



(10) **DE 10 2011 117 176 A1** 2013.05.02

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 117 176.6**

(22) Anmeldetag: **28.10.2011**

(43) Offenlegungstag: **02.05.2013**

(51) Int Cl.: **F03B 3/12 (2011.01)**  
**F03D 1/06 (2011.01)**

(71) Anmelder:  
**Voith Patent GmbH, 89522, Heidenheim, DE**

(74) Vertreter:  
**Dr. Weitzel & Partner, 89522, Heidenheim, DE**

(72) Erfinder:  
**Dorweiler, Harald, 67105, Schifferstadt, DE;**  
**Perner, Norman, 89233, Neu-Ulm, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

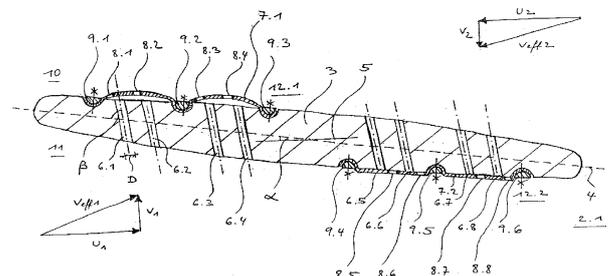
|    |                  |    |
|----|------------------|----|
| DE | 419 563          | A  |
| DE | 443 163          | A  |
| DE | 458 428          | A  |
| DE | 11 87 559        | A  |
| US | 2011 / 0 116 923 | A1 |
| WO | 84/ 02 163       | A1 |
| WO | 2011/ 069 615    | A1 |
| NL | 000002004618     | C  |

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Rotorblatt für eine Wasserturbine, insbesondere für ein Gezeitenkraftwerk, und Verfahren für dessen Betrieb**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Wasserturbine mit einem hydrodynamischen Profil, dem eine Saugseite und eine Druckseite zugeordnet ist, umfassend eine Mehrzahl von Überströmkämlen, die im hydrodynamischen Profil angelegt sind und eine hydraulische Verbindung zwischen der Saugseite und der Druckseite herstellen und denen jeweils eine Ventileinrichtung zugeordnet ist. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Ventileinrichtung unterhalb einer vorgegebenen Grenzlastschwelle für das Rotorblatt geschlossen und oberhalb der Grenzlastschwelle geöffnet ist, wobei jeder Überströmkanal in der Offenstellung der Ventilanordnung den Leistungsbeiwert und/oder den Schubbeiwert des Rotorblatts gegenüber der Geschlossen-Stellung verringert.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Wasserturbine, insbesondere für ein Gezeitenkraftwerk oder ein Flusswasserkraftwerk, und ein Verfahren für dessen Betrieb.

**[0002]** Frei umströmte Wasserturbinen zur Energiegewinnung aus einer Gewässerströmung, insbesondere einer Gezeiten- oder Meeresströmung, sind bekannt. Derartige Anlagen können auch zur Energiegewinnung in Flüssen verwendet werden, wobei auf weitreichende wasserbauliche Maßnahmen zur Erstellung von Dammstrukturen verzichtet werden kann. Dabei kann es sich um fundamentierte Anlagen handeln, für die sich eine Gondel über einen Turm gegen den Gewässergrund abstützt. Alternativ wird die Anlage so mit Auftrieb versehen, dass diese schwimmfähig ist, wobei in diesem Fall ein Ankersystem die Gondel mit der Wasserturbine in der Betriebsposition hält. Eine mögliche Bauform gattungsgemäßer Anlagen stellen rotorförmige Wasserturbinen in Horizontalläuferbauweise dar. Denkbar sind Rotoren mit nach radial außen weisenden Rotorblättern oder von einem Stützring ausgehend nach radial innengerichteten Rotorblättern.

**[0003]** Zur Energiegewinnung aus Gezeiten muss die Anlage für einen zyklischen Wechsel der Anströmungsrichtung angepasst werden. Wird auf einen Blattwinkelstellmechanismus oder eine Drehrichtung zur Nachführung der gesamten Wasserturbine um die Anlagenhochachse verzichtet, müssen die Rotorblätter mit einem bidirektional anströmbareren Profil versehen sein. Zu diesem Zweck sind linsenförmige Blattquerschnitte oder Profile mit einem S-Schlag bekannt. Zur Verbesserung des hydraulischen Wirkungsgrades derartiger Profile offenbart die DE 10 2009 057 449 B3 schaltbare Überströmkanäle zwischen der Druck- und der Saugseite des Profils. Diese dienen dazu, die Wirkung des jeweils stromabseitig liegenden Profiltails abzumildern. Des Weiteren beschreiben WO 2009 143846 A1 und US 1,553,627 A Strömungsmaschinen mit geschlitzten Rotoren, die durch ein Überführen und Beschleunigen einer Teilströmung von der Druck- zur Saugseite des Profils den Wirkungsgrad steigern. Des Weiteren sind Überstromkanäle bekannt, die von der Druck- zur Saugseite des Profils reichen, um durch einen dosierten Fluidauslass die Grenzschicht anzuregen und so eine Strömungsablösung zu vermeiden. Hierzu wird beispielhaft auf die DE 5 35 504 A und DE 1187559 A verwiesen.

**[0004]** Gattungsgemäße Anlagen ohne Dammstrukturen sind aufgrund der aufwändigen Bergung schwierig zu warten. Dies trifft insbesondere auf einen Standort im Meer zu, sodass eine grundlegende Forderung darin besteht, ein möglichst robustes Design zu verwenden. Aus diesem Grund werden An-

lagen bevorzugt, die möglichst wenig ausfallanfällige Systeme aufweisen. Hieraus resultiert ein wartungsarmes Konzept ohne einen Blattwinkelstellmechanismus oder eine Vorrichtung zur Drehung der Gesamtanlage um die Hochachse. Nachteilig an diesem Ansatz ist jedoch, dass die Wasserturbine so ausgelegt werden muss, dass sie einer nur in Ausnahmefällen auftretenden Spitzenbelastung standhält. Eine bekannte Maßnahme zur Lastreduktion bei Starkanströmung ist ein Anlagenbetrieb im Schnellaufbereich, der den hydraulischen Wirkungsgrad und die Schublasten auf die Rotorblätter reduziert. Allerdings kann beim Erreichen der Durchgangsdrehzahl die Belastung der Rotorblätter nicht weiter reduziert werden, sodass ein hoher konstruktiver Aufwand zur sicheren Auslegung der Wasserturbine notwendig ist. Des Weiteren werden für das vereinfachte Anlagen-design mit drehstarr angelenkten Rotorblättern und ohne einen Mechanismus zur Ausführung eines Anlagenschwenks aus Sicherheitsgründen Rotorblätter verwendet, die für einen effizienten Betrieb unter Normalbedingungen zu klein ausgebildet sind.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Rotorblatt für eine Wasserturbine und ein hiermit ausgeführtes Betriebsverfahren anzugeben, das starken Belastungsspitzen Stand hält. Dabei soll das Rotorblatt einen hohen Wirkungsgrad für die unter normalen Betriebsbedingungen auftretende Anströmung aufweisen. Ferner soll das Rotorblatt für frei umströmte Wasserturbinen und insbesondere für die Energiegewinnung aus einer bidirektionalen Anströmung geeignet sein.

**[0006]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0007]** Ein erfindungsgemäßes Rotorblatt weist mindestens über einen Teilabschnitt der Blatterstreckung mehrere Überströmkanäle auf, die eine hydraulische Verbindung zwischen der Saugseite und der Druckseite des Profils herstellen. Den Überströmkanälen ist mindestens eine Ventileinrichtung zugeordnet, die so ausgelegt ist, dass sie unterhalb einer vorgegebenen Grenzlastschwelle geschlossen und oberhalb der Grenzlastschwelle geöffnet ist. Bevorzugt wird die Grenzlastschwelle durch eine vorgegebene Drehzahl der Wasserturbine festgelegt. Weitere bevorzugte Ausgestaltungen definieren die Grenzlastschwelle durch einen vorgegebenen, durch die Anströmung bedingten Staudruck an der Wasserturbine oder eine vorgegebene Druckdifferenz zwischen der Saugseite und der Druckseite des Profils. Dabei kann eine Ventileinrichtung verwendet werden, die passiv arbeitet und beim Erreichen der Grenzlastschwelle selbsttätig schließt. Für eine alternative Ausführung wird das Erreichen der Grenzlastschwelle von einem Steuergerät detektiert, das sensorische Daten, etwa

die Anströmungsgeschwindigkeit, die Rotordrehrate oder die Lasten auf den Haltestrukturen der Anlage, verarbeitet, wobei das Steuergerät Stellsignale an die Ventilvorrichtung ausgibt.

**[0008]** Die Überströmkanäle mit der zugeordneten Ventileinrichtung dienen als Überlastsicherung. Entsprechend sind diese so angelegt, dass ein geöffneter Überströmkanal den Leistungsbeiwert und/oder den Schubbeiwert des Rotorblatts verringert. Daher sind die Überströmkanäle bezüglich ihrer Anzahldichte und ihres Querschnitts in der Offenstellung so angelegt, dass die Druckdifferenz zwischen der Saug- und der Druckseite hinreichend reduziert wird und die Wirkung des Profilabschnitts mit den Überströmkanälen im Fall einer geöffneten Ventileinrichtung so reduziert wird, dass die Belastung des Rotorblatts abnimmt. Dies führt zu der Notwendigkeit, dass ein hinreichendes Strömungsvolumen durch die Überströmkanäle geführt werden kann, sodass nicht nur keine eine Grenzschichtanregung eintritt, sondern der Auftrieb im Profilabschnitt mit der Überlastsicherung stark reduziert wird. Eine weitere bevorzugte Maßnahme zur effektiven Reduktion der Leistungsbeiwerte und/oder der Schubbeiwerte besteht darin, die Überströmkanäle so anzulegen, dass an diesen die Ein- und Ausströmung der Profilmströmung entgegenwirkt. Zu diesem Zweck werden die Überströmkanäle bevorzugt so gestaltet, dass diese schräg gegenüber der Lotrechten zur Mittenlinie gestellt sind, sodass die Einströmung in die Überströmkanäle auf der Druckseite sowie die Ausströmung auf der Saugseite eine gegen die Profilströmung gerichtete Richtungskomponente aufweisen. Zusätzlich können Teile der Ventileinrichtung in der Offenstellung die Profilkontur so verändern, dass der hydraulische Wirkungsgrad abnimmt. Ein erfindungsgemäßes Rotorblatt kann für den Mittellastbereich ausgelegt werden und demnach gegenüber einem Rotorblatt ohne Überlastsicherung größer dimensioniert werden. Hieraus resultiert eine wesentliche Wirkungsgradsteigerung der Gesamtanlage für den Betrieb unter normalen Anströmungsbedingungen.

**[0009]** Für eine bevorzugte Ausgestaltung liegt die Überlastsicherung mit den im Überlastfall geöffneten Überströmkanälen lediglich bei einem begrenzten Teilbereich des Profils vor, wobei eine Anordnung in einem blattspitzennahen Bereich vorteilhaft ist. Dabei wird eine Unterbringung der Überströmkanäle auf einer Fläche bevorzugt, die kleiner als ein Drittel der Gesamtfläche des Rotorblatts ist.

**[0010]** Für eine besonders bevorzugte Ausgestaltung arbeitet die Überlastsicherung passiv. Demnach schaltet die Ventileinrichtung beim Erreichen der Grenzlastschwelle aufgrund der Lasten auf der Anlage, ohne dass eine separate Steuerungseinrichtung notwendig ist. Für eine bevorzugte Ausgestaltung umfasst die Ventileinrichtung eine Membran, die

auf der Saugseite des Profils zur Abdeckung wenigstens eines Überströmkanals angeordnet ist. Die Membran weist wenigstens eine Membranöffnung auf, die versetzt zu einer Einlass- und/oder Auslassöffnung des zugeordneten Überströmkanals angeordnet ist. Durch ein Abheben der Membran von der Einlassöffnung und/oder der Auslassöffnung des zugeordneten Überströmkanals entsteht eine hydraulische Verbindung zwischen der Druckseite und der Saugseite des Profils. Die Öffnung der Ventileinrichtung entgegen der Membranspannung kann passiv durch eine Druckdifferenz zwischen der Druck- und der Saugseite des Profils, die im Überlastfall hinreichend groß ist, bewirkt werden. Für eine Weitergestaltung zu einer aktiven Vorrichtung kann ein rückseitig der Membran angebrachter Stellzylinder verwendet werden, der in der ausgefahrenen Stellung die Membran von der jeweiligen Einlass- und/oder Auslassöffnung des Überströmkanals abhebt. Ein solcher Stellzylinder kann als elektrisch betriebene Einheit ausgebildet sein. Dabei kommt insbesondere eine Vorrichtung mit einer Solenoidspule in Betracht. Für die aktive Ausgestaltung mit einem aktuatorischen Element kann die Membran auf der Saugseite und/oder auf der Druckseite des Rotorblattprofils angebracht werden. Des Weiteren ist für diese Ausführung die Membran so zu wählen, dass sie der punktuellen Belastung durch das Stellelement standhält. Dabei sind Ausführungsformen denkbar, die wenigstens in den belasteten Bereichen ein Metallblech oder eine armierte Kunststoffplatte aufnehmen oder ganzflächig aus diesen Materialien gebildet sind. Ferner werden an am Auflagepunkt des Stellzylinders an der Membran ein Gleitflächen bildendes Element, wie eine PTFE-Folie, angebracht.

**[0011]** Für eine Ausgestaltungsalternative werden eine aktiv geschaltete Ventileinrichtung und eine zugeordnete Steuerungseinrichtung zur Bestimmung der Grenzlastschwelle vorgesehen. Dabei liegt für mehrere Überströmkanäle eine zentrale Ventileinrichtung vor. Für eine bevorzugte Ausgestaltung führen die so gebündelten Überströmkanäle auf der Druckseite des Profils zum einen druckseitigen Sammelraum. Entsprechend liegt an der Saugseite des Profils ein saugseitiger Sammelraum, in den die saugseitigen Teilabschnitte der Überströmkanäle münden. Zwischen dem druckseitigen Sammelraum und dem saugseitigen Sammelraum besteht eine Verbindung über eine zentrale Ventileinrichtung. Denkbar ist eine Ausgestaltung für die jeweils die Überströmkanäle bereichsweise zusammengefasst werden und über eine zugeordnete zentrale Ventileinrichtung schaltbar sind. Dabei ist auch die Verwendung einer Mehrzahl zentraler Ventileinrichtungen möglich.

**[0012]** Die Ventileinrichtung zur Freigabe bzw. zur Blockade eines Überströmkanals kann für eine aktive Ausgestaltung elektrisch oder hydraulisch angetrie-

ben werden. Im Fall eines elektrischen Stellelements folgt die Energieversorgung bevorzugt über ein berührungslos arbeitendes, induktives System zur Leistungsübertragung im Bereich der Rotornabe. Für eine hydraulische Gestaltung kann ein Druckmedium im Übergang zwischen dem ortsfesten Teil der Anlage und dem Rotor mittels eines Ringkanals erfolgen. Denkbar ist auch eine Gestaltung, für die der für den Betrieb der Stelleinrichtung verwendete Hydraulikdruck von einer im Bereich der umlaufenden Einheit der Wasserturbine angeordneten Druckerzeugungsvorrichtung stammt. Für eine Ausgestaltungsalternative kann der auf ein Anlagenteil wirkende Staudruck zum Betrieb der Stellelemente der Ventileinrichtung verwendet werden.

**[0013]** Für eine weitere, bevorzugte Ausführungsform wird wenigstens eine Ventileinrichtung mit einem Steuerschieber verwendet, der Stellbewegungen ausführt, die im Wesentlichen in Richtung der Blattlängsachse gerichtet sind. Dabei kann der Steuerschieber entgegen der Kraftwirkung eines elastischen Stellelements in die Offen-Stellung geführt werden. Für eine solche Ausgestaltung führt die mit einer zunehmenden Rotordrehzahl ansteigende Fliehkraftwirkung zu einer Bewegung des Steuerschiebers entgegen des elastischen Elements bis die Ventileinrichtung öffnet. Entsprechend wird die vorgegebene Grenzlastschwelle durch eine Grenze für die Drehzahl, für die die Überlastsicherung auslöst, festgelegt.

**[0014]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Zusammenhang mit Figurendarstellungen beschrieben, die im Einzelnen Folgendes darstellen:

**[0015]** **Fig. 1** zeigt einen Profilschnitt für ein erfindungsgemäßes Rotorblatt mit einer Überlastsicherung, die eine Mehrzahl von Überströmkanälen mit einer zugeordneten Ventileinrichtung umfasst.

**[0016]** **Fig. 2** stellt einen Teilausschnitt des Profils aus **Fig. 1** dar, wobei die Überlastsicherung eine Ventileinrichtung mit einer durch die Überströmkanäle gespannten Membran umfasst.

**[0017]** **Fig. 3** stellt eine Weitergestaltung der Ausführung gemäß **Fig. 2** dar, wobei die Membran mittels eines Stellzylinders abhebbar ist.

**[0018]** **Fig. 4** zeigt eine alternative Ausgestaltung anhand eines Profilschnitts eines Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotorblatts mit einem druckseitigen Sammelraum und einem saugseitigen Sammelraum und einer zwischengeschalteten zentralen Ventileinrichtung.

**[0019]** **Fig. 5** zeigt eine alternative Ausgestaltung mit einer Ventileinrichtung, die eine Mehrzahl von Über-

strömkanälen bündelt und der ein in Blattlängsrichtung angeordneter Steuerschieber zugeordnet ist.

**[0020]** **Fig. 6** zeigt in einer Teilschnittansicht des Rotorblatts einen in Blattlängsrichtung angeordneten Steuerschieber für die Ventileinrichtung der Überströmkanäle.

**[0021]** **Fig. 7** zeigt in Draufsicht ein Gezeitenkraftwerk mit einer Wasserturbine, deren Rotorblätter eine erfindungsgemäße Überlastsicherung umfassen.

**[0022]** **Fig. 7** zeigt schematisch vereinfacht eine gattungsgemäße Energieerzeugungsanlage. Dargestellt ist ein Gezeitenkraftwerk **100** mit einem auf dem Gewässergrund **102** ruhenden Fundament **101**. Auf diesem stützt sich ein Turm **103** ab, der eine Maschinengondel mit einer daran umlaufenden, frei umströmten Wasserturbine **104** trägt, die in Horizontalläuferbauweise ausgebildet ist. Die Wasserturbine **104** umfasst drei Rotorblätter **1.1**, **1.2**, **1.3**, deren Scheitel eine Rotationsebene festlegen.

**[0023]** Jedes Rotorblatt **1.1**, **1.2**, **1.3** umfasst erfindungsgemäß eine Überlastsicherung **2.1**, **2.2**, **2.3**, die im Bereich der jeweiligen Blattspitze ausgebildet ist. Die Anordnung der Überlastsicherung **2.1**, **2.2**, **2.3** im radial äußeren Teil des Rotorblatts **1.1**, **1.2**, **1.3** ist neben der hohen Wirksamkeit deshalb vorteilhaft, da im relativ dünnen Blattspitzenbereich ein Rotorblatt **1.1**, **1.2**, **1.3**, insbesondere in Guss- oder Stahlausführung, aus Vollmaterial besteht, sodass Überströmkanäle der Überlastsicherung **2.1**, **2.2**, **2.3** fertigungstechnisch vereinfacht als Bohrungen ausgeführt werden können.

**[0024]** Eine Ausgestaltung der Überlastsicherung **2.1** ist in **Fig. 1** dargestellt. Gezeigt wird ein Profilschnitt entlang der Schnittlinie A-A aus **Fig. 7**. Skizziert ist ein bidirektional anströmbares hydrodynamisches Profil **3**, das als doppelsymmetrisches Profil ausgebildet ist. Die Sehnenlinie und die Mittellinie **4** des hydrodynamischen Profils **3** stimmen für das vorliegende Ausführungsbeispiel überein. Des Weiteren ist ein Anstellwinkel  $\alpha$  zwischen der Mittellinie **4** und der Rotationslinie **5** gezeigt, der die Einbaulage des Rotorblatts **1.1**, **1.2**, **1.3** verdeutlicht.

**[0025]** Für die in **Fig. 1** skizzierte Betriebsbedingung wird die effektive Anströmung  $v_{\text{eff}1}$  angenommen, die sich aus der vektoriellen Addition der Anströmungsgeschwindigkeit  $v_1$  und der negativen Umlaufgeschwindigkeit  $u_1$  ergibt. Dabei soll der Fall einer Starkanströmung vorliegen, die oberhalb einer vorbestimmten Grenzlastschwelle liegt. Für die angenommene effektive Anströmung  $v_{\text{eff}1}$  liegt die Druckseite **11** oberhalb der Mittellinie **4** und die Saugseite **10** des hydrodynamischen Profils **3** oberhalb der Mittellinie **4**. Zwischen der Druckseite **11** und der Saugsei-

te **10** stellen Überströmkanäle **6.1**, ..., **6.8** eine schaltbare hydraulische Verbindung her.

**[0026]** Zur Festlegung eines offenen und geschlossenen Zustands der Überströmkanäle **6.1**, ..., **6.8** wird eine Ventileinrichtung **12.1**, **12.2** verwendet. Vorliegend wird diese durch eine Membran **7.1**, **7.2** realisiert, die über die Einlass- oder Auslassöffnungen der Überströmkanäle **6.1**, ..., **6.8** gespannt ist. Zu diesem Zweck sind Haltestege **9.1**, ..., **9.6** vorgesehen, die die Membran **7.1**, **7.2** an Einkerbungen des hydrodynamischen Profils **3** unter Spannung verkeilt. Hierdurch entstehen Teilabschnitte der Membranen **7.1**, **7.2**, die für das vorliegende Ausführungsbeispiel jeweils zwei Überströmkanäle **6.1**, ..., **6.8** im Bereich des Auslasses überdecken.

**[0027]** Die Membranen **7.1**, **7.2** umfassen eine Mehrzahl von Membranöffnungen **8.1**, ..., **8.8**, die jeweils versetzt zu den Auslassöffnungen der zugeordneten Überströmkanäle **6.1**, ..., **6.8** angeordnet sind, sodass unter Normalbedingungen, das heißt beim Anlagenbetrieb unterhalb der Grenzlastschwelle, eine hinreichende Abdichtung der Überströmkanäle **6.1**, ..., **6.8** vorliegt. Entsprechend sind die Einspannung, die Materialwahl der Membran **7.1**, **7.2** sowie die Geometrie der Auslassöffnung auf die beim Betrieb wirkenden Kräfte abgestimmt. Dabei kann die Membran aus einem faserverstärkten Material bestehen.

**[0028]** Für die angenommene Anströmung  $v_{\text{eff1}}$  wirken auf die Membran **7.1** die Auftriebskraft auf der Saugseite **10** des Profils, wobei die Druckdifferenz zwischen der Saugseite **10** und der Druckseite **11** des hydrodynamischen Profils **3** dazu führt, dass die Membran **7.1** ausgewölbt wird, das heißt die Ventileinrichtung **12.1** befindet sich in der Offen-Stellung. Die auf der Druckseite **11** liegende Membran **7.2** für die Überströmkanäle **6.5**, ..., **6.8** im stromabseitigen Teil des Profils ist für die Anströmung  $v_{\text{eff1}}$  geschlossen, das heißt die Membran **7.2** liegt an der Profilkontur an und die versetzten Membranöffnungen **6.5**, ..., **6.8** weisen keine Überdeckungen mit den Ausströmungsöffnungen der Überströmkanäle **6.5**, ..., **6.8** auf. Ein Öffnen der Überströmkanäle **6.5**, ..., **6.8** kann nur für eine hinreichend große, entgegengesetzte effektive Anströmung  $v_{\text{eff2}}$  auftreten.

**[0029]** **Fig. 2** zeigt einen Teilausschnitt aus **Fig. 1** mit den Überströmkanälen **6.1**, **6.2**. Diese werden auf der Saugseite **10** des hydrodynamischen Profils **3** mit dem Abschnitt der Membran **7.1** zwischen den Haltestegen **9.1** und **9.2** überspannt. Für die dargestellte Betriebssituation befindet sich die Ventileinrichtung **12.1** in der Offen-Stellung. Vorliegend bedeutet dies, dass der Abschnitt der Membran **7.1** gegenüber der Profildecke **21** im Bereich der Auslassöffnungen **18.1**, **18.2** der Überströmkanäle **6.1**, **6.2** angehoben ist. Hierdurch wird ein Strömungs-

weg zu gegenüber den Auslassöffnungen **18.1**, **18.2** versetzt angeordneten Membranöffnungen **8.1**, **8.2** hergestellt. Damit ist eine hydraulische Verbindung zwischen der Druckseite **11** und der Saugseite **10** des hydrodynamischen Profils **3** geschaffen, die einen Druckausgleich bewirkt, der so beschaffen ist, dass der durch diesen Teilbereich des hydrodynamischen Profils **3** erzeugte Beitrag zum Leistungsbeiwert und/oder Schubbeiwert absinkt. Die hydraulische Wirkung des Rotors wird reduziert. Für den Fall einer an der Rotorblattspitze angeordneten Überlastsicherung **2.1**, **2.2**, **2.3** entsteht somit im Überlastfall eine Wasserturbine deren Wirkung einem Rotor mit einem kleineren Radius entspricht.

**[0030]** Die in **Fig. 2** skizzierten Überströmkanäle **6.1**, **6.2** weisen einen Durchmesser  $D$  auf, der so dimensioniert ist, dass ein effektiver Druckausgleich zwischen der Druckseite **11** und der Saugseite **10** des hydrodynamischen Profils **3** eintritt. Entsprechend wird der freie Querschnitt der Ventileinrichtung **12.1** in der Offen-Stellung dimensioniert. Zusätzlich sind die Überströmkanäle **6.1**, **6.2** so angeordnet, dass die Ausströmung **16** im Bereich der Auslassöffnungen **18.1**, **18.2** und die Einströmung **17** im Bereich der Einlassöffnungen **19.1**, **19.2** der Überströmkanäle **6.1**, **6.2** entgegen der saugseitigen Profilströmung **14** und der druckseitigen Profilströmung **15** gerichtet sind. hierzu weist der Bohrungswinkel  $\beta$  zwischen der Kanalachse **13** des Überströmkanals **6.1** und der Mittellinie **4** des hydrodynamischen Profils **3** eine Abweichung von der Lotrechten auf. Die hieraus resultierende Schrägstellung ist so gerichtet, dass die Ausströmung **18.1** eine Richtungskomponente entgegen der saugseitigen Profilmströmung **14** aufweist.

**[0031]** Zur gewünschten Ausströmungsrichtung trägt auch der stromaufwärtige Versatz der zugeordneten Membranöffnung **8.1** gegenüber der Auslassöffnung **18.1** des Strömungskanals **6.1** bei. Entsprechend entgegengesetzt zur rückseitigen Profilmströmung ist die Geometrie der Einlassöffnungen **19.1**, **19.2** der Überströmkanäle **6.1**, **6.2** gestaltet.

**[0032]** Bei Auslösen der Überlastsicherung **2.1**, **2.2**, **2.3** resultiert für die Ausführung mit einem in der Offenstellung raumgreifenden Ventilelement **12.1**, **12.2**, vorliegend der Membran **7.1**, **7.2**, ein verändertes hydrodynamisches Profil. Bevorzugt ist die Profilveränderung dergestalt, dass ein Strömungsabriss schneller eintritt und damit die Auftriebswirkung noch effektiver reduziert wird.

**[0033]** Des Weiteren zeigt die in **Fig. 2** skizzierte Ausgestaltung Filter **20.1**, **20.2** zur Abdeckung der Einlassöffnungen **19.1**, **19.2**, die das Eindringen von Sedimenten in die Überströmkanäle **6.1**, **6.2** verhindern. Zusätzlich können auch die Membranöffnungen **8.1**, **8.2** gegen das Eindringen von Fremdstoffen gesichert sein. Dies ist im Einzelnen nicht dargestellt.

[0034] Des Weiteren ist bevorzugt eine Bewuchsvorrichtung den Überströmkanälen **6.1**, **6.2** zugeordnet, um maritimen Bewuchs entgegenzuwirken. Hierzu kann ein Schutzanstrich vorgesehen sein. Alternativ werden Heizelemente verwendet, um durch regelmäßige Heizzyklen die Überströmkanäle **6.1**, **6.2** durchgängig zu halten. Zu diesem Zweck können elektrische Heizelemente verwendet werden, die in Betriebssituationen gespeist werden, wenn die Anlage Leistung erzeugt, die nicht in das Netz eingespeist werden kann. Eine weitere Maßnahme zur Aufrechterhaltung der Durchgängigkeit der Überströmkanäle **6.1**, **6.2** stellt eine Schwingungsanregung dar. Dabei kann der Blattspitzenbereich mit der Überlastsicherung **2.1**, **2.2**, **2.3** in Resonanzschwingungen gebracht werden oder es werden lokale Schwingungserzeuger, insbesondere zur Erzeugung von Ultraschall, verwendet.

[0035] **Fig. 3** zeigt eine Weitergestaltung der Ausführung gemäß der **Fig. 1** und **Fig. 2** mit einer Ventileinrichtung **12.1**, die eine Membran **7.1** umfasst. Zu der voranstehend erläuterten Ausgestaltung übereinstimmende Komponenten sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Dabei ist zum Öffnen der Ventileinrichtung **12.1** wiederum ein Anheben der Membran **7.1** gegenüber der Profildecke **21** im Bereich der Auslassöffnungen **18.1**, **18.2** der Überströmkanäle **6.1**, **6.2** notwendig. Die hierfür notwendige Hubkraft gegen die Spannkraft der Membran **7.1** wird für die vorliegende Ausgestaltung wenigstens teilweise durch einen elektrischen Aktuator **22** in Form eines Stellzylinders **23** mit einer Solenoidspule und einem rückstellenden Federelement **24** bewirkt. Der Vorteil dieser Ausgestaltung besteht darin, dass die Schaltwirkung der Ventileinrichtung **12.1** genau bestimmt werden kann. Es gibt demnach keinen gleitenden Übergang zwischen der vollständig Geschlossen-Stellung und der Offen-Stellung der Überströmkanäle **6.1**, **6.2**. Des Weiteren wird ein unkontrolliertes Flattern der Membran **7.1** einer aufgrund der Strömungsbeschleunigung in den Überströmkanälen **6.1**, **6.2** vermieden.

[0036] Ein weiterer Vorteil für die Ausgestaltung gemäß **Fig. 3** besteht darin, dass mittels des Stellzylinders **23** die Membran **7.1** auch unterhalb der Grenzlastschwelle angehoben werden kann. Hierdurch kann beim Normalbetrieb ein Durchspülen der Überströmkanäle **6.1**, **6.2** vollzogen werden. Des Weiteren kann die Funktionsfähigkeit der Überlastsicherung regelmäßig geprüft werden.

[0037] Die für die Ausführung mit einem elektrischen Aktuator verwendete Membran **7.1**, **7.2** muss der punktuellen Belastung durch den Stellzylinders **23** standhalten. Denkbar ist die Verwendung von Metallblechen mit einer hinreichenden Dehnfähigkeit oder faserverstärkte Kunststoffplatten. Des Weiteren können starre Elemente im Bereich des Auflagepunkts

des Stellzylinders **23** mit dehnbaren Elementen zur Ausbildung der Membran **7.1** verwendet werden. Ferner werden im Fall einer relativ starren Ausführung Membran **7.1**, **7.2** die Membranöffnungen **8.1**, ..., **8.8** bevorzugt verkleinert in Form von Bohrungen angelegt.

[0038] **Fig. 4** zeigt eine Ausgestaltungsalternative, wobei die Überlastsicherung **2.1** eine zentrale Ventileinrichtung **25** umfasst. Diese ist bevorzugt als elektrischer Aktuator mit einem Stellzylinder **23** ausgebildet, welcher einen Überströmkanal **6**, der von einem druckseitigen Sammelraum **26** zu einem saugseitigen Sammelraum **27** reicht, schaltet. Diese Sammelräume sind jeweils mit einem Lochblech **28.1**, **28.2** abgedeckt, wobei die Durchbrechungen in den Lochblechen **28.1**, **28.2** die voranstehend erläuterte Schrägstellung mit dem Bohrungswinkel  $\beta$  aufweisen.

[0039] **Fig. 5** zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung mit zwei zentralen Ventileinrichtungen **25.1**, **25.2**, die die Überströmkanäle **6.1–6.4** zum einen und **6.5–6.8** zum anderen bündeln. Die zentralen Ventileinrichtungen **25.1**, **25.2** umfassen Steuerschieber **29.1**, **29.2**, die im Wesentlichen in Richtung der Längsachse des Rotorblatts **1** verlaufen. Vorliegend ist dies eine Senkrechte zur Papierebene. Die Funktion der Steuerschieber ist schematisch vereinfacht in **Fig. 2** skizziert. Dargestellt ist ein Steuerschieber **29**, der in Axialrichtung im Wesentlichen parallel zur Längsachse des Rotorblatts **1** ausgerichtet ist. Entsprechend wirken beim Umlauf der Wasserturbine aufgrund des Radialstrahldesigns Fliehkräfte  $F$  auf den Steuerschieber **29**, die gegen ein elastisches Rückstellelement **30** wirken. Ab einer bestimmten Drehzahl, die die Grenzlastschwelle festlegt, bewegt sich der Steuerschieber **29** entgegen des elastischen Rückstellelements **30** bis zur Offenstellung des exemplarisch bezeichneten Überströmkanals **6**. Für diesen Fall wird eine fluidische Verbindung zwischen den Auslassöffnungen **18.1**, **18.2** auf der Saugseite **10** des Profils und den Einlassöffnungen **19.1**, **19.2** auf der nicht einsehbaren Druckseite des hydrodynamischen Profils **3** geschaffen. Vorliegend tritt die Wirkung der Überlastsicherung ein. Weitere Ausgestaltungen im Rahmen der nachfolgenden Schutzansprüche sind denkbar.

#### Bezugszeichenliste

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| <b>1, 1.1, 1.2, 1.3</b> | Rotorblatt              |
| <b>2.1, 2.2, 2.3</b>    | Überlastsicherung       |
| <b>3</b>                | hydrodynamisches Profil |
| <b>4</b>                | Mittenlinie             |
| <b>5</b>                | Rotationsebene          |
| <b>6, 6.1, ..., 6.8</b> | Überstromkanal          |
| <b>7.1, 7.2</b>         | Membran                 |
| <b>8.1, ..., 8.8</b>    | Membranöffnung          |

|                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 9.1, ..., 9.6                      | Haltesteg                            |
| 10                                 | Saugseite                            |
| 11                                 | Druckseite                           |
| 12.1, 12.2                         | Ventileinrichtung                    |
| 13                                 | Kanalachse                           |
| 14                                 | saugseitige Profilumströmung         |
| 15                                 | druckseitige Profilumströmung        |
| 16                                 | Ausströmung                          |
| 17                                 | Einströmung                          |
| 18.1, 18.2                         | Auslassöffnung                       |
| 19.1, 19.2                         | Einlassöffnung                       |
| 20.1, 20.2                         | Filter                               |
| 21                                 | Profildecke                          |
| 22                                 | elektrischer Aktuator                |
| 23                                 | Stellzylinder                        |
| 24                                 | Solenoidspule                        |
| 25, 25.1, 25.2                     | zentrale Ventileinrichtung           |
| 26                                 | druckseitiger Sammelraum             |
| 27                                 | saugseitiger Sammelraum              |
| 28.1, 28.2                         | Lochblende                           |
| 29, 29.1, 29.2                     | Steuerschieber                       |
| 30                                 | elastisches Rückstelllement          |
| 31                                 | Blattspitze                          |
| 100                                | Gezeitenkraftwerk                    |
| 101                                | Fundament                            |
| 102                                | Gewässergrund                        |
| 103                                | Turm                                 |
| 104                                | Wasserturbine                        |
| 105                                | Gewässeroberfläche                   |
| $u_1, u_2$                         | negative Umlaufgeschwindigkeit       |
| $v_1, v_2$                         | Anströmungsgeschwindigkeit           |
| $V_{\text{eff}1}, V_{\text{eff}2}$ | effektive Anströmungsgeschwindigkeit |
| $\alpha$                           | Blattanstellwinkel                   |
| $\beta$                            | Bohrungswinkel                       |
| D                                  | Durchmesser                          |
| F                                  | Fliehkraft                           |

**ZITATE ENHALTEN 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 Patentliteratur**

- DE 102009057449 B3 [[0003](#)]
- WO 2009143846 A1 [[0003](#)]
- US 1553627 A [[0003](#)]
- DE 535504 A [[0003](#)]
- DE 1187559 A [[0003](#)]

### Patentansprüche

1. Rotorblatt für eine Wasserturbine (104) mit einem hydrodynamischen Profil (3), dem eine Saugseite (10) und eine Druckseite (11) zugeordnet ist, umfassend eine Mehrzahl von Überströmkanälen (6,1, ..., 6,8), die im hydrodynamischen (3) Profil angelegt sind und eine hydraulische Verbindung zwischen der Saugseite (10) und der Druckseite (11) herstellen und denen jeweils eine Ventileinrichtung (12.1, 12.2) zugeordnet ist; **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ventileinrichtung (12.1, 12.2) unterhalb einer vorgegebenen Grenzlastschwelle für das Rotorblatt geschlossen und oberhalb der Grenzlastschwelle geöffnet ist, wobei jeder Überströmkanal (6,1, ..., 6,8) in der Offenstellung der Ventilanordnung (12.1, 12.2) den Leistungsbeiwert und/oder den Schubbeiwert des Rotorblatts gegenüber der Geschlossen-Stellung verringert.

2. Rotorblatt nach Anspruch 1, wobei die Grenzlastschwelle durch eine vorgegebene Drehzahl der Wasserturbine (104) und/oder einen vorgegebenen Staudruck an der Wasserturbine (104) und/oder eine vorgegebene Druckdifferenz zwischen der Saugseite (10) und der Druckseite (11) des hydrodynamischen Profils (3) festgelegt ist.

3. Rotorblatt nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Ventileinrichtung (12.1, 12.2) eine Membran (7.1, 7.2) umfasst, die auf der Saugseite (10) und/oder auf der Druckseite (11) des hydrodynamischen Profils (3) angebracht ist und die wenigstens eine Membranöffnung (8.1, ..., 8.8) aufweist, die versetzt zu einer Einlassöffnung (19.1, 19.2) und/oder einer Auslassöffnung (18.1, 18.2) eines von der Membran (7.1, 7.2) abgedeckten Überströmkanals (6,1, ..., 6,8) angeordnet ist.

4. Rotorblatt nach Anspruch 3, wobei die Membran (7.1, 7.2) der Ventileinrichtung (12.1, 12.2) zum Öffnen eines Überströmkanals (6,1, ..., 6,8) von der jeweils zugeordneten Einlassöffnung (19.1, 19.2) und/oder Auslassöffnung (18.1, 18.2) des Überströmkanals (6,1, ..., 6,8) abhebbar ist.

5. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei die Membran (7.1, 7.2) passiv durch eine Druckdifferenz zwischen der Druckseite (11) und der Saugseite (10) des hydrodynamischen Profils (3) bewegbar ist.

6. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei der Membran (7.1, 7.2) zur Bewegung ein Stellzylinder (23) zugeordnet ist.

7. Rotorblatt nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei wenigstens zwei Überströmkanälen (6,1, ..., 6,8) eine gemeinsame Ventileinrichtung (12.1, 12.2) zugeordnet ist.

8. Rotorblatt nach Anspruch 7, wobei die Überströmkanäle (6,1, ..., 6,8) auf der Druckseite (11) des hydrodynamischen Profils (3) in einen druckseitigen Sammelraum (26) und auf der Saugseite (10) des hydrodynamischen Profils (3) in einen saugseitigen Sammelraum (27) münden und wobei zwischen dem druckseitigen Sammelraum (26) und dem saugseitigen Sammelraum (27) eine hydraulische Verbindung über eine zentrale Ventileinrichtung (25) besteht.

9. Rotorblatt nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Ventileinrichtung (12.1, 12.2, 25) einen Steuerschieber (29) umfasst.

10. Rotorblatt nach Anspruch 9, wobei der Steuerschieber (29) durch die Fliehkraft (F) auf das Rotorblatt (1.1, 1.2, 1.3) entgegen der Kraftwirkung eines elastischen Stellelements (30) bewegbar ist.

11. Rotorblatt nach Anspruch 9, wobei dem Steuerschieber (29) eine Verstellhydraulik zugeordnet ist, die durch den durch die Anströmung bedingten Staudruck druckbeaufschlagbar ist.

12. Rotorblatt nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Ventileinrichtung (12.1, 12.2, 25) elektrisch betätigbar ist.

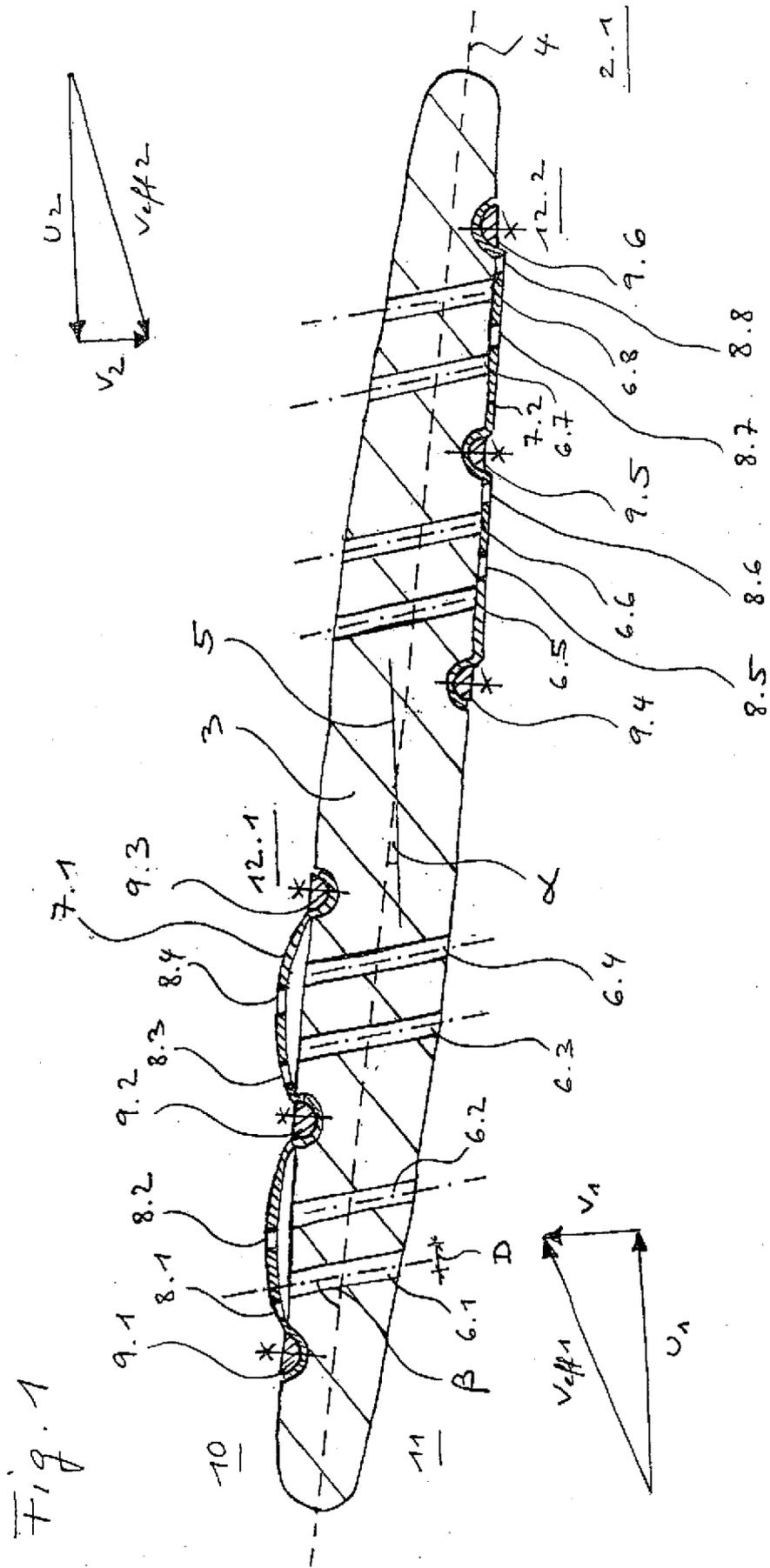
13. Rotorblatt nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei das hydrodynamische Profil (3) als bidirektionales Profil ausgestaltet ist.

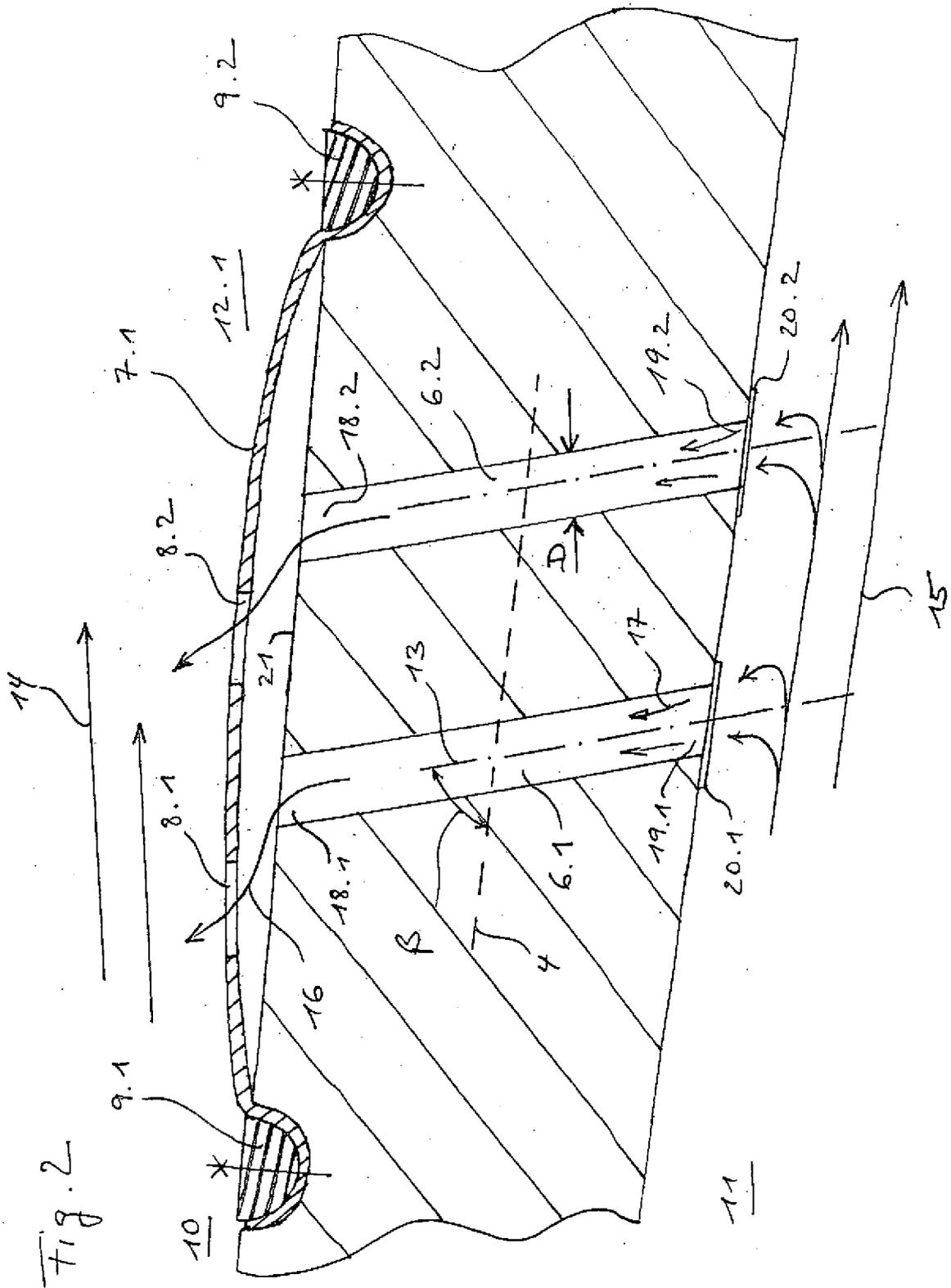
14. Verfahren zum Betrieb eines Strömungskraftwerks mit einem Rotorblatt (1.1, 1.2, 1.3) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei für eine Normalbetriebsphase unterhalb der Grenzlastschwelle die Ventileinrichtung (12.1, 12.2) geschlossen wird und für eine Starkanströmungsphase oberhalb der Grenzlastschwelle die Ventileinrichtung (12.1, 12.2) geöffnet wird.

15. Verfahren zum Betrieb eines Strömungskraftwerks nach Anspruch 14, wobei die Grenzlastschwelle durch eine vorgegebene Drehzahl der Wasserturbine (104) und/oder einen vorgegebenen Staudruck an der Wasserturbine (104) und/oder eine vorgegebene Druckdifferenz zwischen der Saugseite (10) und der Druckseite (11) des hydrodynamischen Profils (3) festgelegt wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





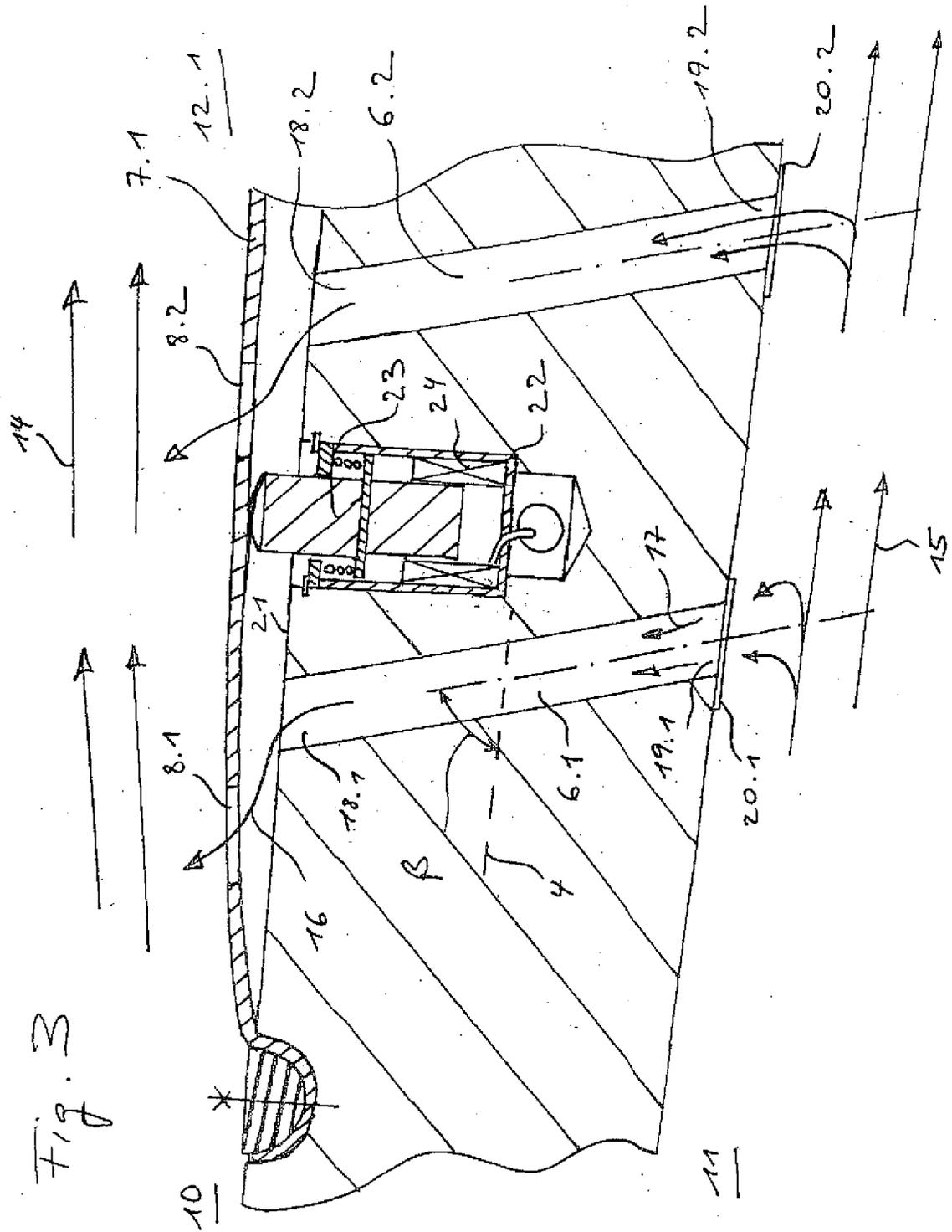


Fig. 4

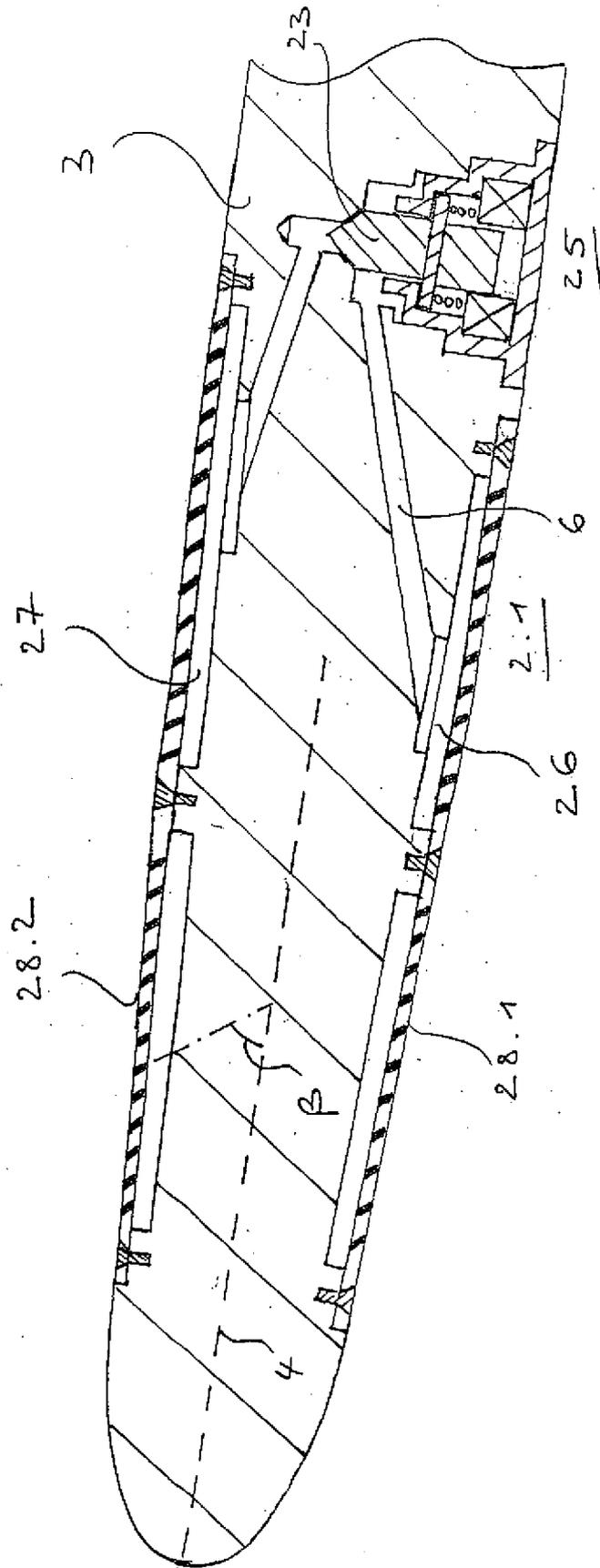


Fig. 5

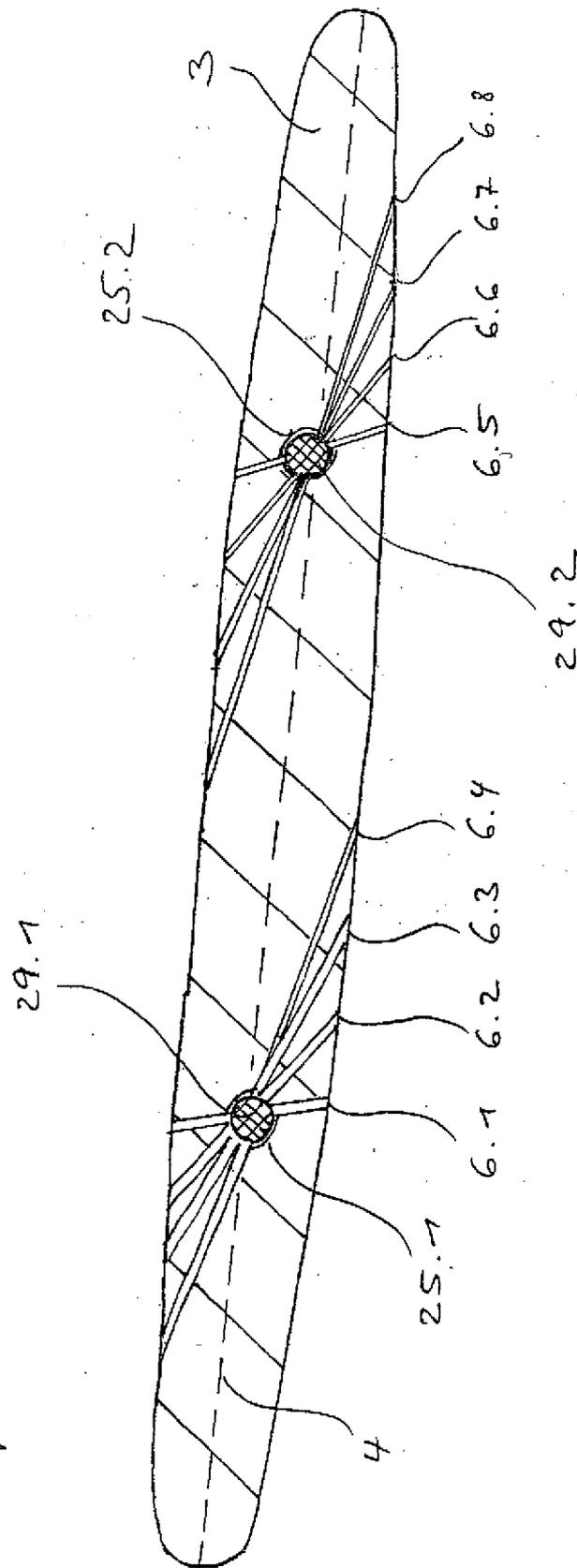


Fig. 6

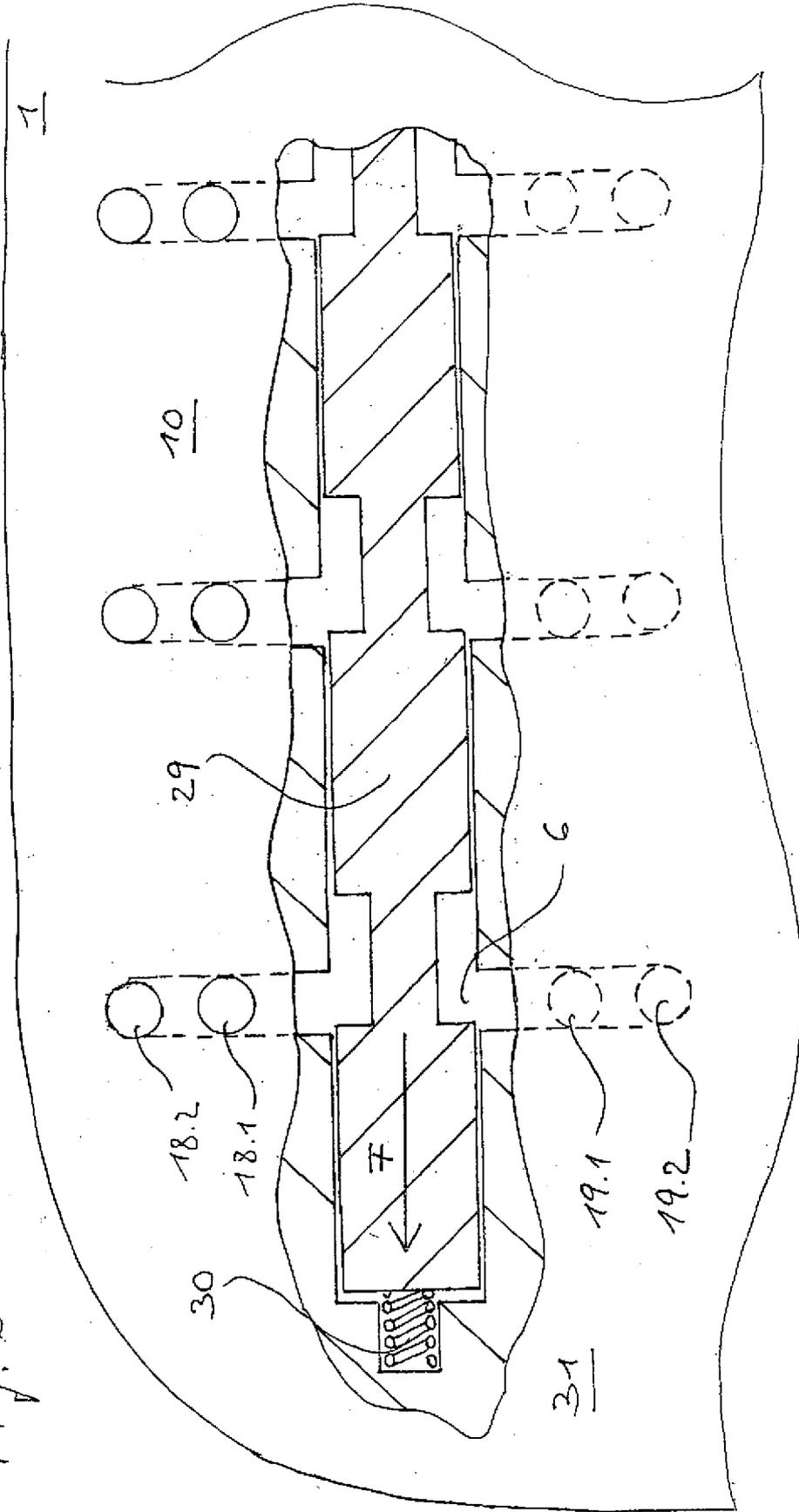


Fig. 7

