt in eine erste Drehrichtung, während der Abtrieb der vier zur Rotorwelle **940** näheren Savonius-Rotoren, von denen in [Fig. 12](#) nur zwei Savonius-Rotoren **946** dargestellt sind, in eine der ersten Drehrichtung entgegengesetzte zweite Drehrichtung erfolgt.

[0091] Im Betrieb wird der Rotor **902** von einer Orbitalströmung angeströmt, die in die Zeichenebene hinein gerichtet ist. Durch das Verschwenken des Rotors **902** über den Schwenkarm um das Lager (beide nicht gezeigt) werden die beiden (in [Fig. 12](#)) unteren Flettner-Rotoren **942** mit den geöffneten Savonius-Rotoren **944** von der Gesamtströmung **12** in die Zeichenebene hinein angeströmt, während die beiden Flettner-Rotoren **942** mit den geöffneten Savonius-Rotoren **944** von der Gesamtströmung **12** aus der Zeichenebene heraus angeströmt werden. Durch die Aktivierung des jeweils passenden Savonius-Rotors **944** wird während des Umlaufs jedes Flettner-Rotors **942** der wechselnden Anströmung durch die Gesamtströmung dadurch entsprochen, dass die beiden Savonius-Rotoren **944** abwechselnd aktiviert werden und somit den zugeordneten Flettner-Rotor **942** stets in gleicher Richtung rotatorisch antreiben. Damit kann der Magnus-Effekt der Flettner-Rotoren **942** in einheitliche Richtung genutzt werden, so dass alle vier Flettner-Rotoren **942** den Rotor **902** stets in eine einheitliche Drehrichtung antreiben.

[0092] Auch mit dem Rotor **902** werden unterschiedliche Richtungen der Gesamtströmung **12** (gemäß der ersten Variante der Erfindung) genutzt.

[0093] [Fig. 13a](#) zeigt eine Wellenenergiemaschine gemäß einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele ([Fig. 1b](#) bis [Fig. 12](#)) mit einer mechanischen Energiewandlung in einer schematischen Darstellung. Die Wellenenergiemaschine hat zwei Rotoren

52, die über eine jeweilige Rotorwelle **50**, eine jeweilige Kegelradstufe **54** und über eine jeweilige Welle **56** mit einem Getriebe **58** gekoppelt sind. Das Getriebe **58** führt die gemeinsame Wellenleistung der beiden Rotoren **52** einem Generator **G** zu, der die gemeinsame mechanische Leistung der beiden Rotoren **52** in elektrische Leistung wandelt.

[0094] [Fig. 13b](#) zeigt eine Wellenenergiemaschine gemäß einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele ([Fig. 1b](#) bis [Fig. 12](#)) mit einer hydraulischen Energiewandlung in einer schematischen Darstellung. Die beiden Rotoren **52** treiben über eine jeweilige Rotorwelle **50** jeweils eine hydrostatische Verstellpumpe **60** an. Die beiden Verstellpumpen **60** sind jeweils über eine Hochdruckleitung **62** mit einem Hydromotor **64** verbunden und treiben diesen an. Der Hydromotor **64** treibt einen Generator **G** an, der die gemeinsame hydraulische Leistung der beiden Rotoren **52** in elektrische Leistung wandelt.

[0095] [Fig. 14a–c](#) zeigen die Anlage gemäß [Fig. 10](#). Es wird die Möglichkeit dargestellt die Leistung direkt elektrisch abzugreifen über z. B. einen Permanentmagnet Synchrongenerator (elektrische Erregung ist aber auch denkbar) der direkt an den Rotor angeschlossen ist. Darauf folgt der Frequenzrichter. Die Möglichkeiten sind: Für jede Anlage oder jede Turbine einen Vollrichter (Gleich- und Wechselrichter) sowie einen Gleichrichter pro Anlage/Turbine und einen gemeinsamen Wechselrichter für den Park.

[0096] Zudem ist es theoretisch möglich die Anlage direkt ans Netz zu koppeln, was zu einer festen Drehzahl führen würde.

[0097] Insbesondere in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 9](#) ist jeweils eine Momentaufnahme gezeigt, bei der die umlaufende Orbitalströmung **3** von links nach rechts gerichtet ist. Die Orbitalströmung **3** läuft bei einer Wellenbewegung, die in den [Fig. 3](#) bis [Fig. 9](#) (gemäß dem Pfeil **4** aus [Fig. 1a](#)) von links rechts angenommen ist, ausgehend von der gezeigten Momentaufnahme im Uhrzeigersinn um. Damit läuft auch der jeweilige Rotor **102**; **202**; **302**; **502**; **602** im Uhrzeigersinn gemäß dem jeweiligen Schwenkpfeil **110**; **210**; **310**; **410**; **510**; **610** um.

[0098] Abweichend vom sechsten bis achten Ausführungsbeispiel (gemäß [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#)) kann an einer Rotorwelle auch beidseitig je ein Rotor **502**, **602** angeordnet sein. Somit ist ein kombinierter Luv- und Leeläufer gebildet.

[0099] Abweichend von dem in [Fig. 6](#) gezeigten Ausführungsbeispiel kann der Rotor **302** auch mit anderen Winkeln gegenüber der Orbitalströmung **3** angestellt werden.

[0100] Für die Rotoren **102; 202; 302; 502; 602** der **Fig. 3** bis **Fig. 10** können einstellbare Blätter **108; 208; 308** vorgesehen sein, deren Leistungs- bzw. Lastbegrenzung pitch- oder stall-geregelt sein kann.

[0101] Für die Blätter der Rotoren können gutmütige Profile vorgesehen sein.

[0102] Offenbart ist eine Wellenenergiemaschine, die zur Nutzung einer umlaufenden Orbitalströmung eines welligen Gewässers – insbesondere eines Meeres – dient. Dies geschieht über zumindest einen Rotor, insbesondere über eine Turbine, an dessen/deren Rotorwelle eine Abtriebsleistung erzeugbar ist. Der Rotor und die Rotorwelle sind um ein im Wesentlichen ortsfestes Lager mit der umlaufenden Orbitalströmung umlaufend schwenkbar.

[0103] Dabei sind gemäß einer ersten Weiterbildung der Erfindung vom Rotor unterschiedliche – insbesondere gegeneinander gerichtete – Richtungen einer durch Addition aus der Orbitalströmung und aus einer Relativströmung gebildeten Gesamtströmung gleichzeitig für die Abtriebsleistung nutzbar. Die Gesamtströmung ist wie eine für den Rotor scheinbare oder effektive Strömung zu verstehen. Insbesondere ist dabei auch eine Gegenströmung für die Abtriebsleistung nutzbar, die den Rotor von hinten anströmt.

[0104] Gemäß einer zweiten Weiterbildung der Erfindung sind am Rotor gleichzeitige unterschiedliche – insbesondere gegeneinander gerichtete – Richtungen der Gesamtströmung vermieden.

70
72
74
76
220; 620; 720
222; 322; 422; 622
224; 324; 524; 624; 824
526; 826
728
730
732
734
736

837
838
940
942
944
946
G

Netz
Frequenzumrichter
Anschluss
Wechselrichter
Lager
Schwenkarm
Gehäuse
Drehzapfen
flächiges Element
Boje
Stange
Kopf
biegeschlaffes Zugmittel
Strebe
Venturi-Rohr
Rotorwelle
Flettner-Rotor
Savonius-Rotor
Hülse
Generator

Bezugszeichenliste

1	Wasseroberfläche
1a	Wellenberg
1b	Wellental
2; 52; 102; 202; 302; 502; 602; 902	Rotor
3	Orbitalströmung
4	Pfeil
6; 306; 506	Rotorachse
8; 108; 208; 308	Blatt
10; 110; 210; 310; 410; 510	Schwenkpfeil
12	Gesamtströmung
14	Zwischenbereich
16	zweiter Bereich
18	Auge
50	Rotorwelle
54	Kegelradstufe
56	Welle
58	Getriebe
60	Verstellpumpe
62	Hochdruckleitung
64	Hydromotor
66	Gleichrichter
68	Wechselrichter

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „A rotating wing for the generation of energy from waves” von Pinkster et al. [\[0004\]](#)

Patentansprüche

1. Wellenenergiemaschine zur Nutzung einer umlaufenden Orbitalströmung (3) eines welligen Gewässers über zumindest einen Rotor (2; 52; 102; 202; 302; 502; 602; 902), an dessen Rotorwelle (50) eine Abtriebsleistung abgreifbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor (2; 52; 102; 202; 302; 502; 602; 902) und die Rotorwelle (50) um ein weitgehend ortsfestes Lager (220; 620; 720) mit der umlaufenden Orbitalströmung (3) umlaufend schwenkbar sind.
2. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1 wobei vom Rotor (302; 902) unterschiedliche Richtungen einer aus der Orbitalströmung (3) und aus einer Relativströmung gebildeten Gesamtströmung (12) gleichzeitig für die Abtriebsleistung nutzbar sind.
3. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 2 wobei der Rotor eine Wells-Turbine mit anströmungsrichtungstoleranten Flügeln ist.
4. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 2, wobei der Rotor ein Verstellrotor (302) mit mehreren Blättern (308) ist, deren Anstellwinkel unabhängig voneinander auch gegeneinander einstellbar sind.
5. Wellenenergieanlage nach Anspruch 4, wobei die Blätter in einem zur Rotorwelle benachbarten Abschnitt profillos sind, dessen Länge in einem mittleren Betriebszustand etwa einem Abstand eines Auges zum Lager entspricht, wobei das Auge von der Gesamtströmung an einer Stelle gebildet ist, an der sich die Orbitalströmung und die Relativströmung kompensieren.
6. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 4, wobei die Blätter in einem mittleren Betriebszustand um ein Mehrfaches länger sind als ein Abstand eines Auges zum Lager, und wobei das Auge von der Gesamtströmung an einer Stelle gebildet ist, an der sich die Orbitalströmung und die Relativströmung kompensieren.
7. Wellenenergiemaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6 mit einem Schwenkarm (322), der sich vom Lager (220) bis zu einem Gehäuse (324) der Rotorwelle (940) erstreckt, und der um das Lager (220) umlaufend schwenkbar ist, und wobei die Anordnung und die Längen des Schwenkarms (322) und des Gehäuses (324) derart gewählt sind, dass der Rotor (302) etwa in einem Auge (18) zentriert ist, wobei das Auge (18) von der Gesamtströmung (12) an einer Stelle gebildet ist, an der sich die Orbitalströmung (3) und die Relativströmung kompensieren.
8. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, wobei auf den Rotor (102; 202) eine aus der Orbitalströmung (3) und aus einer Relativströmung gebildete Gesamtströmung (12) einwirkt, die stets im Wesentlichen eine einheitliche Richtung hat.
9. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 8, wobei der Rotor (102) Blätter (108) hat, deren jeweilige Länge in einem mittleren Betriebszustand maximal dem Abstand eines Auges (18) von dem Lager entspricht, wobei das Auge (18) von der Gesamtströmung (12) an einer Stelle gebildet ist, an der sich die Orbitalströmung (3) und die Relativströmung kompensieren.
10. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 8 mit einem Schwenkarm (222), der sich vom Lager (220) bis zu einem Gehäuse (224) der Rotorwelle erstreckt, und der um das Lager (220) umlaufend schwenkbar ist.
11. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 10 wobei der Radius des Rotors (202) maximal der Summe aus der Länge des Schwenkarms (222) und eines Abstandes eines Auges (18) zum Lager (220) entspricht, wobei das Auge (18) von der Gesamtströmung (12) an einer Stelle gebildet ist, an der sich die Orbitalströmung (3) und die Relativströmung kompensieren.
12. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 10, wobei die Länge des Schwenkarms größer ist, als die Summe aus dem Radius des Rotors und eines Abstandes eines Auges von der Rotorwelle, wobei das Auge von der Gesamtströmung an einer Stelle gebildet ist, an der sich die Orbitalströmung und die Relativströmung kompensieren.
13. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 10, wobei die Rotorwelle quer zur Gesamtströmung angeordnet ist.
14. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 13, wobei der Rotor eine Darrieus-Turbine oder ein Savonius-Rotor oder eine Gorlov-Turbine ist.
15. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 2, 8 oder 9, wobei der Rotor (902) mehrere im Wesentlichen kreiszylindrische Flettner-Rotoren (942) hat, die sich etwa radial von der Rotorwelle (940) erstrecken, und die rotatorisch unabhängig voneinander und auch gegeneinander antreibbar sind.
16. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 15, wobei jeder Flettner-Rotor (942) von zwei Savonius-Rotoren (944) antreibbar ist, deren Wirkrichtungen gegeneinander gerichtet sind.
17. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 16, und wobei jeweils ein Savonius-Rotor (944) über eine gemeinsame oder über eine jeweilige Abschirmvorrichtung (946) von der Gesamtströmung abschirmbar ist, oder wobei jeder Savonius-Rotor eine Kupplung

hat, über die er mir dem zugeordneten Flettner-Rotor verbindbar ist.

18. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 7 oder 10, wobei die Länge des Schwenkarms einstellbar ist.

19. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, wobei der Rotor (**502**) an einem der Orbitalströmung (**3**) abgewandten Endabschnitt der Rotorwelle angeordnet ist.

20. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, wobei der Rotor (**602**) an einem der Orbitalströmung (**3**) zugewandten Endabschnitt der Rotorwelle angeordnet ist, und wobei der Rotor (**602**) entlang der Orbitalströmung (**3**) hinter dem Lager (**620**) angeordnet ist.

21. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, wobei der Rotor (**602**) an einem der Orbitalströmung (**3**) zugewandten Endabschnitt der Rotorwelle angeordnet ist, und wobei an einem von der Orbitalströmung (**3**) abgewandten Endabschnitt der Rotorwelle ein flächiges Element (**728**) angeordnet ist, das etwa entlang der Rotorwelle ausgerichtet ist, und das zusammen mit der Rotorwelle um das Lager (**720**) schwenkbar ist.

22. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 21, wobei an dem flächigen Element eine Klappe schwenkbar angeordnet ist.

23. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1 mit aktiver Nachführung des Rotors.

24. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, mit einem Ring oder mit einem sich verengenden Venturi-Rohr (**838**), der den Rotor umfasst.

25. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1 mit mehreren Rotoren (**52**), die an einen jeweiligen oder an einen gemeinsamen Generator (G) gekoppelt sind.

26. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, mit zwei Rotoren (**52**), die jeweils über eine Kegelradstufe (**54**) und über ein gemeinsames Getriebe (**58**) oder über eine Hydropumpe (**60**) und über einen gemeinsamen Hydromotor (**64**) an einen gemeinsamen Generator (G) gekoppelt sind.

27. Wellenenergiemaschine nach Anspruch 1, mit einem Pfahl, über den das Lager am Meeresboden befestigt ist, oder mit einer selbst referenzierenden Boje (**730**), über die das Lager (**720**) unter einer Wasseroberfläche (**1**) gehalten ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

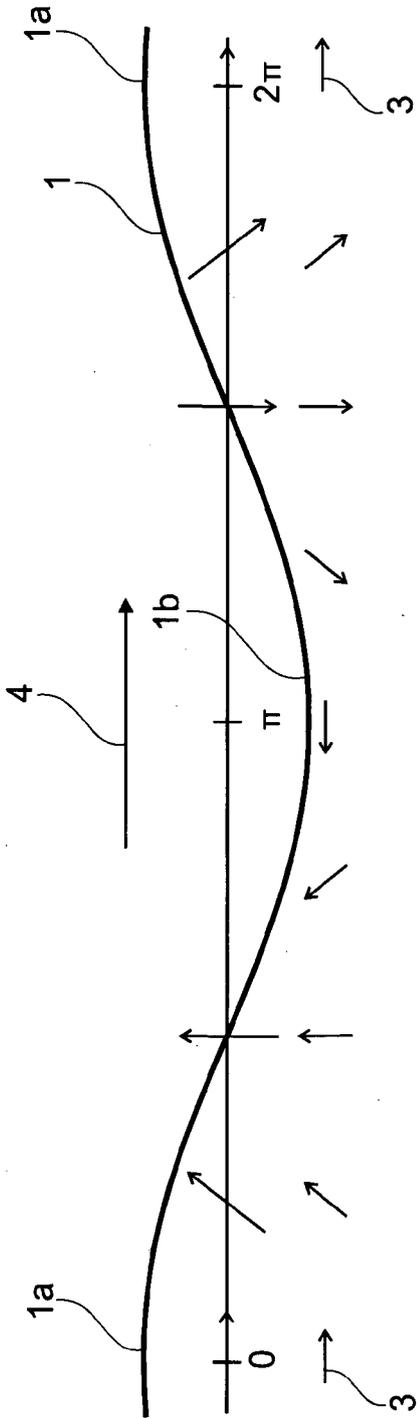


Fig. 1a

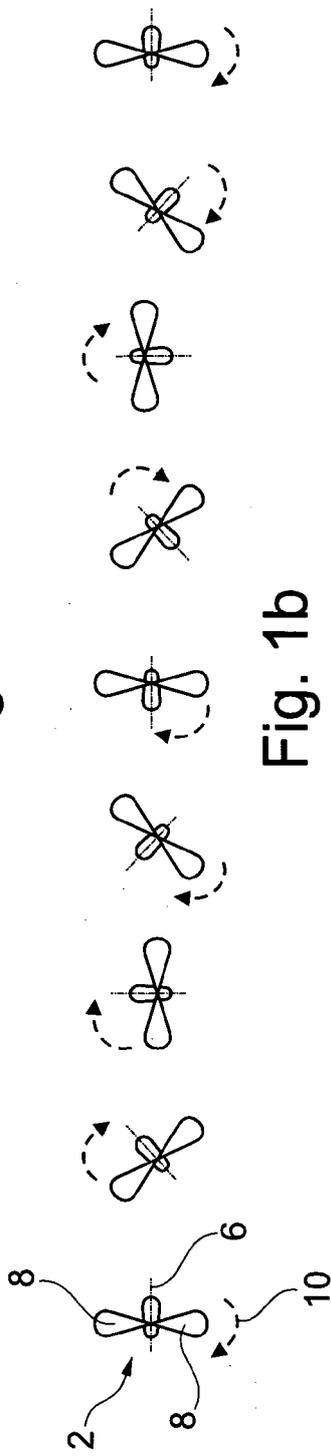


Fig. 1b

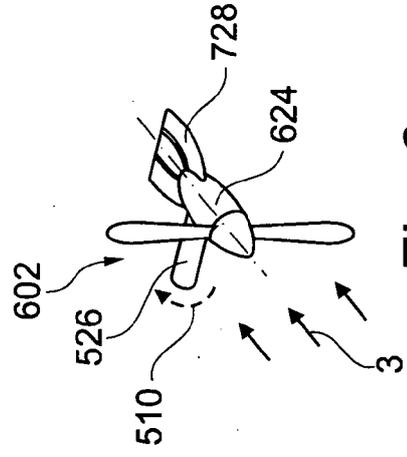


Fig. 7

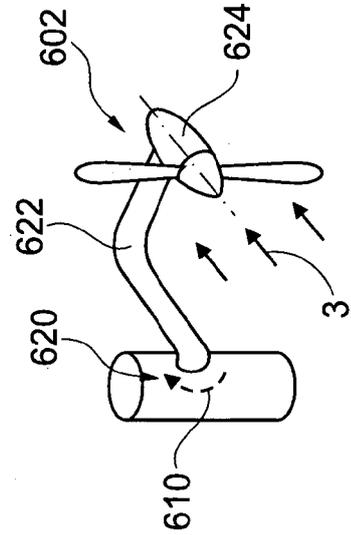


Fig. 8

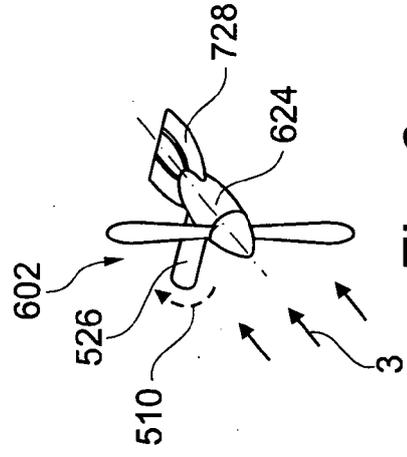


Fig. 9

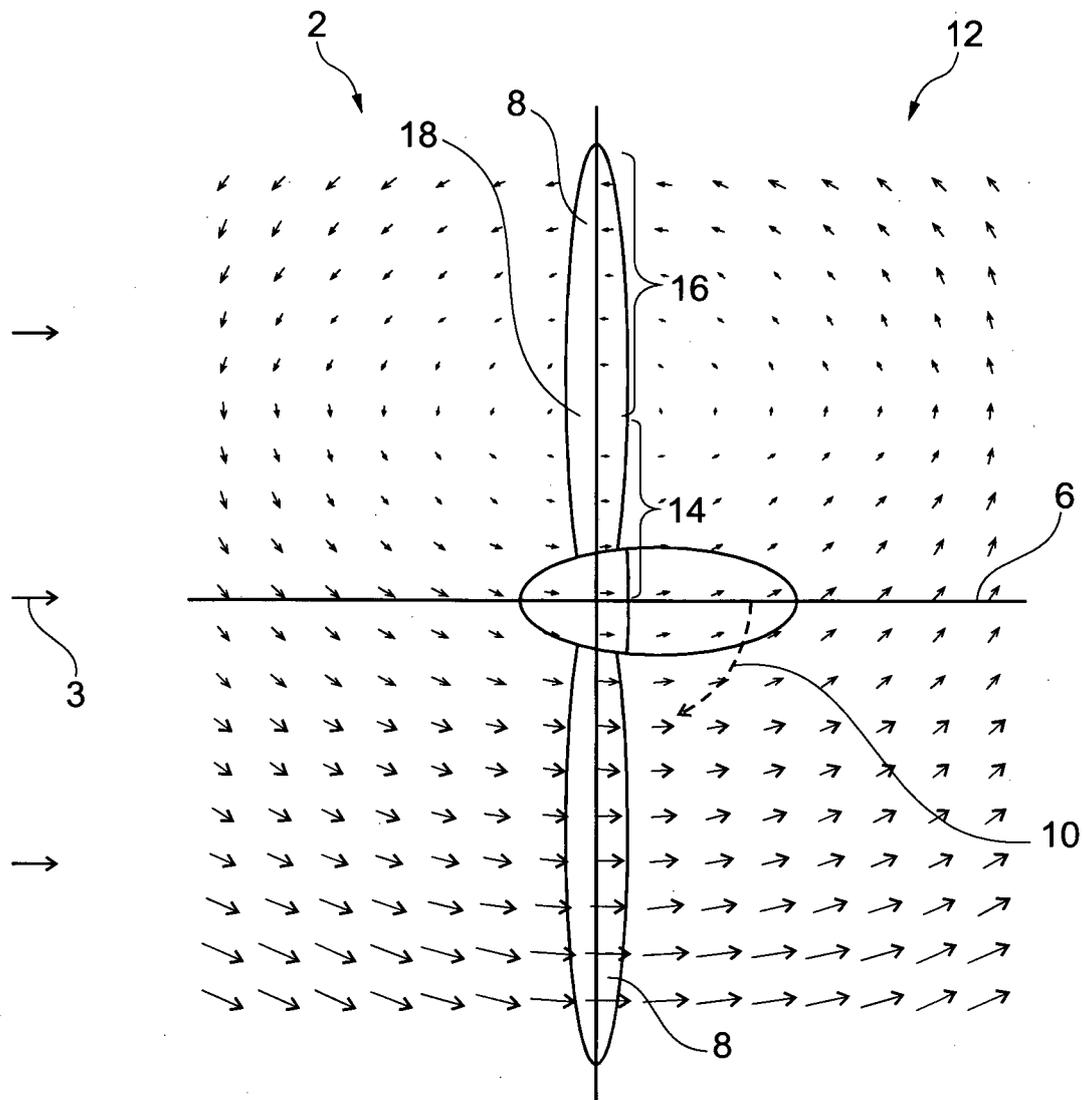
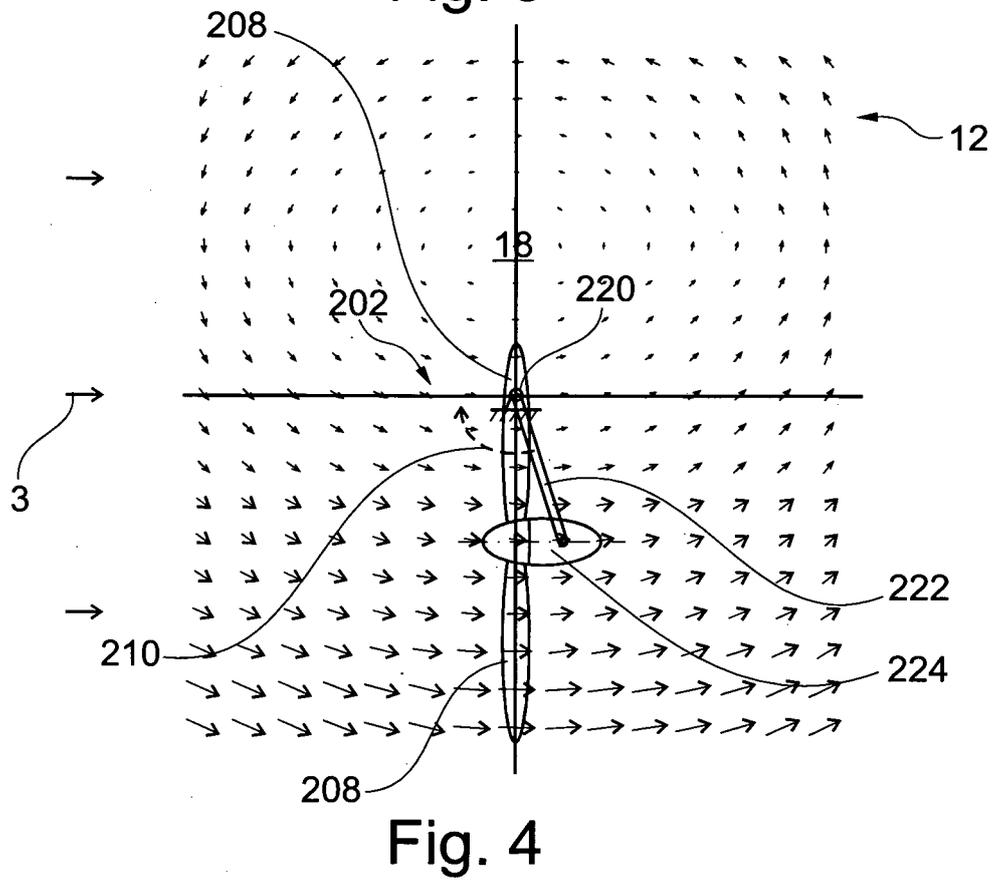
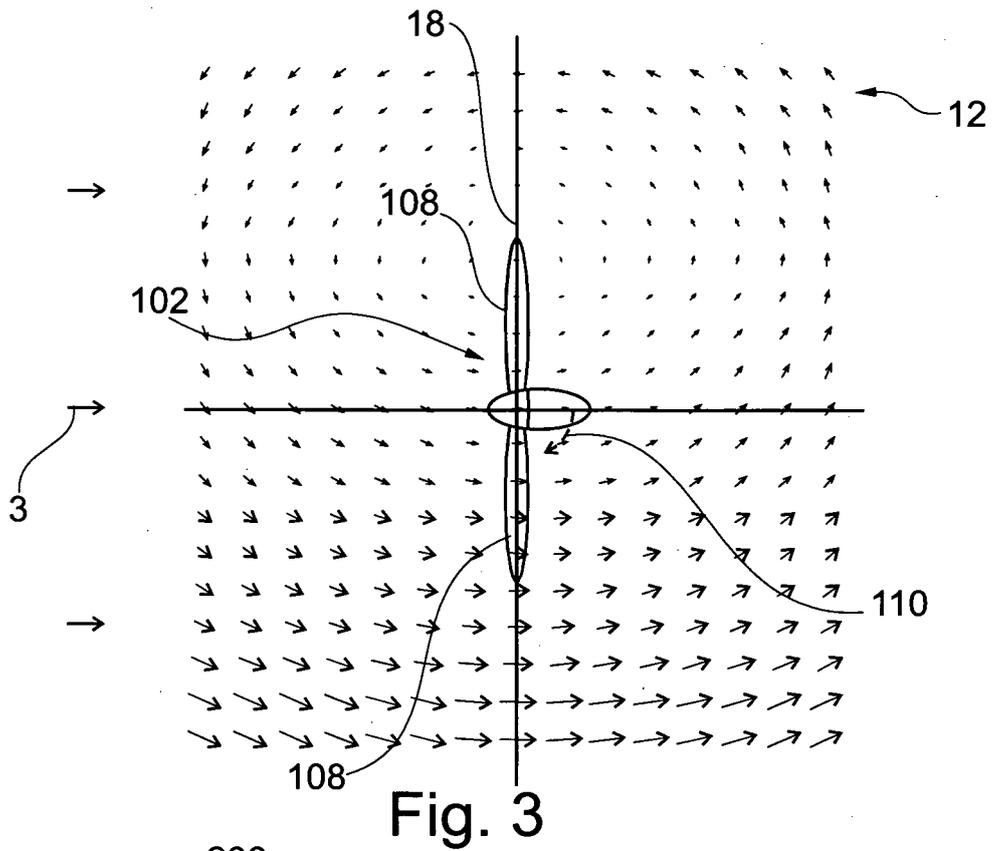


Fig. 2



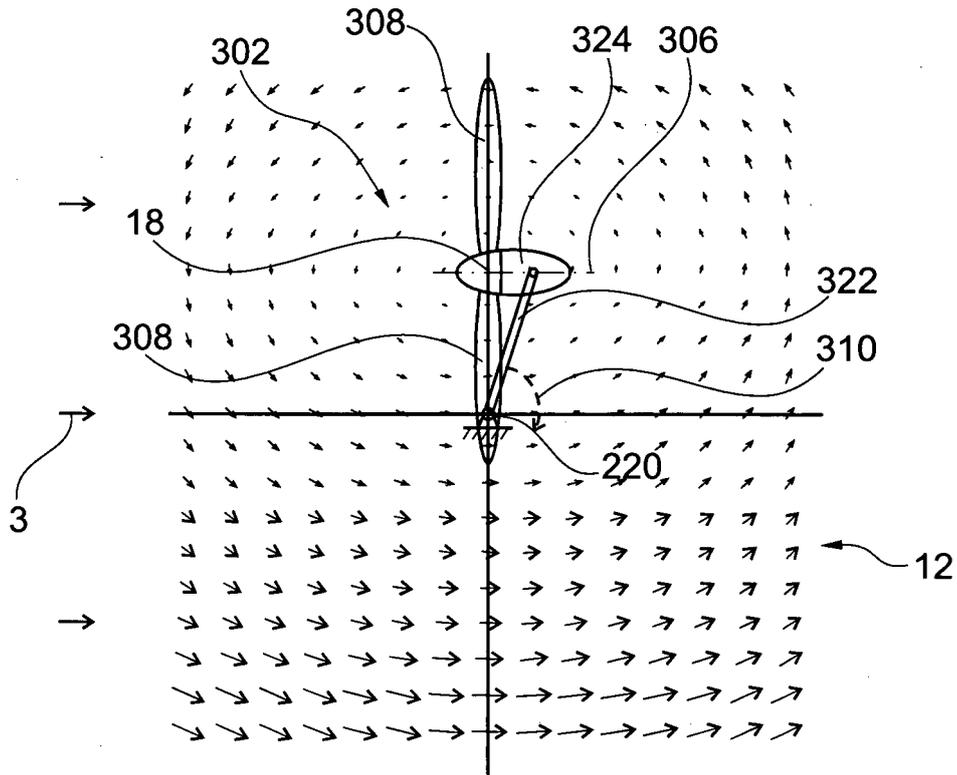


Fig. 5

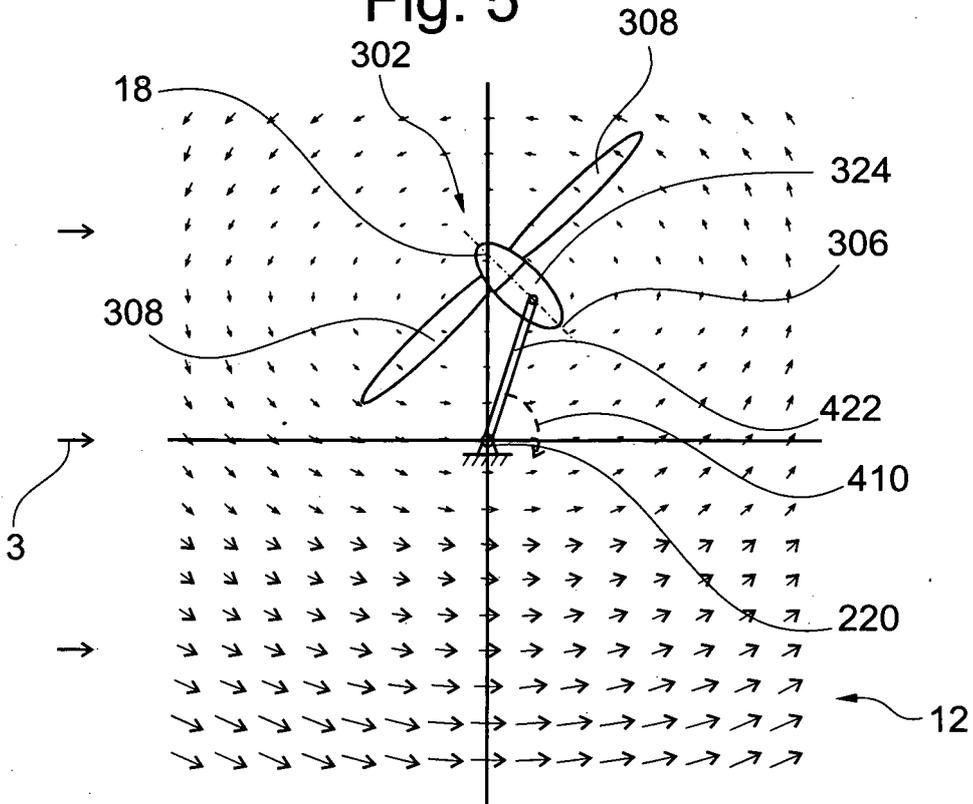


Fig. 6

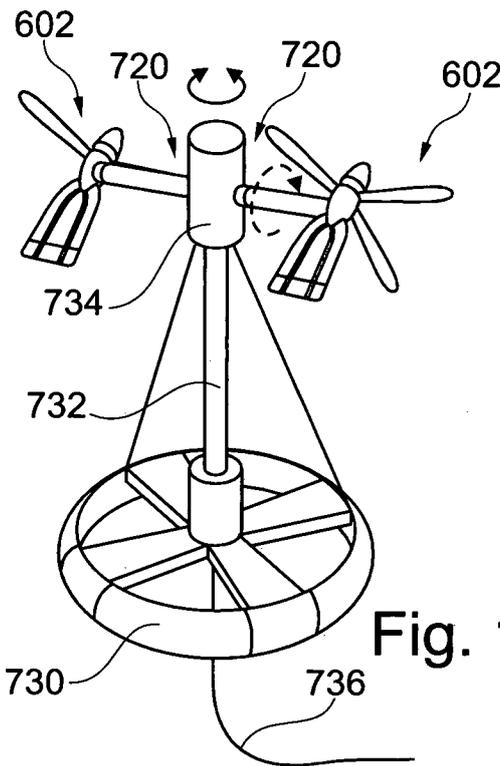


Fig. 10

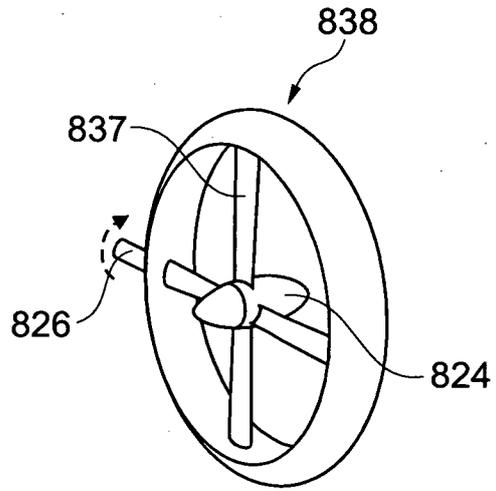


Fig. 11

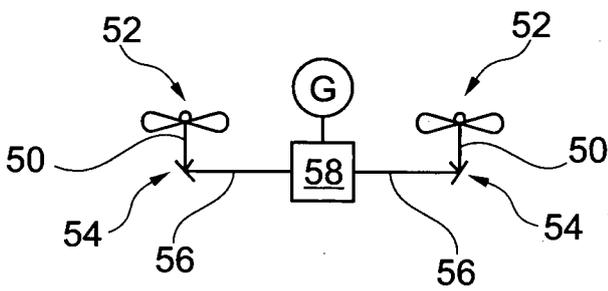


Fig. 13a

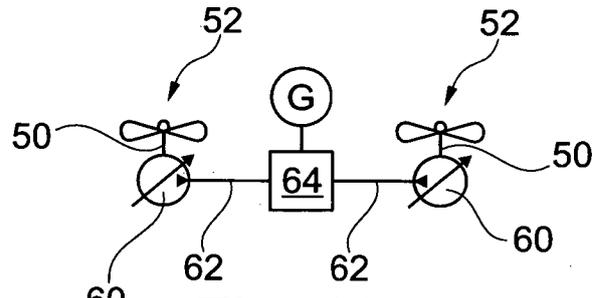


Fig. 13b

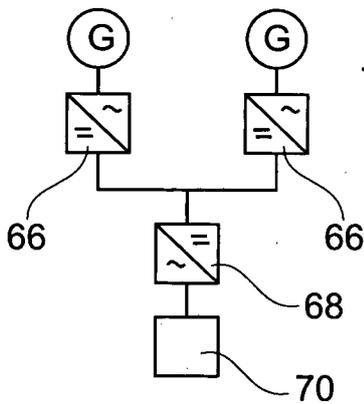


Fig. 14a

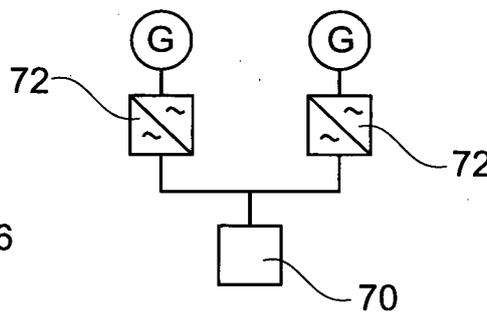


Fig. 14b

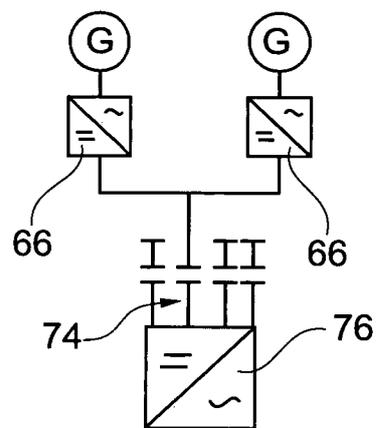


Fig. 14c

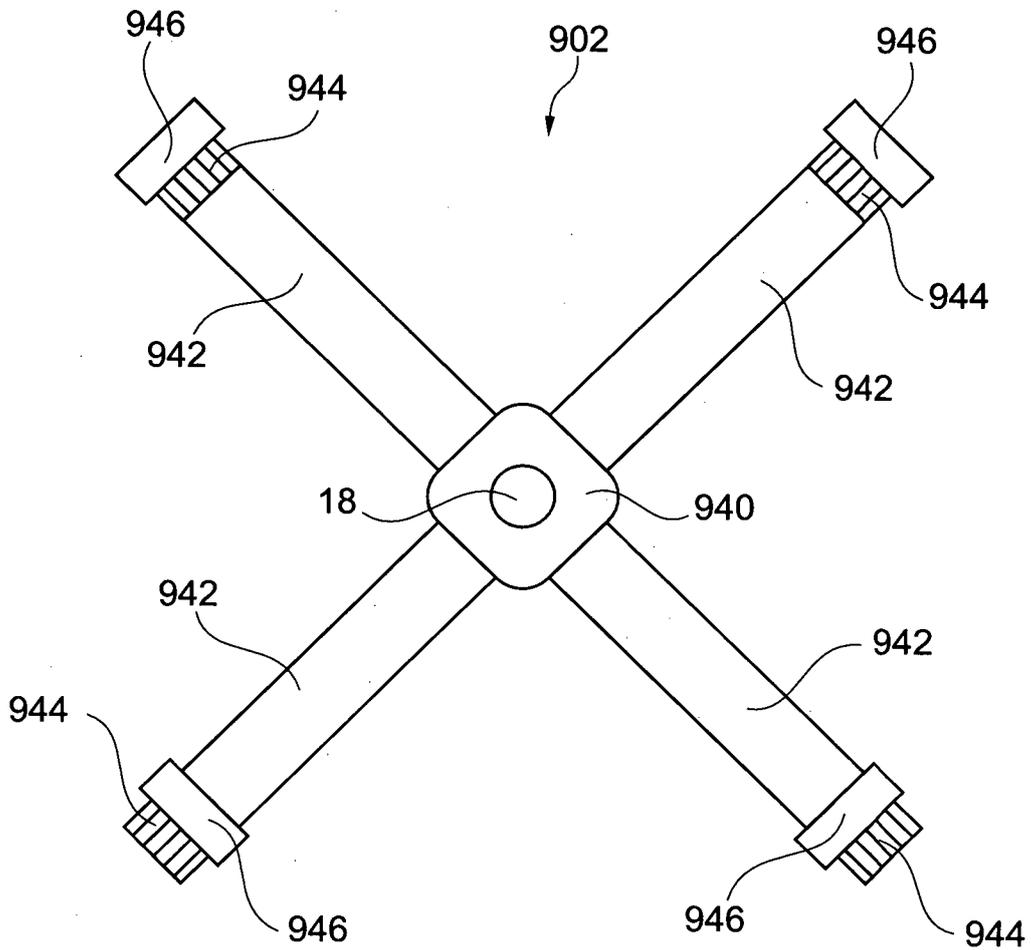


Fig. 12