

Materialsparender Strömungskonverter und dessen Verwendung als Wellenkraftwerk

Erfindungsgebiet

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Energiegewinnung aus natürlichen Luft- und Wasserströmungen, speziell aus Meereswellen.

Stand der Technik

Wind und Wasserkraft werden schon lange von den Menschen genutzt. Häufig wird die Energie natürlicher Strömungen durch Rotoren in mechanische Drehbewegung umgewandelt. Inzwischen kennt man eine große Vielfalt unterschiedlichster Rotoren, die sich grob in zwei Kategorien einteilen lassen: Die sogenannten Widerstandsläufer werden von Reibungskräften gedreht, bei Auftriebsläufern sind es hingegen die Auftriebskräfte an aerodynamischen Profilen.

Die überwiegende Mehrzahl heutiger Windenergieanlagen arbeitet mit Propellern, also typischen Auftriebsläufern. Sie müssen in der Strömung ausgerichtet werden und erreichen Wirkungsgrade bis zu 50 %.

Ein bekannter Vertreter der Widerstandsläufer ist der Savonius-Rotor. Zwei oder mehr gebogene Schaufeln, etwa zwei Fashälften, sind gleichsinnig um eine Achse herum angeordnet. Die Strömung findet in den Schaufelöffnungen einen höheren Widerstand als jenseits der Achse in den Schaufelrückseiten. Die Differenz der Reibungskräfte zu beiden Seiten der Achse erzeugt ein nutzbares Drehmoment. Der entscheidende Vorteil des Savonius-Rotors ist seine Unabhängigkeit von der Strömungsrichtung. Er erreicht aber nur einen Wirkungsgrad von

23 %. Der Savonius-Rotor gilt allgemein als schwer und langsam, Leistung wird bislang mit hohem Einsatz von Material erkaufte.

Es gibt zahlreiche Vorschläge, die auf den Meeren überall vorkommende Wellenbewegung in nützliche Energieformen umzuwandeln. Die große Vielfalt von Ansätzen kann hier nicht umfassend erörtert werden, nur einige Beispiele.

Derzeit am intensivsten erforscht ist das Prinzip der oszillierend Wassersäule, Stichwort „Oscillating Water Column (OWC)“. Dieses System nutzt die Luftkompression in einem Hohlraum, dessen untere Begrenzung durch die sich auf und ab bewegende Wasseroberfläche gebildet wird. Die Luft des Hohlraums lässt man über eine Wells-Turbine ein und aus strömen. Die Wells-Turbine dreht sich dabei kontinuierlich in eine Richtung und treibt einen Stromgenerator. Grundlage des OWC ist die Erfahrung, dass die Übersetzung der langsamen Wellenbewegung in eine schnelle Bewegung zur Stromerzeugung durch Verengung eines Luftstroms besonders einfach gelingt. Wichtig ist hier das geringe spezifische Gewicht der Luft, das eine sehr große Beschleunigung ermöglicht. Darüber hinaus kann die kompressible Luft große Wellen gut abfangen.

Die Verengung eines Stroms von Hydrauliköl findet sich in der Seeschlange „PELAMIS“. Druck entsteht hier bei der Verformung eines gegliederten, schlangenartigen Schwimmkörpers. Hydraulische Motoren erzeugen daraus eine nutzbare Drehbewegung. Der Ausgleich von Druckspitzen erfordert hier besondere Maßnahmen.

Ein weiterer bereits realisierter Ansatz ist der „TAPered CHANnel (TAPCHAN)“. Die auf den Strand auflaufenden Wellen werden über einen ansteigenden, spitz zulaufenden Kanal in ein erhöhtes Becken geleitet, aus dem es durch eine Turbine wieder in das Meer zurücklaufen kann. Durch die Verengung des Kanals

werden auch kleine Wellen soweit erhöht, dass sie in das Becken gelangen können.

Vereinzelt wurde auch schon versucht, die Wellenenergie direkt mit Hilfe von Turbinen in Drehbewegung zu verwandeln. Keiner der bislang bekannten Vorschläge erlaubt eine wirklich einfache, billige und zuverlässige Energiegewinnung aus Meereswellen.

Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein effizienter und materialsparender Strömungskonverter, der auf dem Widerstandsläufer beruht, und der insbesondere geeignet ist zur Gewinnung von Energie aus Meereswellen.

Grundelement ist ein Rotor mit elastischen Schaufeln wie in Figur 1. Effektive Fläche und Hebelwirkung der treibenden Schaufeln vergrößert sich im Strömungsdruck, die der rücklaufenden Schaufeln wird kleiner. Elastizität erhöht die Differenz der Reibungskräfte und verbessert damit den Wirkungsgrad. Der Ruhezustand ist zum Vergleich gestrichelt dargestellt.

Gitterförmige, parallele Anordnung vieler Rotoren hat gegenüber einem einzelnen Rotor mit gleichem Strömungsquerschnitt erhebliche Vorteile: Das Gitter hat einen höheren Wirkungsgrad und benötigt gleichzeitig weniger Material. Darüber hinaus drehen sich die kleinen Rotoren schneller.

Figur 2 zeigt oben einen einzelnen Rotor, unten zum Vergleich ein Gitter aus vier kleineren Rotoren im weiteren Strömungsfeld. Die axiale Ausdehnung der Rotoren ist in beiden Fällen gleich. Gitter und Einzelrotor erfassen denselben

Strömungsquerschnitt und damit auch dieselbe Strömungsleistung.

Im größeren Strömungszusammenhang wirkt der einzelne Rotor wie ein zylindrisches Hindernis, das Gitter hingegen wie eine Platte. Da der Widerstand einer Platte erheblich größer ist als der eines Zylinders, nehmen die Fluidteilchen beim Gitter eher den unbequemen Weg über die Rotorscheaufeln als beim Einzelrotor. Während die Strömung dem großen Rotor weiträumig ausweicht, ist dies beim Gitter nur schwer möglich. Der Wirkungsgrad des Gitters ist daher besser.

Zwischen den Rotoren des Gitters verengt sich der Strömungsquerschnitt und die Geschwindigkeit des Fluids wird größer. Die Rotoren werden dann schneller und mit größerer Kraft gedreht. Bei abnehmendem Rotorabstand erhöht sich daher der Wirkungsgrad des Gitters. Gleichzeitig verringert sich aber der durchtretende Strom und damit die Leistung, so dass ein optimaler Rotorabstand zu suchen ist.

Bei gleich bleibender Rotorlänge und abnehmendem Radius verkleinert sich die von einem Rotor erfasste Strömung linear, sein Volumen sinkt aber quadratisch. Die vier kleinen Rotoren des Gitters in Figur 2 benötigen daher nur ein Viertel von dem Material des großen Rotors und sind trotz höherer Leistung entsprechend leichter und billiger.

Der Übergang zu immer kleineren Rotordurchmessern findet seine Grenze in der Festigkeit des Materials. Bei gleich bleibender Länge muss eine immer dünner werdende Achse dem Verbiegen im Strömungsdruck widerstehen. Das Problem wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Rotorachsen wie die Saiten einer Harfe über einen Rahmen gespannt sind. Der kleinstmögliche Rotordurchmesser wird dann bei gegebener Länge und Strömung von der Zugfestigkeit der Achse bestimmt. Der Rahmen besteht typischerweise aus Rohren und ist erheblich stärker und

biegesteifer als die Rotorachsen. Die Rotoren sind drehbar auf den Achsen gelagert, die Achsen selbst drehen sich nicht.

Figur 3 zeigt den Aufbau eines Rotors für den Einsatz im Meer. Er hat beispielsweise einen Durchmesser von 16 cm, seine Länge beträgt 21 m, der Rotorabstand ist 25 cm. Die Rotorblätter bestehen aus einem weichen, elastischen Material wie Gummi. Da ein weicher und zugleich langer Rotor nicht in der Lage wäre, das in seiner Mitte entstehende Drehmoment an seine Enden zu leiten, umschließt dieser eine harte Transmissionswelle. Diese läuft auf einem Gleitlager um die gespannte Achse. Die verwendeten Materialien sind Meerwasserbeständig.

Die von den Rotoren erzeugte Leistung wird vorzugsweise in elektrischen Strom umgewandelt. Dazu befinden sich an beiden Enden jedes Rotors kleine Stromgeneratoren mit einfachen Übersetzungsgetrieben (Figur 4).

Die beidseitige Leistungsentnahme verdoppelt bei begrenzter Torsionsfestigkeit des Rotors seine maximal mögliche Länge. Die Stromgeneratoren sind der Einfachheit halber mit auf die Rotorachsen montiert. Auf eine mechanische Kopplung der Rotoren wird verzichtet. Die einzelnen Rotorleistungen werden auf der elektrischen Seite zusammengeschaltet. Eine Steuerung der Rotoren ist nicht vorgesehen. Der erzeugte Strom wird elektronisch an die Verbraucherseite angepasst.

Alternativ könnte man die einzelnen Rotorleistungen auch mechanisch oder hydraulisch zusammenfassen und einem einzigen, großen Generator mit besserem Wirkungsgrad zuführen.

Die gitterartig im Rahmen aufgespannten, elastischen Widerstandsrotoren bilden als technische Einheit einen vielseitig einsetzbaren Strömungskonverter. Zwar überträgt sich die Richtungsunabhängigkeit der Einzelrotoren nur bedingt

auf die Gesamtanordnung, doch dafür verbessern sich deutlich der Wirkungsgrad und die Materialeffizienz.

Der Strömungskonverter kann sowohl in der Luft wie auch im Wasser eingesetzt werden. Man könnte ihn beispielsweise auf Hausdächern oder hohen Masten montieren, aber auch in Fließgewässern.

Besonders geeignet ist der Strömungskonverter zur Energiegewinnung aus dem Meer. Neben der naheliegenden Anwendung auf horizontale Meeresströmungen kann er auch als Wellenkonverter die Orbitalströmung in Meereswellen nutzen.

Figur 5 veranschaulicht die Strömungsverhältnisse an einem horizontalen, dicht unter der bewegten Meeresoberfläche liegenden Rotor. Die kleinen Pfeile zeigen die Fließrichtung des Wassers unter einer von links heranlaufenden Welle. Mit dem Voranschreiten der Welle ändern sich diese Richtungen ständig. Ein richtungsunabhängiger Rotor wird bei seitlich heranlaufender Welle immer radial angeströmt und folglich angetrieben (Figur 5, oben). Auch eine längs des Rotors laufende Welle erzeugt eine radiale Strömungskomponente, die allerdings ungleichmäßig verteilt ist (Figur 5, unten). In einem sich ständig ändernden, kleinräumig heterogenen Strömungsfeld kommt es darauf an, dass der Rotordurchmesser deutlich kleiner ist als Wellenlänge und Amplitude der Wasserwelle. Hingegen sollte der Rotor möglichst lang sein damit die sich entlang seiner Achse summierenden Kräfte ein gleichmäßiges Drehmoment ergeben. Genau diese Voraussetzungen sind beim vorgeschlagenen Strömungskonverter erfüllt.

Zur Nutzung der Wellenbewegung wird ein ebenes Rotorengitter horizontal dicht unter die bewegte Wasseroberfläche gebracht, wo die Orbitalströmung am stärksten ist. Im einfachsten Fall geschieht dies mit Hilfe einer tischartigen Konstruktion, die

im küstennahen Flachwasser auf dem Meeresboden aufgestellt ist (Figur 6).

Ein rechteckiges Rotorengitter wird dazu von jeweils vier an seinen Ecken befestigten Pfeilern unter die Wasseroberfläche gehalten. Die Pfeiler sind in ihrer Länge verstellbar und können das Gitter wechselnden Wasserständen nachführen. Damit lässt sich das Gitter auch zur Wartung aus dem Wasser heraus heben oder bei Sturm auf den sicheren Grund absenken.

Der stehende Wellenkonverter wird durch sein Eigengewicht auf dem Meeresboden fixiert. Ballastkörper sorgen für die nötige Haltekraft. Der erzeugte Strom wird per Unterwasserkabel zur nahen Küste geleitet.

Auch schwimmende Wellenkraftwerke sind mit dem vorgeschlagenen Wellenkonverter machbar. Anstelle der Pfeiler besitzen diese Schwimmkörper. Mit ausblasbaren Ballasttanks kann das Gitter in der Tiefe eingestellt, zur Wartung an die Oberfläche gehoben, oder bei Sturm in tieferes Wasser gesenkt werden.

Gegen die Bewegung der Wasseroberfläche ist der schwimmende Wellenkonverter teils durch seine Trägheit stabilisiert, teils dadurch, dass sich die über eine ausreichend große Fläche summierten, vertikalen Wasserkräfte weitgehend aufheben. Weiterhin wird jede Bewegung relativ zum Wasserkörper von den Rotorengittern gedämpft und in elektrischen Strom verwandelt. Widerstandskörper an einer Ankerkette, etwa quer gestellte Platten, können zusätzlich die Beweglichkeit des Wellenkonverters gegenüber tiefen und damit ruhigen Wasserschichten einschränken.

Ein kleines Wellenkraftwerk wie in Figur 6 hat beispielsweise die Abmessungen 48 x 48 m, die Rotorlänge der vier quadratischen Gitter beträgt 21 m. Bei einem Rotordurchmesser von 16 cm und einem Rotorabstand von 25 cm sind 336 Rotoren

aufgespannt, an ihren Enden befinden sich insgesamt 672 kleine Generatoren. Die Gitterebene liegt etwa 1 m unter der mittleren Wasseroberfläche. Gelegentliches austauschen der Rotoren bei großen Wellen ist unproblematisch.

Vorsichtig geschätzt, hat eine mittlere Nordseewelle eine Leistung von 14 kW pro Meter Wellenfront. Trifft diese Front auf die insgesamt 42 m breiten Rotorengitter des obigen Beispiels, und nimmt man an, dass sie auf ihrem ebenso 42 m langen Weg durch die Gitter zu einem wesentlichen Teil absorbiert wird, dann kann man nach Abzug aller Verluste eine mittlere Dauerleistung von 150 bis 200 kW erwarten. In anderen Meeren findet man mittlere Energiedichten bis 100 kW/m, vor allem auf dem offenen Ozean. Dort könnte das Beispielkraftwerk sogar 1 MW und mehr leisten. An den Küsten von Nordspanien und Schottland sind es immerhin noch knapp 50 kW/m, bei Stürmen wurden dort auch schon 1000 kW/m gemessen.

Die geschätzte Leistung des Wellenkonverters übertrifft im Tagesmittel diejenige eines gleich großen Solarmoduls um ein Mehrfaches, aber kostet nur einen Bruchteil davon. Hinzu kommt, dass die Wellenenergie zu jeder Tages- und Nachtzeit zur Verfügung steht, insbesondere auch bei Dunkelheit und bei trübem Wetter. In den Herbst- und Wintermonaten, wenn in den gemäßigten Breiten die Tage kürzer sind und die Gebäude beheizt werden, steht sie sogar vermehrt zur Verfügung.

Der vorgeschlagene Wellenkonverter kann wegen seiner Wellenschluckenden Eigenschaften dem Küstenschutz dienen.

Die Statik des Wellenkonverters entspricht der eines Tennisschlägers. Sie kann Kraftspitzen bei hereinbrechenden, großen Wellen gut auffangen und abfedern und diese gleichmäßig auf den Rahmen verteilen. Die Rahmen bieten den Wasserkraften nur wenig Angriffsfläche. Durch große Wellen taucht das Gitter einfach hindurch. Auch die elastischen Rotorblätter federn die

hereinbrechenden Wassermassen gut ab. Sie könnten bei extremen Belastungen reversibel nach hinten umklappen und dadurch ihren Strömungswiderstand verkleinern.

Längliche Rotoren lassen sich extrem kostengünstig durch Extrusion fertigen.

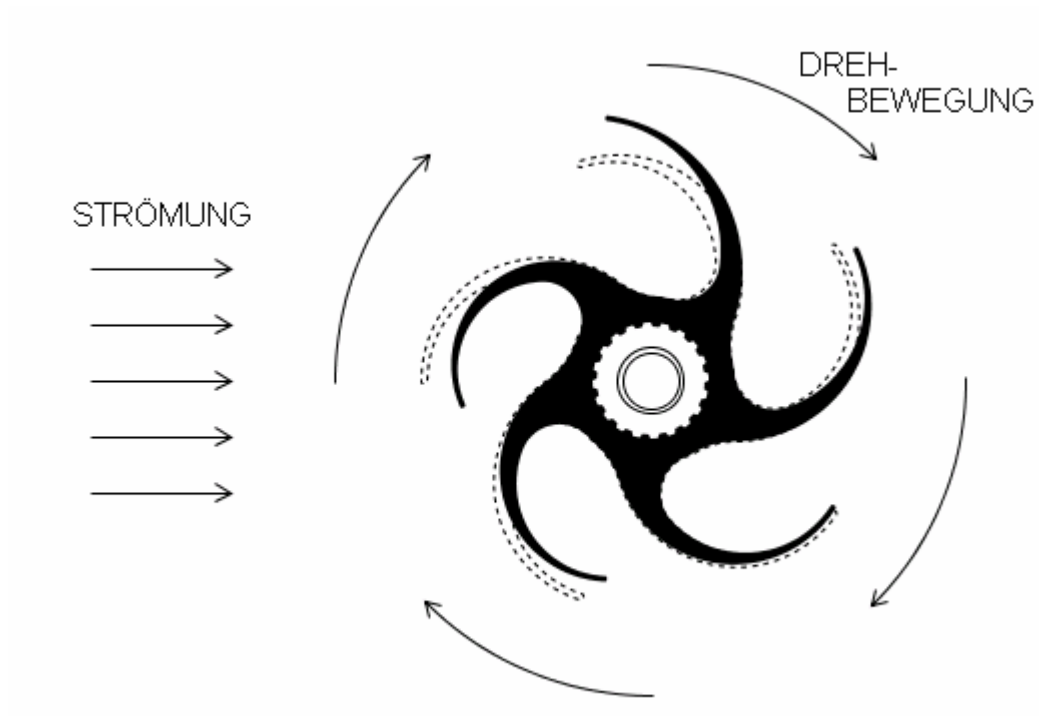
Die direkte Umsetzung der Wellenenergie mittels Rotoren bedeutet eine erhebliche Vereinfachung gegenüber konkurrierenden Ansätzen. Ineffiziente Zwischenschritte wie das komprimieren von Luft oder die Transformation linearer Bewegung in Rotation werden vermieden. Der hier vorgestellte Wellenkonverter erschließt die unerschöpfliche Energie der Meereswellen mit einem kaum zu unterbietenden Minimum an Material und Kosten.

Patentansprüche

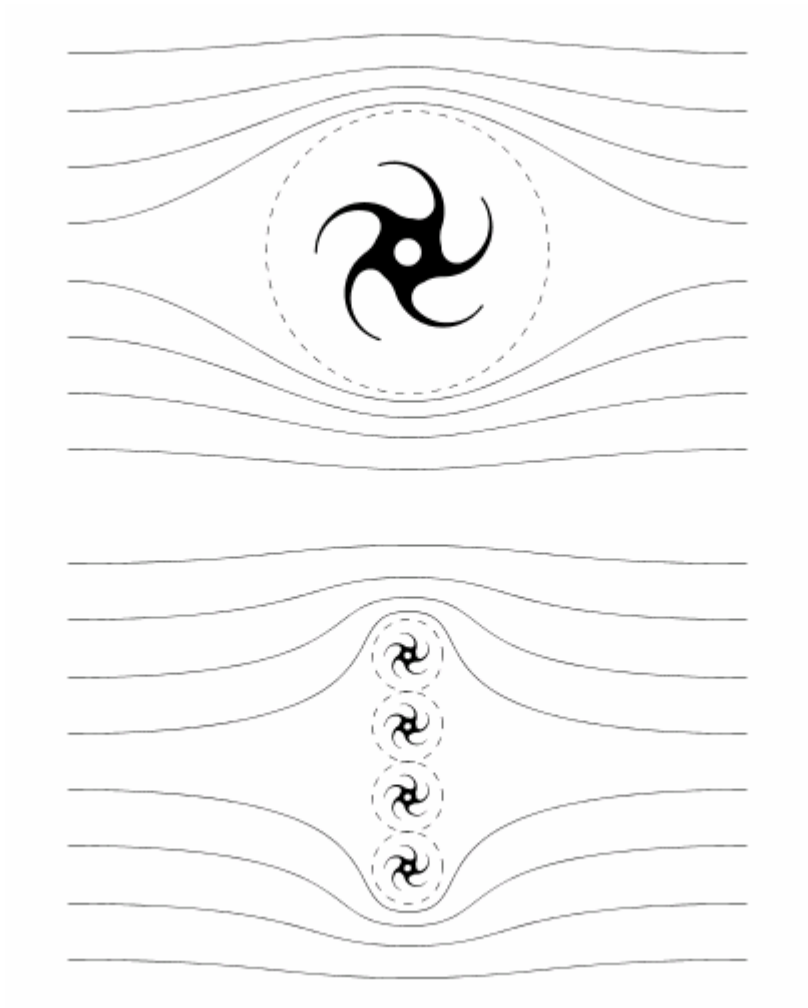
1. Strömungskonverter zur Energiegewinnung aus natürlichen Luft- und Wasserströmungen, bestehend aus einer gitterförmigen, in einem Rahmen aufgespannten Anordnung länglicher, vorzugsweise elastischer, unidirektionaler Widerstandsläufer-Rotoren mit zugehörigen Elementen zur Leistungsentnahme.
2. Verwendung des Strömungskonverters nach Patentanspruch 1 als Wellenkonverter zur Energiegewinnung aus Meereswellen und anderen räumlich oder zeitlich stark heterogenen Strömungsfeldern.
3. Effizienzverbesserung unidirektionaler Widerstandsläufer-Rotoren wie in Strömungskonvertern nach Patentanspruch 1 durch die Verwendung elastischer Schaufeln.
4. Effizienzverbesserung unidirektionaler Widerstandsläufer-Rotoren wie in Strömungskonvertern nach Patentanspruch 1 durch deren eng-parallele, gitterförmige Anordnung.
5. Steigerung der Biegefestigkeit länglicher Rotoren wie in Strömungskonvertern nach Patentanspruch 1 durch das Aufspannen der Rotorachsen in einer Rahmenkonstruktion.

Zusammenfassung

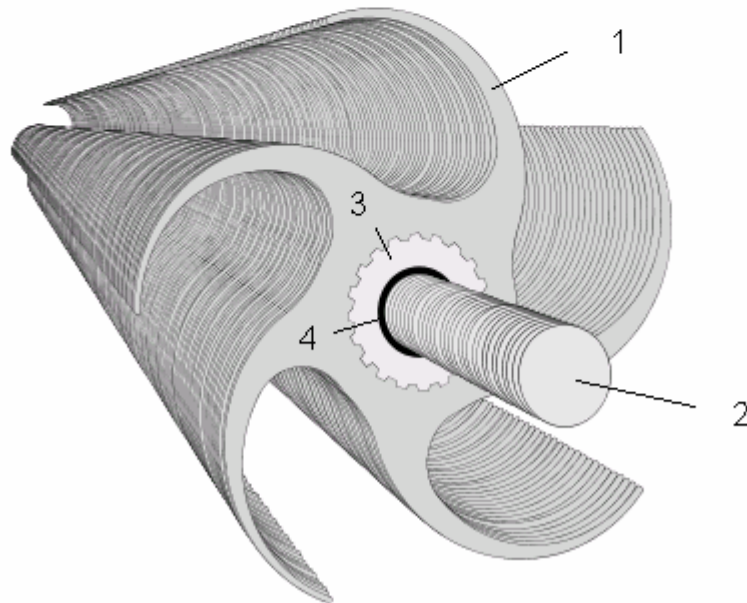
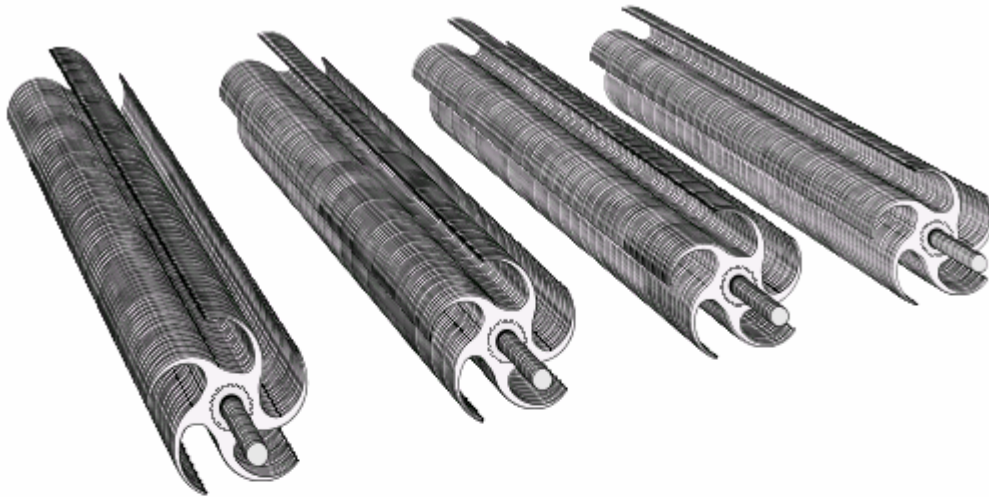
Strömungs- und Wellenkonverter zur Energiegewinnung aus natürlichen Luft- und Wasserströmungen und insbesondere aus Meereswellen, bestehend aus einer gitterförmigen, in einem Rahmen aufgespannten Anordnung länglicher, vorzugsweise elastischer, unidirektionaler Widerstandsläufer-Rotoren mit zugehörigen Elementen zur Leistungsentnahme. Gegenüber einem einzelnen Rotor gleicher Leistung hat der Strömungskonverter Vorteile im Hinblick auf Wirkungsgrad, Festigkeit und Materialeffizienz. Er eignet sich zur Nutzung von kleinräumig heterogenen, sich schnell ändernden Strömungen, speziell von Meereswellen.



Figur 1. Rotor mit elastischen Schaufeln.

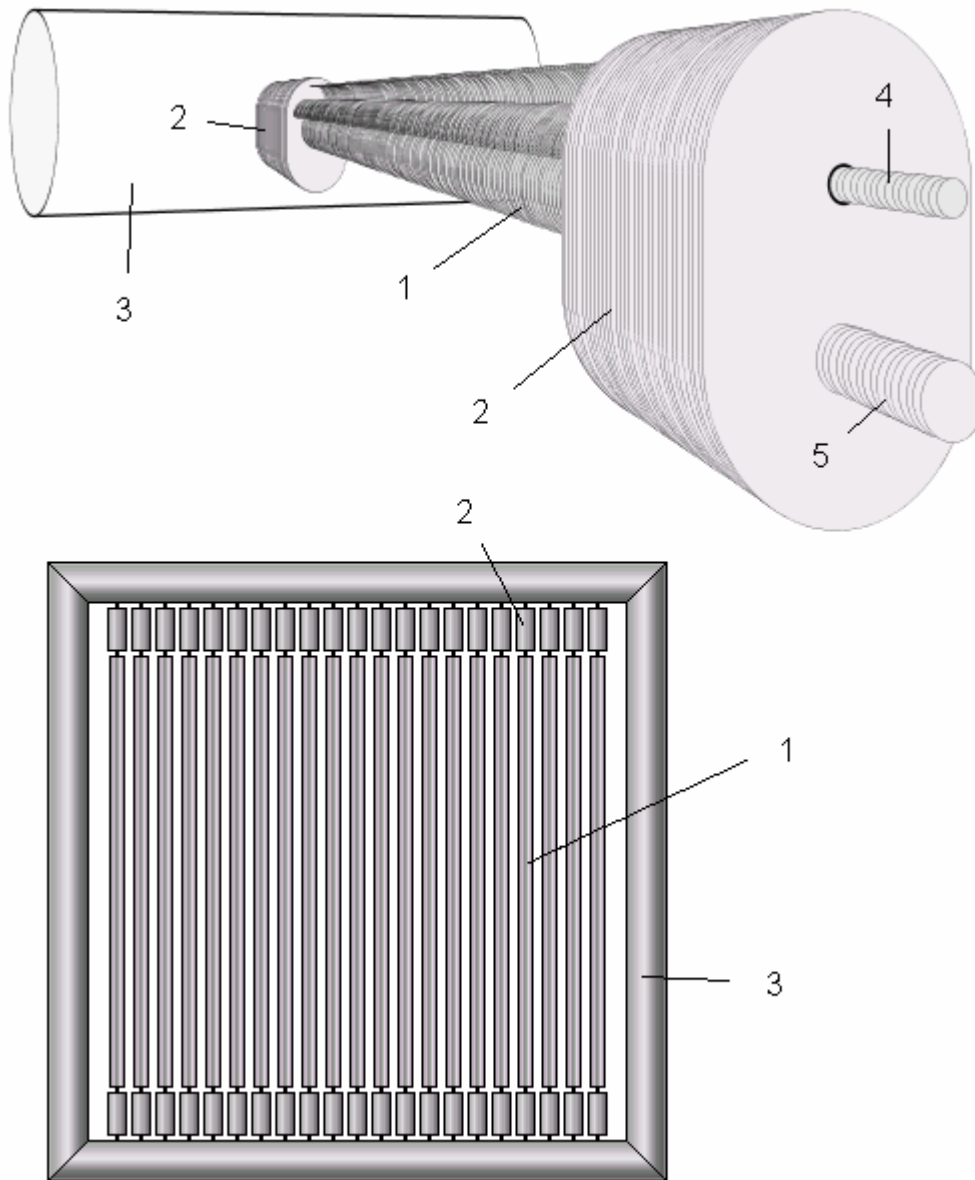


Figur 2. Vergleich des einzelnen Rotors mit dem Rotorengitter.



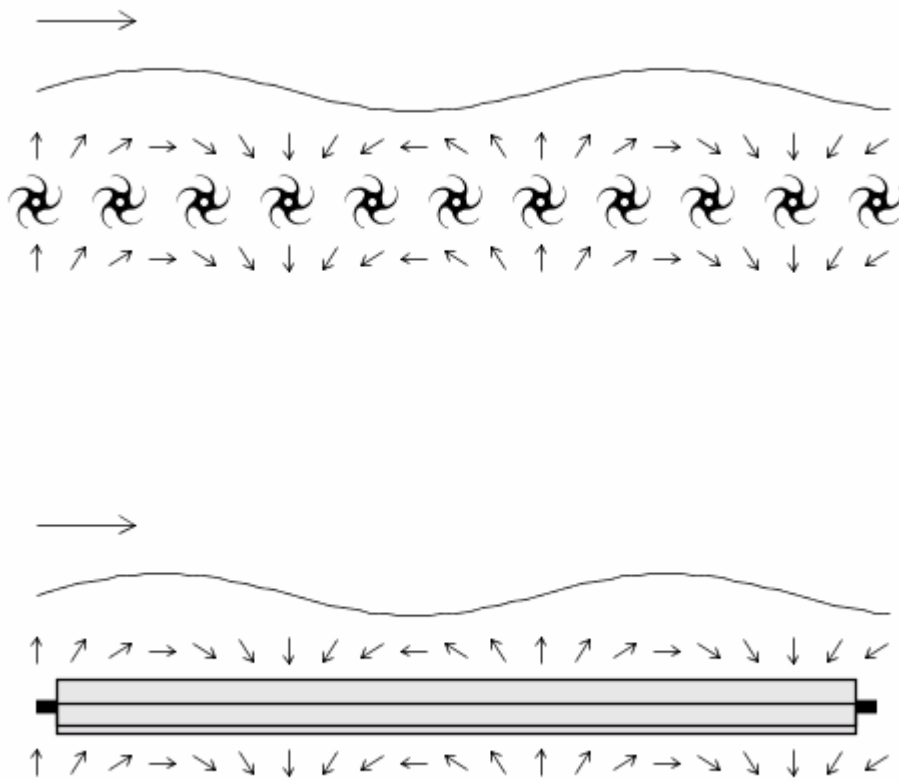
Figur 3. Oben: Gitterförmige Anordnung elastischer Rotoren.
Unten: Aufbau des Rotors.

- (1) elastische Rotorblätter
- (2) gespannter Tragdraht
- (3) Transmissionswelle
- (4) Lager

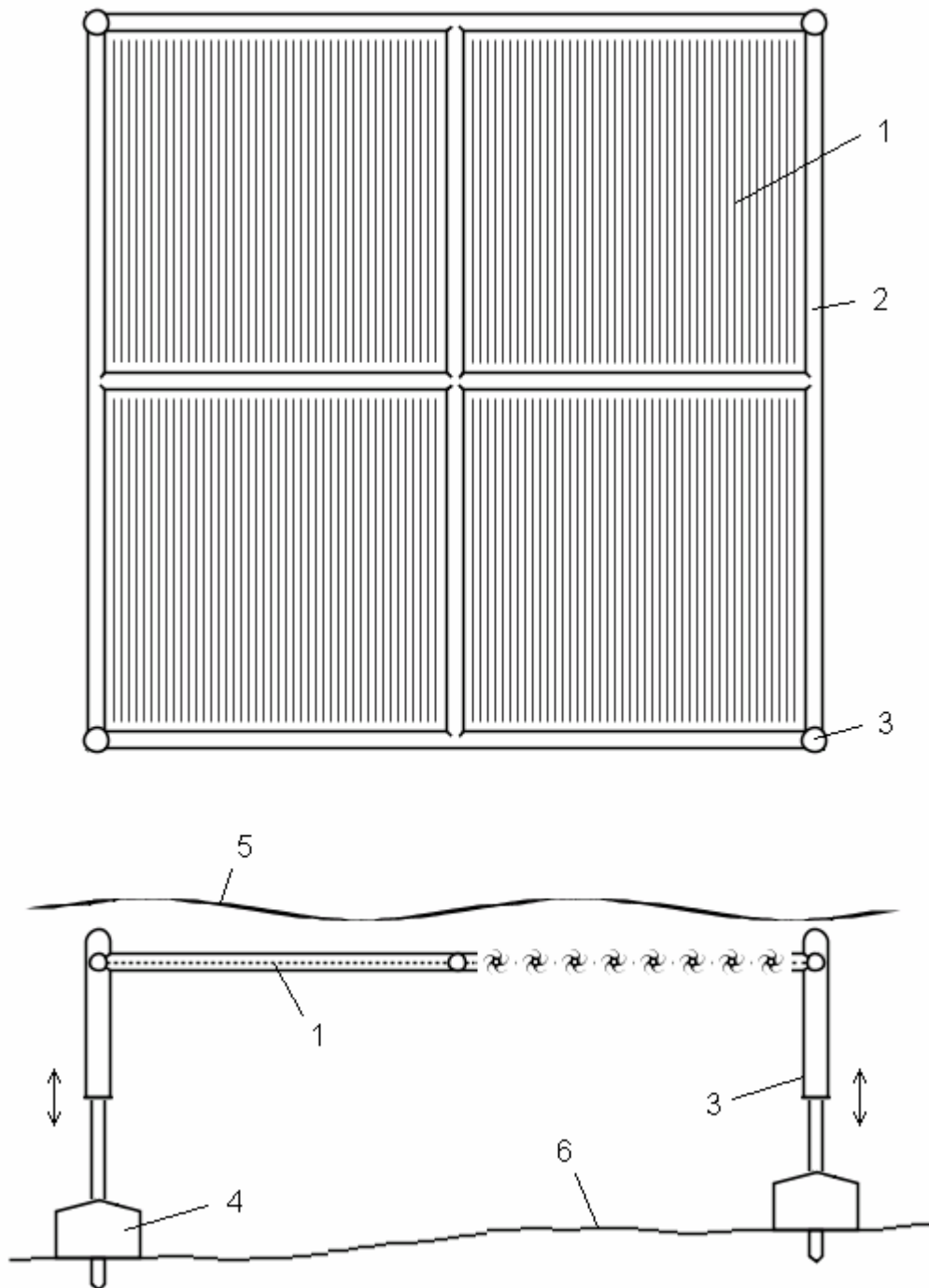


Figur 4. Oben: Stromerzeugendes Element, bestehend aus einem Rotor und zwei Generatoren. Unten: Mehrere Rotor-Generator-Elemente sind in einem Rohrrahmen aufgespannt.

- (1) Rotor
- (2) Generator
- (3) Rahmen
- (4) Achse
- (5) Haltezapfen



Figur 5. Rotor im Strömungsfeld einer Welle.



Figur 6. Wellenkraftwerk. Oben: Draufsicht. Unten: Seitenansicht.

- (1) Rotorengitter
- (2) Rohrrahmen
- (3) Tragpfeiler
- (4) Ballastkörper
- (5) Wasseroberfläche
- (6) Meeresboden