

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50303/2022
(22) Anmeldetag: 03.05.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.07.2023

(51) Int. Cl.: **F03B 3/18** (2006.01)
F01D 5/14 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 9510705 A1

(71) Patentanmelder:
ANDRITZ HYDRO GmbH
1120 Wien (AT)

(72) Erfinder:
OSWALD Markus
4614 Marchtrenk (AT)
PEYREDER Rudolf
4040 Linz (AT)
WEISSENBERGER Simon
4100 Ottensheim (AT)

(74) Vertreter:
WIRNSBERGER & LERCHBAUM
Patentanwälte OG
8700 Leoben (AT)

(54) **Leitschaufel**

(57) Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel (1) für ein Leitrad einer Pumpe oder Turbine, aufweisend einen Leitschaufelkörper mit zwei Stirnflächen (2), einer Leitschaufeleintrittskante (3), einer Leitschaufile Austrittskante (4) sowie einer ersten strömungsführenden Seitenfläche (5) und einer zweiten strömungsführenden Seitenfläche (5), welche die Leitschaufeleintrittskante (3) und die Leitschaufile Austrittskante (4) verbinden und entlang einer axialen Erstreckung unterschiedliche Strömungsprofile (12) ausbilden, welche jeweils eine Profilsehne (8), eine Skelettlinie (9) und einen Skelettkurvenendwinkel (α), unter welchem die Skelettlinie (9) an der Leitschaufile Austrittskante (4) zur Profilsehne (8) steht, aufweisen, wobei die Leitschaufel (1) um eine Drehachse (7), welche insbesondere durch zwei Drehzapfen (11) definiert ist, drehbar lagerbar ist. Um Verluste in einer Wasserkraftanlage zu minimieren und einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Leitschaufel (1) entlang der axialen Erstreckung mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem positivem Skelettkurvenendwinkel (α) und mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem negativen Skelettkurvenendwinkel (α) aufweist. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auslegen einer Wasserkraftanlage, insbesondere

einer Pumpe oder Turbine, mit einem Leitrad, welches Leitschaufeln (1) aufweist, insbesondere einer Kaplan- oder Francis-Turbine, wobei durch Variation von Designparametern verschiedene Varianten gebildet und Strömungsverhältnisse ermittelt werden, insbesondere mittels einer Strömungssimulation oder durch Versuche, welche durch Umsetzung der einzelnen Varianten erreichbar sind, wonach abhängig von erreichbaren Strömungsverhältnissen eine der Varianten gewählt wird, insbesondere jene Variante, bei welcher ein Wirkungsgradoptimum erreicht wird.

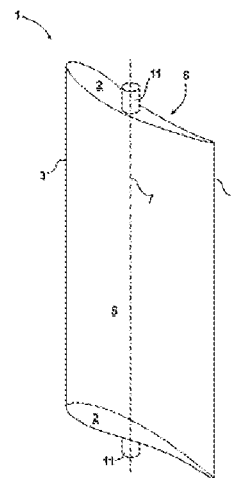


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel (1) für ein Leitrad einer Pumpe oder Turbine, aufweisend einen Leitschaufelkörper mit zwei Stirnflächen (2), einer
5 Leitschaufeleintrittskante (3), einer Leitschaufelaustrittskante (4) sowie einer ersten strömungsführenden Seitenfläche (5) und einer zweiten strömungsführenden Seitenfläche (5), welche die Leitschaufeleintrittskante (3) und die Leitschaufelaustrittskante (4) verbinden und entlang einer axialen Erstreckung unterschiedliche Strömungsprofile (12) ausbilden, welche jeweils eine Profilsehne (8),
10 eine Skelettlinie (9) und einen Skelettkurvenendwinkel (α), unter welchem die Skelettlinie (9) an der Leitschaufelaustrittskante (4) zur Profilsehne (8) steht, aufweisen, wobei die Leitschaufel (1) um eine Drehachse (7), welche insbesondere durch zwei Drehzapfen (11) definiert ist, drehbar lagerbar ist. Um Verluste in einer Wasserkraftanlage zu minimieren und einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist erfindungsgemäß
15 vorgesehen, dass die Leitschaufel (1) entlang der axialen Erstreckung mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem positivem Skelettkurvenendwinkel (α) und mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem negativen Skelettkurvenendwinkel (α) aufweist.

Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auslegen einer
20 Wasserkraftanlage, insbesondere einer Pumpe oder Turbine, mit einem Leitrad, welches Leitschaufeln (1) aufweist, insbesondere einer Kaplan- oder Francis-Turbine, wobei durch Variation von Designparametern verschiedene Varianten gebildet und Strömungsverhältnisse ermittelt werden, insbesondere mittels einer Strömungssimulation oder durch Versuche, welche durch Umsetzung der einzelnen Varianten erreichbar sind,
25 wonach abhängig von erreichbaren Strömungsverhältnissen eine der Varianten gewählt wird, insbesondere jene Variante, bei welcher ein Wirkungsgradoptimum erreicht wird.

Fig. 1

Leitschaufel

Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel für ein Leitrad einer Pumpe oder Turbine, aufweisend einen Leitschaufelkörper mit zwei Stirnflächen, einer

- 5 Leitschaufeleintrittskante, einer Leitschaufelaustrittskante sowie einer ersten strömungsführenden Seitenfläche und einer zweiten strömungsführenden Seitenfläche, welche die Leitschaufeleintrittskante und die Leitschaufelaustrittskante verbinden und entlang einer axialen Erstreckung unterschiedliche Strömungsprofile ausbilden, welche jeweils eine Profilsehne, eine Skelettlinie und einen Skelettkurvenendwinkel, unter
10 welchem die Skelettlinie an der Leitschaufelaustrittskante zur Profilsehne steht, aufweisen, wobei die Leitschaufel um eine Drehachse, welche insbesondere durch zwei Drehzapfen definiert ist, drehbar lagerbar ist.

Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Auslegen einer Wasserkraftanlage,

- 15 insbesondere einer Pumpe oder Turbine, mit einem Leitrad, welches Leitschaufeln aufweist, insbesondere einer Kaplan- oder Francis-Turbine, wobei durch Variation von Designparametern Varianten gebildet und Strömungsverhältnisse ermittelt werden, welche durch Umsetzung der einzelnen Varianten erreichbar sind, insbesondere mittels Strömungssimulationen oder durch Versuche, wonach abhängig von erreichbaren
20 Strömungsverhältnissen eine der Varianten gewählt wird, insbesondere jene Variante, bei welcher ein Wirkungsgradoptimum erreicht wird.

Leitschaufeln sind aus dem Stand der Technik bekannt geworden, um insbesondere bei Turbinen ein Arbeitsmittel in einem optimalen Winkel auf Laufschaufeln eines Laufrades

- 25 zu leiten. Im Unterschied zu den mit dem Laufrad drehbaren Laufschaufeln sind die Leitschaufeln in aller Regel stationär angeordnet, können jedoch in einem Einlaufgehäuse um die Drehachse gedreht werden, um eine Strömung zu beeinflussen und gegebenenfalls einen Massenstrom zu unterbinden. Hierzu können beispielsweise bei Kaplan- oder Francis-Turbinen die Leitschaufeln regelmäßig entlang eines zum Laufrad
30 koaxialen Kreises im Einlaufgehäuse angeordnet sein, wodurch sich ein sogenannter Leitapparat ergibt, der auch als Leitring bezeichnet wird.

Bei Wasserkraftwerken ist ein erreichbarer Wirkungsgrad von hoher Bedeutung, weswegen bei der Auslegung eines Wasserkraftwerkes in der Regel zunächst Varianten

durch Variation von üblichen Designparametern gebildet und anschließend durch Analyse der Strömungseigenschaften der einzelnen Varianten ermittelt wird, mit welcher der Varianten die besten Ergebnisse erreicht werden können, insbesondere ein optimaler Wirkungsgrad. Üblicherweise werden hierzu computerimplementierte

5 Strömungssimulationen eingesetzt.

Aus dem Stand der Technik sind so unterschiedliche Designparameter bekannt geworden, die zur Variantenbildung variiert werden und die somit einen Lösungsraum aufspannen, in dem nach einer optimalen Lösung gesucht wird, indem einzelne Varianten

10 rechnerisch und/oder empirisch untersucht werden. Designparameter können beispielsweise bei einer Leitschaufel der Skelettkurvenendwinkel, eine Profildicke und ein Verlauf bzw. eine Wölbung der Skelettlinie sein, die zu einer Vielzahl von möglichen Varianten führen.

15 Beispielsweise ist aus dem Dokument EP 3 791 059 B1 ein Leitrad für eine Pumpturbine bekannt geworden, bei welchem das Strömungsprofil im Mittelbereich der Leitschaufel einen größeren Leitschaufelwinkel aufweist als ein Strömungsprofil im Randbereich der Leitschaufel.

20 Es hat sich jedoch gezeigt, dass alleine durch Variation von aus dem Stand der Technik bekannten Designparametern in vielen Fällen nur unbefriedigende Ergebnisse erreicht werden.

Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, eine Leitschaufel der eingangs

25 genannten Art anzugeben, mit welcher eine Strömung in einem Wasserkraftwerk derart beeinflusst werden kann, dass ein verbesserter Wirkungsgrad erreichbar ist.

Weiter soll ein Verfahren der eingangs genannten Art angegeben werden, mit welchem eine verbesserte Auslegung einer Wasserkraftanlage möglich ist, insbesondere um eine

30 Wasserkraftanlage mit einem höheren Wirkungsgrad zu erreichen.

Die erste Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Leitschaufel der eingangs genannten Art gelöst, welche entlang der axialen Erstreckung mindestens ein Strömungsprofil mit

positivem Skelettkurvenendwinkel und mindestens ein Strömungsprofil mit einem negativem Skelettkurvenendwinkel aufweist.

Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass durch eine Variation des
 5 Skelettkurvenendwinkels von einem positiven Skelettkurvenendwinkel beispielsweise in einem unteren Bereich der Leitschaufel zu einem negativen Skelettkurvenendwinkel beispielsweise in einem oberen Bereich der Leitschaufel eine günstige Beeinflussung der Strömung möglich ist, durch welche ein erhöhter Wirkungsgrad erreicht werden kann. Eine solche Verformung des Profils entlang einer Länge bzw. einer axialen Erstreckung
 10 der Schaufel durch Änderung des Skelettkurvenendwinkels wird auch als Profilstrak bezeichnet. Folglich kann eine entsprechende Leitschaufel auch als Leitschaufel mit einem Strak bezeichnet werden.

Als axiale Erstreckung wird hier eine Erstreckung entlang der Drehachse, um welche die
 15 Leitschaufel drehbar lagerbar ist, angesehen.

Als Leitschaufeleintrittskante wird jene Kante bzw. jenes Ende der Leitschaufel angesehen, auf welches eine Strömung bei einem Turbinenbetrieb zunächst auftrifft.

20 Es versteht sich, dass Leitschaufeleintrittskante und Leitschaufelaustrittskante nicht zwingend als Kanten im geometrischen Sinn zu verstehen sind, sondern beispielsweise auch durch entsprechend gekrümmte Flächen gebildet sein können, sodass beispielsweise die Leitschaufelaustrittskante tatsächlich eine Leitschaufelaustrittsfläche sein kann.

25 Anders ausgedrückt ergibt sich durch die Möglichkeit, die Lage der Skelettlinie relativ zur Profilsehne entlang der axialen Erstreckung der Leitschaufel zu verändern, sodass der Skelettkurvenendwinkel von positiv auf negativ wechselt, ein zusätzlicher Designparameter, durch welchen der Lösungsraum vergrößert wird. Es hat sich gezeigt,
 30 dass dadurch in vielen Fällen ein höherer Wirkungsgrad erreichbar ist.

Die Begriffe unten und oben können sich dabei auf einen bestimmungsgemäßen Einsatz der Leitschaufel an einer Wasserkraftanlage mit vertikaler Achse beziehen, sodass der untere Bereich üblicherweise näher am Laufrad als der obere Bereich der Leitschaufel ist.

So hat sich gezeigt, dass eine Strömung an den Leitschaufeln bei diesen Wasserkraftanlagen über eine Höhe sehr unterschiedlich ausgeprägt ist, insbesondere da die Strömung in manchen Bereichen geometriebedingt beschleunigt wird. Durch Einsatz einer gestrakten Leitschaufel mit entlang der Höhe, welche hier auch als axiale

5 Erstreckung bzw. Erstreckung entlang der Drehachse bezeichnet wird, von positiv auf negativ bzw. von negativ auf positiv wechselndem Skelettkurvenendwinkel kann dieser Inhomogenität der Strömung besonders gut Rechnung getragen werden, wodurch eine verbesserte Zuströmung zum Laufrad erreicht, Verluste minimiert und ein Wirkungsgrad verbessert werden können.

10

Es versteht sich, dass die Leitschaufeln natürlich auch an einer Wasserkraftanlage mit horizontaler Achse eingesetzt werden können. In diesem Fall ist unten als laufradnah und oben als laufradfern zu interpretieren. Im Leitapparat werden die Leitschaufeln üblicherweise etwa entlang eines Kreises angeordnet und gleichmäßig entlang des

15 Kreisumfangs, welcher koaxial mit dem Laufrad ist, verteilt und über Drehzapfen drehbar gelagert, wenngleich grundsätzlich auch andere Anordnungen möglich sind. In vielen Fällen sind die Drehachsen der einzelnen Leitschaufeln im Leitapparat etwa parallel. Die erfindungsgemäßen Leitschaufeln können auch bei Rohrturbinen eingesetzt werden, wobei Drehachsen der einzelnen Leitschaufeln üblicherweise nicht parallel sind.

20

Die erfindungsgemäßen Leitschaufeln können auch bei Rohrturbinen eingesetzt werden, wobei die Drehachsen der Leitschaufeln nicht parallel zur Achse der Wasserkraftanlage sind. In diesem Fall sind die Begriffe unten und oben als radial innen und radial außen bei bestimmungsgemäßer Anordnung im Leitapparat zu interpretieren, sodass ein unterer

25 Bereich einer Leitschaufel näher an der Achse der Rohrturbine ist als ein oberer Bereich.

Weiter können erfindungsgemäße Leitschaufeln natürlich auch bei Dériaz-Turbinen bzw. Diagonal-Turbinen eingesetzt werden.

30 Als Strömungsprofile werden gedachte Schnitte durch die Leitschaufel normal zu einer Drehachse, um welche die Leitschaufel drehbar lagerbar bzw. drehbar gelagert ist, verstanden. Die Drehachse kann mit einer Längsachse der Leitschaufel zusammenfallen und wird üblicherweise durch Drehzapfen definiert, welche an den Stirnseiten der

Leitschaufeln angebracht sind und mit entsprechenden Lagerstellen im Einlaufgehäuse korrespondieren.

Als Skelettlinie wird eine Verbindungslinie der in ein Profil eingeschriebenen
 5 Kreismittelpunkte bezeichnet. Die Skelettlinie ist entsprechend an jeder Position äquidistant zu den strömungsführenden Seitenflächen und verbindet die Leitschaufeleintrittskante mit der Leitschaufelaustrittskante.

Als Profilsehne wird eine gerade Verbindungslinie von Leitschaufeleintrittskante und
 10 Leitschaufelaustrittskante bezeichnet.

Als positiver Skelettkurvenendwinkel wird hier ein entgegen dem Uhrzeigersinn gemessener Winkel von der Skelettlinie zur Profilsehne bei Blickrichtung von einer oberen Stirnseite der Leitschaufel in Richtung der unteren Stirnseite, also in Draufsicht,
 15 angesehen, wenn die Profilsehne von der Skelettlinie entgegen dem Uhrzeigersinn weniger weit als im Uhrzeigersinn beabstandet ist. Bei entsprechender Anordnung der Leitschaufel, sodass die Leitschaufeleintrittskante links und die Leitschaufelaustrittskante rechts positioniert sind, ergibt eine in Draufsicht oberhalb der Profilsehne im Bereich der Leitschaufelaustrittskante angeordnete Skelettlinie somit einen positiven
 20 Skelettkurvenendwinkel und eine unterhalb der Profilsehne angeordnete Skelettlinie einen negativen Skelettkurvenendwinkel.

Die erfindungsgemäßen Wirkungen eines erhöhten Wirkungsgrades durch den entlang der axialen Erstreckung von positiv auf negativ bzw. abhängig von einer Drehrichtung des
 25 Laufrades auch von negativ auf positiv wechselnden Skelettkurvenendwinkel werden grundsätzlich unabhängig von einem konkreten Winkel und auch bereits bei sehr kleinen Winkeln erreicht.

Als besonders günstig hat es sich jedoch erwiesen, wenn die Leitschaufel ein
 30 Strömungsprofil mit einem Skelettkurvenendwinkel von mehr als 2 Grad, insbesondere 5 Grad bis 20 Grad, aufweist. Es hat sich gezeigt, dass gerade jener Bereich bei Wasserkraftwerken häufig zu besonders günstigen Wirkungsgraden führt.

Weiter hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Leitschaufel ein Strömungsprofil mit einem Skelettkurvenendwinkel von weniger als minus 2 Grad, insbesondere minus 5 Grad bis minus 20 Grad, aufweist.

- 5 Insbesondere eine Leitschaufel, die in einem Bereich, beispielsweise einem oberen Randbereich, ein Profil mit einem Skelettkurvenendwinkel von minus 5 Grad bis minus 20 Grad, und in einem anderen Bereich, insbesondere unteren Randbereich, ein Profil mit einem Skelettkurvenendwinkel von 5 Grad bis 20 Grad aufweist, hat sich als günstig zur Erreichung vorteilhafter Strömungsverhältnisse erwiesen.

10

- Eine Profildicke ist bei Strömungsprofilen abhängig von der Skelettlinie und üblicherweise nahe der Leitschaufeleintrittskante größer als in einem Bereich der Leitschaufelaustrittskante. Die Profildicke kann bei einer erfindungsgemäßen Leitschaufel im Wesentlichen unabhängig von der axialen Erstreckung sein, beispielsweise entlang der axialen Erstreckung um weniger als 20 % variieren. In einem besonders einfachen Fall kann die Leitschaufel damit beispielsweise in einem oberen Bereich ein nach oben gewölbtes Strömungsprofil bzw. eine Skelettlinie mit positiver Krümmung und in einem unteren Bereich das entsprechende Strömungsprofil, beispielsweise ein NACA-Profil ähnliches Strömungsprofil, aufweisen, welches nach unten gewölbt ist bzw. eine negativ gekrümmte Skelettlinie aufweist, sodass die Profildicke nur abhängig von einer Position an der Skelettlinie, jedoch unabhängig von der axialen Position ist. Alternativ ist es natürlich auch möglich, dass die Profildicke entlang der axialen Position variiert und ein unterer Bereich der Leitschaufel beispielsweise an gleichen Positionen relativ zur Skelettlinie größere Profildicken aufweist.

25

- Beispielsweise kann auch vorgesehen sein, dass ein Strömungsprofil in einem unteren Bereich der Leitschaufel einem Strömungsprofil in einem oberen Bereich der Leitschaufel entspricht, welches um eine Profilsehnenebene gespiegelt ist. Durch den hier beschriebenen neuen Designparameter einer Skelettlinie, welche die Lage relativ zur Profilsehne ändert, können auch Leitschaufeln gebildet werden, bei welchen die Lage der Skelettlinie relativ zur Profilsehne entlang der axialen Erstreckung mehrmals die Seite wechselt, sich also der Skelettkurvenendwinkel mehrmals von positiv auf negativ bzw. von negativ auf positiv ändert. Bevorzugt ist jedoch gerade für den Einsatz in einer Wasserkraftanlage vorgesehen, dass der Skelettkurvenendwinkel entlang einer axialen

30

Erstreckung der Leitschaufel genau einmal das Vorzeichen wechselt, wobei der Skelettkurvenendwinkel insbesondere in einem bei bestimmungsgemäßer Verwendung oberen Bereich der Leitschaufel negativ und in einem bei bestimmungsgemäßer Verwendung unteren Bereich positiv ist. Dadurch können Strömungsverhältnisse im

5 Zulauf zu einem Laufrad besonders gut in einer Weise beeinflusst werden, welche zur Reduktion von Verlusten beiträgt.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass sich der Skelettkurvenendwinkel entlang einer axialen Erstreckung der Leitschaufel um mehr als 5 Grad, insbesondere um 10 Grad bis 40 Grad,

10 ändert. Dadurch wird die Strömung günstig beeinflusst und werden gleichzeitig unerwünschte Ablösungen vermieden.

Günstig ist es, wenn die Leitschaufel entlang einer axialen Erstreckung mindestens ein Profil mit einer positiv gekrümmten Skelettlinie und mindestens ein Profil mit einer negativ

15 gekrümmten Skelettlinie aufweist. Zwischen der positiv gekrümmten Skelettlinie und der negativ gekrümmten Skelettlinie kann die Leitschaufel auch einen geraden Bereich aufweisen, in welchem die Skelettlinie mit der Profilsehne zusammenfallen kann.

Es kann vorgesehen sein, dass die Leitschaufeleintrittskante zumindest bereichsweise

20 gegenüber der Drehachse geneigt bzw. verdreht ist. Eine Leitschaufel mit um ein Leitapparatzentrum verdrehten Profilen wird auch als *leaned* bezeichnet. Bei zylindrischen Leitapparaten entspricht dies einer Verdrehung um die Turbinenachse. Es hat sich nun gezeigt, dass eine Leitschaufel, welche nicht nur relativ zur Drehachse geneigt bzw. verdreht ist, sondern auch zusätzlich gestrakt ist, zu besonders günstigen

25 Strömungsverhältnissen führen kann, um Verluste zwischen Leitrad und Laufrad zu minimieren.

Es kann somit die Leitschaufel in der Weise ausgebildet sein, dass ein Abstand der Leitschaufeleintrittskante zur Drehachse zumindest bereichsweise, vorzugsweise über

30 eine gesamte Höhe der Leitschaufel, mit zunehmender axialer Erstreckung der Leitschaufel stetig abnimmt oder zunimmt.

Es kann auch vorgesehen sein, dass die Leitschaufelaustrittskante zumindest bereichsweise gegenüber der Drehachse geneigt ist. Bevorzugt ist dann vorgesehen,

dass ein Abstand der Leitschaufelaustrittskante zur Drehachse zumindest bereichsweise, vorzugsweise über eine gesamte Höhe der Leitschaufel, mit zunehmender axialer Erstreckung der Leitschaufel stetig abnimmt oder stetig zunimmt.

- 5 Besonders günstig ist es, wenn die Leitschaufel eine mit einer Seitenfläche korrespondierende Schließkante aufweist, sodass eine Schließkante einer Leitschaufel eine Seitenfläche einer daneben angeordneten Leitschaufel in einem geschlossenen Zustand der Leitschaufel berühren kann, um eine Strömung bei Bedarf gänzlich absperrern zu können. Normalerweise ist die Schließkante im Bereich der
- 10 Leitschaufelaustrittskante angeordnet und trifft diese Schließkante nahe der Leitschaufelaustrittskante (meist eine Oberseite der Austrittskante) auf die Seitenfläche der daneben angeordneten weiteren Leitschaufel nahe der Leitschaufeleintrittskante, um den geschlossenen Zustand zu erzeugen.
- 15 Grundsätzlich kann die Schließkante auch durch die Leitschaufelaustrittskante gebildet sein. Es kann auch vorgesehen sein, dass sich in einem geschlossenen Zustand die erste strömungsführende Seitenfläche einer Leitschaufel und die zweite strömungsführende Seitenfläche einer daneben angeordneten, zweiten Leitschaufel berühren, um einen geschlossenen bzw. dichten Zustand zu erreichen. In diesem Fall wird die Schließkante
- 20 durch eine Berührungslinie oder eine Berührungsfläche der Seitenflächen gebildet.

- Eine entsprechende Leitschaufel wird bevorzugt im Rahmen eines Leitrades für eine Pumpe oder Turbine, insbesondere für eine Kaplan- oder Francis-Turbine oder auch eine Rohrturbine eingesetzt. Folglich ist es günstig, wenn bei einem Leitrad für eine Pumpe
- 25 oder Turbine, insbesondere für eine Kaplan- oder Francis-Turbine, das durch mehrere Leitschaukeln gebildet ist, die Leitschaukeln erfindungsgemäß ausgebildet sind.

- Die Leitschaufel ist üblicherweise aus einem Metall gebildet, in der Regel massiv und kann beispielsweise durch Fräsen oder eine Blechkonstruktion hergestellt werden.

30

Eine positive Beeinflussung einer Strömung ist bei einem erfindungsgemäß ausgebildeten Leitrad grundsätzlich unabhängig von einer Größe möglich. Besonders bevorzugt ist jedoch vorgesehen, dass ein entsprechendes Leitrad einen Durchmesser von mehr als 2 m aufweist. Der Durchmesser des Leitrades kann beispielsweise an den Drehzapfen

der Leitschaukeln gemessen werden. In diesem Fall wird der Durchmesser auch als Zapfenkreisdurchmesser bezeichnet. Es hat sich gezeigt, dass bei Maschinen dieser Größenordnung die erfindungsgemäßen Wirkungen besonders gut genutzt werden können.

5

Entsprechend weist die Leitschaukel üblicherweise eine Länge entlang der Drehachse von 0,5 m bis 10 m auf und kann ein Abstand der Leitschaukeleintrittskante von der Leitschaukelaustrittskante beispielsweise etwa 15 cm bis 3,0 m betragen.

- 10 Die weitere Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei welchem zumindest eine Variante ein erfindungsgemäß ausgebildetes Leitrad umfasst.

Durch die damit verbundene Vergrößerung des Lösungsraumes werden mögliche

- 15 Lösungen der Auslegung berücksichtigt, die bei herkömmlichen Verfahren nicht untersucht werden, sodass durch die Vergrößerung des Lösungsraumes um Varianten mit gestakten Leitschaukeln, die über die Profilsehne wechselnde Skelettlinien aufweisen, in vielen Fällen bessere Ergebnisse erreicht werden können.

- 20 Es versteht sich, dass die entsprechend ausgelegte Wasserkraftanlage üblicherweise in einem weiteren Schritt gemäß der ermittelten Auslegung hergestellt wird, um den rechnerisch und/oder empirisch ermittelten höheren Wirkungsgrad in weiterer Folge tatsächlich beim Betrieb der Wasserkraftanlage erreichen zu können.

- 25 Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen der Erfindung ergeben sich anhand des nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispiels. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

Fig. 1 und 2 eine erfindungsgemäße Leitschaukel in unterschiedlichen Ansichten;

- 30 Fig. 3 bis 5 Strömungsprofile der in Fig. 1 und 2 dargestellten Leitschaukel;
Fig. 6 eine weitere Leitschaukel.

Fig. 1 und 2 zeigen eine erfindungsgemäße Leitschaukel 1, wobei Fig. 1 die Leitschaukel 1 in einer 3D-Ansicht und Fig. 2 die Leitschaukel 1 in einer Seitenansicht zeigen. Wie

dargestellt weist die Leitschaufel 1 eine Leitschaufeleintrittskante 3 und eine Leitschaufelaustrittskante 4 auf, welche durch eine erste strömungsführende Seitenfläche 5 und eine zweite strömungsführende Seitenfläche 6 verbunden sind, welche Seitenflächen 5, 6 endseitig durch Stirnflächen 2 begrenzt werden.

5

Die Leitschaufel 1 ist zur drehbaren Anordnung in einem Einlaufgehäuse an den Stirnflächen 2 mit Drehzapfen 11 ausgebildet, welche eine Drehachse 7 definieren, um welche die Leitschaufel 1 drehbar lagerbar ist.

- 10 Die strömungsführenden Seitenflächen 5, 6 bilden in Schnitten normal zur Drehachse 7 Strömungsprofile 12 aus, wobei die Leitschaufel 1 entlang der Drehachse 7 bzw. entlang einer axialen Erstreckung entlang der Drehachse 7 unterschiedliche Profile aufweist, wie dies bereits in der Fig. 1 erkennbar ist.
- 15 Fig. 1 und 2 zeigen die Leitschaufel 1 jeweils in einer bestimmungsgemäßen Anordnung für eine Wasserkraftanlage mit vertikaler Achse, sodass in den Fig. 1 und 2 oben dargestellte Bereiche auch beim Einsatz in der Wasserkraftanlage oben und damit üblicherweise weiter vom Laufrad beabstandet als untere Bereiche sind.
- 20 Fig. 3 zeigt eine Draufsicht auf einen Schnitt durch die Leitschaufel 1 entlang der Linie III-III in Fig. 2, Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch die Leitschaufel 1 der Fig. 2 entlang der Linie IV-IV und Fig. 5 zeigt einen Schnitt entlang der Linie V-V in Fig. 2 jeweils in Draufsicht.

- Die in den Fig. 3 bis Fig. 5 dargestellten Schnitte zeigen somit Strömungsprofile 12 an
- 25 unterschiedlichen Höhenpositionen bzw. an unterschiedlichen Positionen entlang der Drehachse 7. Jedes Strömungsprofil 12 weist dabei analog zur Leitschaufel 1 eine Leitschaufeleintrittskante 3 und eine Leitschaufelaustrittskante 4 auf, welche durch die strömungsführenden Seitenflächen 5, 6 verbunden werden. Weiter weist jedes Strömungsprofil 12 eine Profilsehne 8 und eine Skelettlinie 9 auf, wobei die Profilsehne 8
- 30 durch eine gerade Verbindungslinie zwischen der Leitschaufeleintrittskante 3 und der Leitschaufelaustrittskante 4 definiert ist. Die Skelettlinie 9, welche auch Profilmittellinie, Wölbungslinie oder Krümmungslinie genannt wird, ist definiert durch die Verbindungslinie der in ein Profil eingeschriebenen Kreismittelpunkte.

Die Skelettlinie 9 steht an der Leitschaufelaustrittskante 4 unter einem in den dargestellten Draufsichten entgegen dem Uhrzeigersinn gemessenen Skelettkurvenendwinkel α zur Profilsehne 8, wodurch ein Abströmverhalten der Leitschaufel 1 in diesem Bereich wesentlich bestimmt ist. Dargestellt ist daher der

5 Skelettkurvenendwinkel α an einer Tangente an die Skelettlinie 9 an der Leitschaufelaustrittskante 4.

Wie in den Fig. 3 bis 5 ersichtlich ist, ändert die Skelettlinie 9 ihre Lage relativ zur Profilsehne von unterhalb der Profilsehne 8 in einem oberen Bereich zu oberhalb der

10 Profilsehne 8 in einem unteren Bereich. Dadurch ändert sich der Skelettkurvenendwinkel α von einem stark negativen Skelettkurvenendwinkel $-\alpha$ im in Fig. 3 dargestellten oberen Bereich zu einem schwach positiven Skelettkurvenendwinkel $+\alpha$ im in Fig. 4 dargestellten mittleren Bereich zu einem stark positiven Skelettkurvenendwinkel $+\alpha$ im in Fig. 5 dargestellten unteren Bereich. Die Verwendung

15 unterschiedlicher Strömungsprofile über die axiale Erstreckung ergibt einen Profilstrak. Es kann dann beispielsweise ein gezielt höherer Drall der Strömung in einem oberen Bereich erreicht werden, wodurch die Strömung nach den Leitschaufeln 1 in einer Weise beeinflusst wird, die günstig für das nachfolgende Laufrad ist, sodass Verluste reduziert und ein Wirkungsgrad erhöht werden können.

20 Im dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt der Skelettkurvenendwinkel α in dem in Fig. 3 dargestellten Strömungsprofil 12 im oberen Bereich der Leitschaufel 1 etwa minus 15 Grad und im unteren, in Fig. 5 dargestellten Strömungsprofil 12 etwa plus 15 Grad, sodass sich eine Verdrehung bzw. ein Strak von etwa 30 Grad vom oberen Bereich bis

25 zum unteren Bereich ergibt.

Wie ersichtlich weisen die in Fig. 3 bis Fig. 5 dargestellten Strömungsprofile 12 der Leitschaufel 1 im Wesentlichen ähnliche Profildicken entlang der Skelettlinie 9 auf, sodass das in Fig. 5 dargestellte Strömungsprofil 12 annähernd eine Spiegelung des in Fig. 3

30 dargestellten Profils um eine horizontale Achse darstellt. Grundsätzlich sind jedoch auch Strömungsprofile 12 mit sich ändernden Profildicken möglich.

Fig. 6 zeigt eine weitere Leitschaufel 1, welche entlang einer axialen Erstreckung entlang der Drehachse 7 bzw. über eine Höhe verteilt Strömungsprofile 12 analog zu den in Fig. 3

bis 5 dargestellten Strömungsprofilen 12 aufweist, sodass auch diese Leitschaufel 1 eine gestrakte Leitschaufel 1 ist. Ergänzend weist diese Leitschaufel 1 jedoch auch eine gegenüber der Drehachse 7 geneigte Leitschaufeleintrittskante 3 und eine geneigte Leitschaufelaustrittskante 4 auf, weswegen eine solche Leitschaufel 1 auch als leaned
5 bezeichnet werden kann.

Die Leitschaufeleintrittskante 3 und die Leitschaufelaustrittskante 4 weisen dabei einen Neigungswinkel β gegenüber der Drehachse 7 von beispielsweise 16 Grad auf, wobei wie in Fig. 6 dargestellt die Leitschaufeleintrittskante 3 und die Leitschaufelaustrittskante 4
10 über eine gesamte Länge geneigt sein können. Alternativ könnte auch vorgesehen sein, dass die Leitschaufeleintrittskante 3 und/oder die Leitschaufelaustrittskante 4 nur über einen Teilbereich geneigt verlaufen oder nur eine dieser Kanten geneigt sind.

Es hat sich gezeigt, dass in manchen Fällen durch eine Leitschaufel 1, welche nicht nur
15 gestrakt, sondern auch leaned ist, ein besonders guter Wirkungsgrad erreicht werden kann.

Eine erfindungsgemäße Leitschaufel 1 wird üblicherweise im Rahmen eines Leitrades bzw. eines Leitapparates in Verbindung mit mehreren ident ausgebildeten weiteren
20 Leitschaufeln 1 eingesetzt, welche regelmäßig entlang eines Kreises angeordnet und über die Drehzapfen 11 drehbar im Einlaufgehäuse gelagert sind, wobei die einzelnen Leitschaufeln 1 gleichzeitig betätigbar sind, um eine Strömung zu einem nachgelagerten Laufrad zu beeinflussen und bei Bedarf absperren zu können.

25 Hierzu weisen die Leitschaufeln 1 im Bereich der Leitschaufelaustrittskante 4 üblicherweise eine mit der Seitenfläche korrespondierende Schließkante auf, sodass sich in einem geschlossenen Zustand zwei nebeneinander angeordnete Leitschaufeln über die Schließkante und die Seitenfläche im Wesentlichen durchgängig entlang der axialen Erstreckung berühren und somit das Laufrad gegenüber einer Zuströmung abdichten.

30

Mit einem erfindungsgemäß ausgebildeten Leitrad können Verluste in Wasserkraftanlagen reduziert werden, sodass höhere Wirkungsgrade erreichbar sind.

- Durch Einbeziehungen des entsprechenden Designparameters in ein Verfahren zur Auslegung einer Wasserkraftanlage wie beispielsweise einer Pumpe oder Turbine kann somit der Lösungsraum um vielversprechende Varianten erweitert werden, sodass mit einem erfindungsgemäßen Verfahren in vielen Fällen bessere Wasserkraftanlagen
- 5 ausgelegt und in weiterer Folge hergestellt werden können. Hierzu werden bei der Variantenbildung auch Varianten mit erfindungsgemäß ausgebildeten Leiträdern berücksichtigt, wonach Strömungssituationen, insbesondere Strömungsgeschwindigkeiten zwischen dem Leitrاد und dem Laufrad einer entsprechenden Wasserkraftanlage, berechnet und darauf basierend Verluste analysiert werden, wonach jene Variante als
- 10 Auslegung der Wasserkraftanlage gewählt wird, bei welcher die besten Ergebnisse erzielt werden, insbesondere jene, bei welcher ein maximaler Wirkungsgrad erreicht wird. Anschließend wird die entsprechende Wasserkraftanlage gemäß der ermittelten Auslegung mit üblichen Verfahren hergestellt.

Patentansprüche

1. Leitschaufel (1) für ein Leitrad einer Pumpe oder Turbine, aufweisend einen Leitschaufelkörper mit zwei Stirnflächen (2), einer Leitschaufeleintrittskante (3), einer
 5 Leitschaufelaustrittskante (4) sowie einer ersten strömungsführenden Seitenfläche (5) und einer zweiten strömungsführenden Seitenfläche (6), welche die Leitschaufeleintrittskante (3) und die Turbinenaustrittskante (4) verbinden und entlang einer axialen Erstreckung unterschiedliche Strömungsprofile (12) ausbilden, welche jeweils eine Profilsehne (8), eine Skelettlinie (9) und einen Skelettkurvenendwinkel (α),
 10 unter welchem die Skelettlinie (9) an der Turbinenaustrittskante (4) zur Profilsehne (8) steht, aufweisen, wobei die Leitschaufel (1) um eine Drehachse (7), welche insbesondere durch zwei Drehzapfen (11) definiert ist, drehbar lagerbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufel (1) entlang der axialen Erstreckung mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem positivem Skelettkurvenendwinkel (α) und mindestens ein
 15 Strömungsprofil (12) mit einem negativen Skelettkurvenendwinkel (α) aufweist.

2. Leitschaufel (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufel (1) ein Strömungsprofil (12) mit einem Skelettkurvenendwinkel (α) von mehr als 2 Grad, insbesondere 5 Grad bis 20 Grad, aufweist.
 20

3. Leitschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufel (1) ein Strömungsprofil (12) mit einem Skelettkurvenendwinkel (α) von weniger als minus 2 Grad, insbesondere minus 5 Grad bis minus 20 Grad, aufweist.

- 25 4. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Skelettkurvenendwinkel (α) entlang einer axialen Erstreckung der Leitschaufel (1) genau einmal das Vorzeichen wechselt, wobei der Skelettkurvenendwinkel (α) insbesondere in einem bei bestimmungsgemäßer Verwendung oberen Bereich der Leitschaufel (1) negativ und in einem bei bestimmungsgemäßer Verwendung unteren
 30 Bereich positiv ist.

5. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Skelettkurvenendwinkel (α) entlang einer axialen Erstreckung der Leitschaufel (1) um mehr als 5 Grad, insbesondere um 10 Grad bis 40 Grad, ändert.

6. Leitschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufel (1) entlang einer axialen Erstreckung mindestens ein Profil mit einer positiv gekrümmten Skelettlinie (9) und mindestens ein Profil mit einer negativ gekrümmten Skelettlinie (9) aufweist.

5

7. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeleintrittskante (3) gegenüber der Drehachse (7) geneigt ist, insbesondere um einen Neigungswinkel (β) von 1 Grad bis 20 Grad.

10 8. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbinenaustrittskante (4) gegenüber der Drehachse (7) geneigt ist, insbesondere um einen Neigungswinkel (β) von 1 Grad bis 20 Grad.

9. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Leitschaufel (1) eine mit einer Seitenfläche korrespondierende Schließkante aufweist, sodass eine Schließkante einer Leitschaufel eine Seitenfläche einer daneben angeordneten Leitschaufel (1) in einem geschlossenen Zustand der Leitschaufeln (1) berühren kann.

20 10. Leitrad für eine Pumpe oder Turbine, insbesondere für eine Kaplan- oder Francis-Turbine, das durch mehrere Leitschaufeln (1) gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgebildet sind.

11. Leitrad nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitrad einen
25 Durchmesser von mehr als 2 m aufweist.

12. Verfahren zum Auslegen einer Wasserkraftanlage, insbesondere einer Pumpe oder Turbine, mit einem Leitrad, welches Leitschaufeln (1) aufweist, insbesondere einer Kaplan- oder Francis-Turbine, wobei durch Variation von Designparametern verschiedene
30 Varianten gebildet und Strömungsverhältnisse ermittelt werden, insbesondere mittels einer Strömungssimulation oder durch Versuche, welche durch Umsetzung der einzelnen Varianten erreichbar sind, wonach abhängig von erreichbaren Strömungsverhältnissen eine der Varianten gewählt wird, insbesondere jene Variante, bei welcher ein

Wirkungsgradoptimum erreicht wird, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Varianten ein Leitrad umfasst, welches nach Anspruch 10 oder 11 ausgebildet ist.

13. Verfahren zum Herstellen einer Wasserkraftanlage, dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Wasserkraftanlage gemäß einer mit einem Verfahren nach Anspruch 12 ermittelten Auslegung hergestellt wird.

1/4

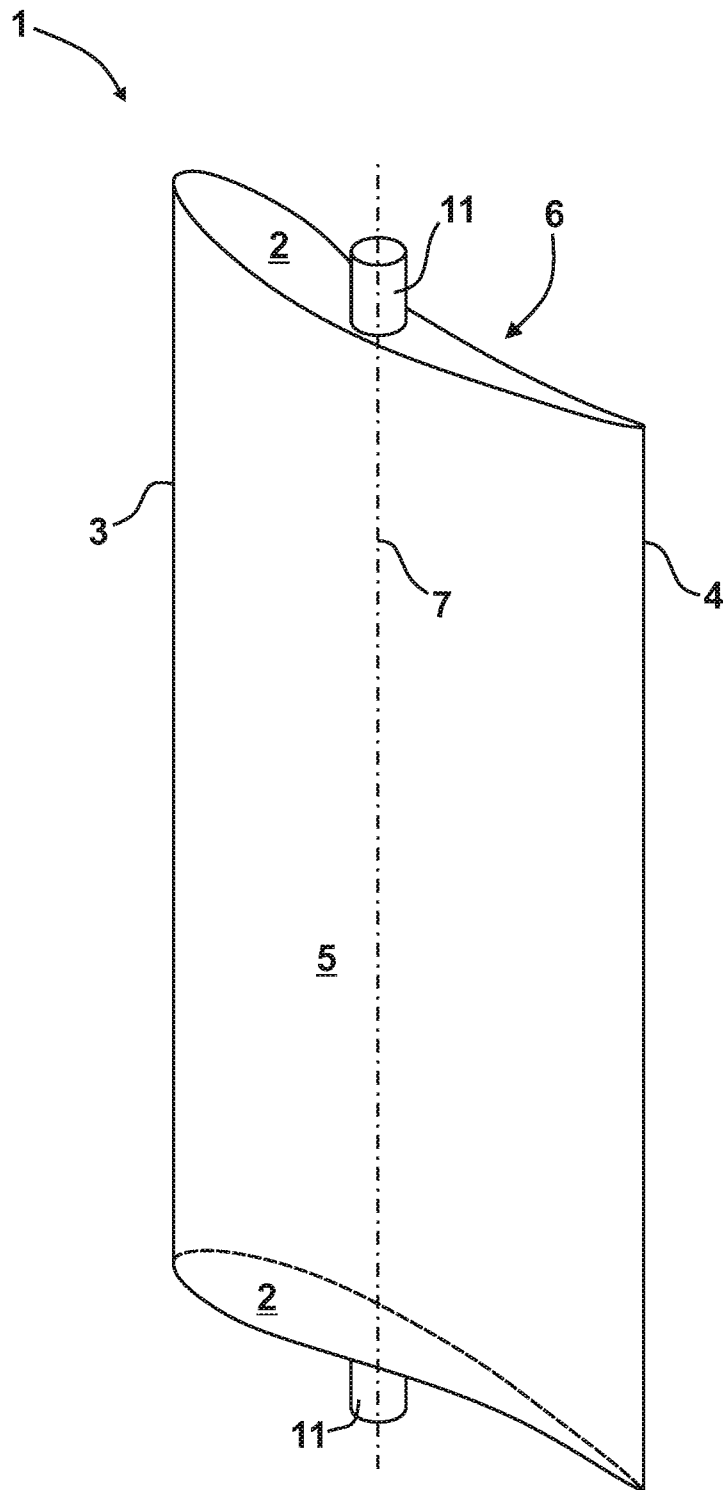


Fig. 1

2/4

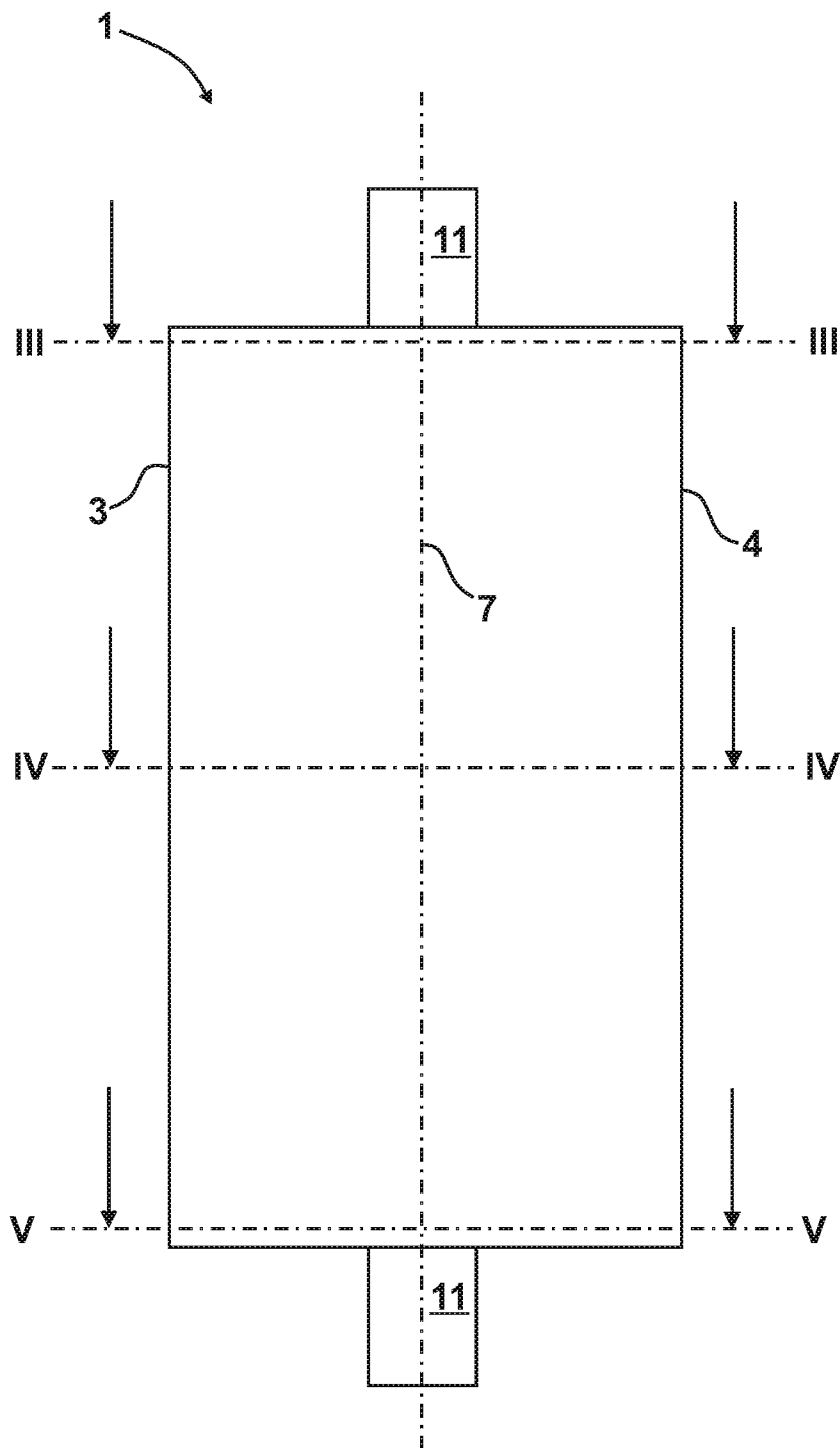


Fig. 2

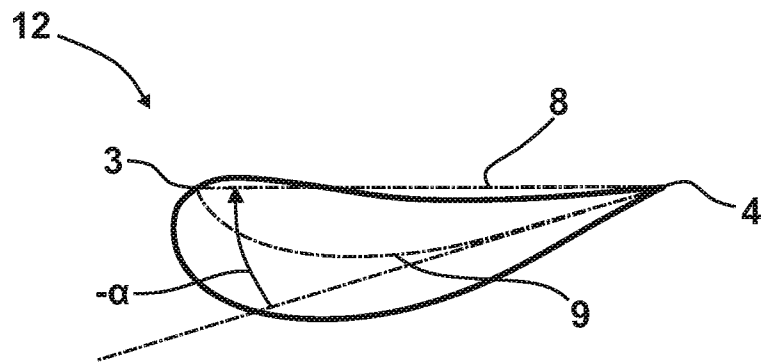


Fig. 3

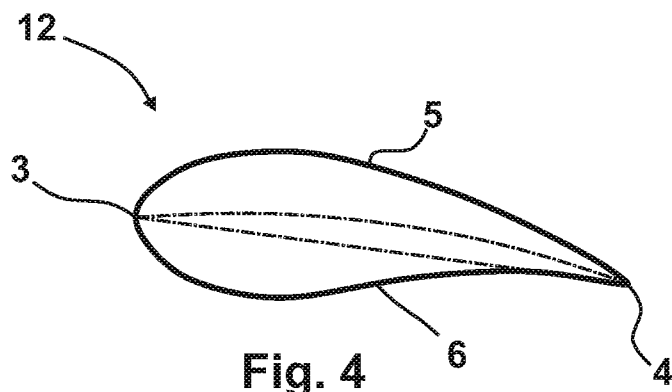


Fig. 4

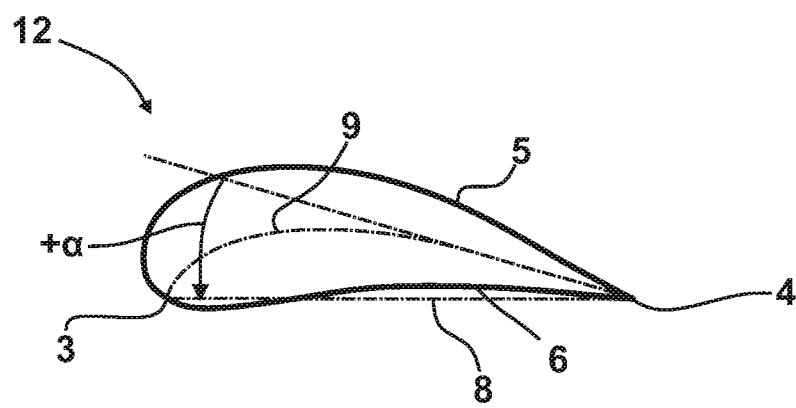


Fig. 5

4/4

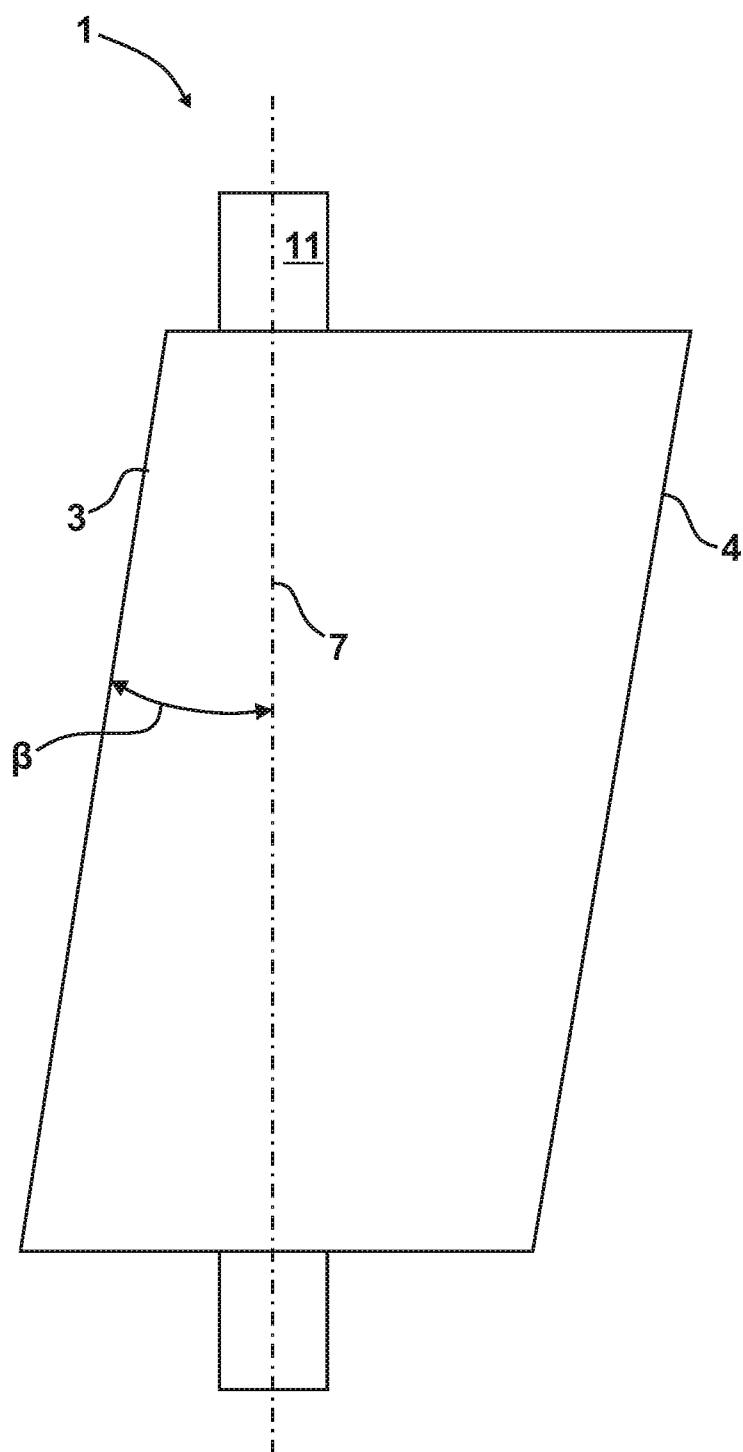


Fig. 6

Patentansprüche

1. Leitschaufel (1) für ein Leitrad einer Pumpe oder Turbine, aufweisend einen Leitschaufelkörper mit zwei Stirnflächen (2), einer Leitschaufeleintrittskante (3), einer
 5 Leitschaufelaustrittskante (4) sowie einer ersten strömungsführenden Seitenfläche (5) und einer zweiten strömungsführenden Seitenfläche (6), welche die Leitschaufeleintrittskante (3) und die Leitschaufelaustrittskante (4) verbinden und entlang einer axialen Erstreckung unterschiedliche Strömungsprofile (12) ausbilden, welche jeweils eine Profilsehne (8), eine Skelettlinie (9) und einen Skelettkurvenendwinkel (α),
 10 unter welchem die Skelettlinie (9) an der Leitschaufelaustrittskante (4) zur Profilsehne (8) steht, aufweisen, wobei die Leitschaufel (1) um eine Drehachse (7), welche insbesondere durch zwei Drehzapfen (11) definiert ist, drehbar lagerbar ist, wobei die Leitschaufel (1) entlang der axialen Erstreckung mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem positivem Skelettkurvenendwinkel (α) und mindestens ein Strömungsprofil (12) mit einem negativen
 15 Skelettkurvenendwinkel (α) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeleintrittskante (3) gegenüber der Drehachse (7) geneigt ist und/oder dass die Leitschaufelaustrittskante (4) gegenüber der Drehachse (7) geneigt ist.
2. Leitschaufel (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
 20 Leitschaufel (1) ein Strömungsprofil (12) mit einem Skelettkurvenendwinkel (α) von mehr als 2 Grad, insbesondere 5 Grad bis 20 Grad, aufweist.
3. Leitschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die
 25 Leitschaufel (1) ein Strömungsprofil (12) mit einem Skelettkurvenendwinkel (α) von weniger als minus 2 Grad, insbesondere minus 5 Grad bis minus 20 Grad, aufweist.
4. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Skelettkurvenendwinkel (α) entlang einer axialen Erstreckung der Leitschaufel (1) genau einmal das Vorzeichen wechselt, wobei der Skelettkurvenendwinkel (α)
 30 insbesondere in einem bei bestimmungsgemäßer Verwendung oberen Bereich der Leitschaufel (1) negativ und in einem bei bestimmungsgemäßer Verwendung unteren Bereich positiv ist.

5. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Skelettkurvenendwinkel (α) entlang einer axialen Erstreckung der Leitschaufel (1) um mehr als 5 Grad, insbesondere um 10 Grad bis 40 Grad, ändert.

5 6. Leitschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufel (1) entlang einer axialen Erstreckung mindestens ein Profil mit einer positiv gekrümmten Skelettlinie (9) und mindestens ein Profil mit einer negativ gekrümmten Skelettlinie (9) aufweist.

10 7. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Neigungswinkel (β) der Leitschaufeleintrittskante (3) 1 Grad bis 20 Grad beträgt.

8. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Neigungswinkel (β) der Leitschaufelaustrittskante (4) 1 Grad bis 20 Grad beträgt.

15

9. Leitschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufel (1) eine mit einer Seitenfläche korrespondierende Schließkante aufweist, sodass eine Schließkante einer Leitschaufel eine Seitenfläche einer daneben angeordneten Leitschaufel (1) in einem geschlossenen Zustand der Leitschaufeln (1)

20 berührt.

10. Leitrad für eine Pumpe oder Turbine, insbesondere für eine Kaplan- oder Francis-Turbine, das durch mehrere Leitschaufeln (1) gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgebildet sind.

25

11. Leitrad nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitrad einen Durchmesser von mehr als 2 m aufweist.