



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 496 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1447/2002
(22) Anmeldetag: 26.09.2002
(42) Beginn der Patentdauer: 15.08.2004
(45) Ausgabetag: 25.03.2005

(51) Int. Cl.⁷: **F03B 3/02**
F03B 3/10, 3/12

(56) Entgegenhaltungen:
DE 19803390C1 DE 19801849A1
US 6155783A US 3639080A

(73) Patentinhaber:
VA TECH HYDRO GMBH & CO
A-1141 WIEN (AT).
(72) Erfinder:
KECK HELMUT DR.
DIETLIKON (CH).

(54) LAUFRAD EINER HYDRAULISCHEN MASCHINE

(57) Laufradschaufeln (1, 1') eines Laufrades einer hydraulischen Maschine sollen derart geformt sein, dass zum Einen ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden kann und zum Anderen die hydraulische Maschine auch in Teillastbereichen ohne größere Einschränkungen betrieben werden kann, wobei immer auch ein gutes Kavitationsverhalten der hydraulischen Maschine erwünscht ist und dieses Laufrad auch noch möglichst einfach ohne Einschränkungen durch sehr kleine Lichtweiten mit Bearbeitungsmaschinen hergestellt werden soll. Um diese Ziele zu erreichen wird erfindungsgemäß ein Laufrad vorgeschlagen, bei dem die Eintritts- (4, 4') und/oder Austrittskante (5, 5') zweier benachbarter Laufradschaufeln (1, 1') abschnittsweise unterschiedliche Verläufe aufweisen.

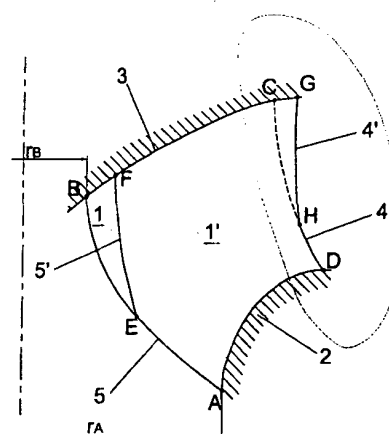


Fig. 2

AT 412 496 B

Die gegenständliche Anmeldung betrifft ein Laufrad einer hydraulischen Maschine, vorzugsweise eine Francis-Turbine, Francis-Pumpturbine oder Radial- bzw. Diagonalpumpe, mit einer Anzahl von Laufradschaufeln die zwischen einer inneren und äußeren Deckscheibe angeordnet sind, wobei die Laufradschaufeln eine Eintrittskante und eine Austrittskante aufweisen.

5 Ein Laufrad einer hydraulischen Maschine, wie z.B. eine Francis-Turbine, weist eine Mehrzahl von Laufradschaufeln auf, wobei jeweils zwei Schaufeln einen Strömungskanal für ein Betriebsmedium, z.B. Wasser, ausbilden, durch den das Betriebsmedium im Betrieb der hydraulischen Maschine fließt und so den Läufer in Rotation versetzt. Die Fertigung eines solchen Läufers ist aufgrund der komplexen geometrischen Formen der Laufradschaufeln sehr aufwendig. Um die Fertigung des Läufers, z.B. durch Schweißen, etc., und/oder eine entsprechende Bearbeitung der Oberflächen, z.B. durch Schleifen, Polieren, etc., mittels Bearbeitungsmaschinen, wie z.B. Robotern, etc., zu ermöglichen, dürfen die Laufradschaufeln nicht zu knapp aneinander liegen. Darüber hinaus besteht bei eng benachbarten Schaufelregionen immer die Gefahr, dass Schwemmgut im Laufrad stecken bleibt und somit den Betrieb beeinträchtigt, oder sogar die Abschaltung der hydraulischen Maschine notwendig macht.

15 Andererseits ist im Bereich der Austrittskante (=Eintrittskante bei einer Pumpe im Pumpbetrieb) der Laufradschaufeln ein kleiner Radius an der inneren Deckscheibe erwünscht, da dies für den Betrieb, vor allem in Betriebspunkten abseits des Auslegebetriebspunktes, von Vorteil ist. Bei kleinem Radius würde sich beispielsweise die Wirbelbildung am Austritt der Laufrades in Teillastbereichen wesentlich verbessern.

20 Am Laufradaustritt führt eine hohe Schaufelzahl zu sehr engen Platzverhältnissen. Eine kleine Schaufelzahl führt andererseits am Laufradeintritt zu weiten Abständen und einer hohen Belastung und Kavitation am Laufradeintritt.

25 Um diesen grundsätzlichen Widerspruch zu beseitigen, wurden Laufräder z.B. derart gefertigt, dass jede zweite oder dritte Schaufel im gesamten Austrittsbereich der Laufradschaufeln kürzer als die benachbarten Laufradschaufeln ausgeführt wurde, sogenannte „splitter blade runner“, und die Laufradschaufeln im Eintrittsbereich allesamt gleich belassen wurden. Der Vorteil dieser Ausführung ist der, dass damit im Austrittsbereich mehr Platz geschaffen wurde, womit die obigen Nachteile im Wesentlichen beseitigt waren. Allerdings erhöht sich dabei die Kavitationsgefahr im Bereich der äußeren Deckscheibe zwischen Schaufelmitte und Austrittskante, da sich dort aufgrund der teilweise reduzierten Schaufellängen die Schaufelbelastungen erhöhen.

30 Aus der US 6,135,716 wiederum ist ein Läufer einer Francis-Turbine bekannt, bei dem das Kavitationsverhalten verbessert wurde, indem die Eintritts- und die Austrittskanten der Laufradschaufeln bezüglich der Rotationsachse der Turbine besonders geformt werden. Die Längen aller Laufradschaufeln werden dabei gleich belassen, entsprechen somit einem herkömmlichen Laufrad. Damit ergeben sich jedoch wieder die oben angeführten Nachteile in Bezug auf die Fertigung und Betrieb abseits der Auslegung.

40 Eine Aufgabe der vorliegenden Anmeldung ist es daher, ein Laufrad einer hydraulischen Maschine anzugeben, bei dem die oben genannten Nachteile vermieden werden, das aber trotzdem ein gutes Kavitationsverhalten aufweist und keine Wirkungsgradeinbußen mit sich bringt.

45 Diese Aufgabe wird durch die gegenständliche Erfindung gelöst, indem ein Kontaktpunkt zwischen innerer Deckscheibe und Eintrittskante und/oder ein Kontaktpunkt zwischen innerer Deckscheibe und Austrittskante zumindest einer ersten Schaufel einen bezüglich der Drehachse der hydraulischen Maschine größeren Radius aufweist wie die entsprechenden Kontaktpunkte einer unmittelbar benachbarten zweiten Schaufel, wobei die Kontaktpunkte zwischen äußerer Deckscheibe und Ein- und Austrittskante der ersten und zweiten Laufradschaufel im Wesentlichen den selben Radius aufweisen.

50 Damit gelingt es zum Einen, im Austrittsbereich des Laufrades an der inneren Deckscheibe sehr kleine Radien zu realisieren, ohne Fertigungsprobleme oder Probleme durch eine zu enge Schaufelanordnung zu verursachen. Zum Anderen, wird die Belastung in den Bereichen hoher Schaufellast, also im Kontaktbereich der Schaufel mit der äußeren Deckscheibe nicht, bzw. nur unwesentlich vergrößert, da die Kontaktlängen in diesen Bereichen gegenüber herkömmlichen Laufrädern nicht verändert werden, sodass sich hinsichtlich der Kavitation keine Verschlechterung im Betrieb ergibt.

55 Hydraulisch und fertigungstechnisch ist es vorteilhaft, wenn die Eintritts- und Austrittskanten

einer ersten und zweiten Laufradschaufel des Läufers zumindest abschnittsweise gleich geformt sind, wobei die Kanten vorzugsweise zwischen dem Kontaktpunkt an der äußeren Deckscheibe und einem beliebigen Punkt auf der Eintritts- bzw. Austrittskante gleich geformt sind.

Um die hydraulische Maschine auch in Teillastbereichen reibungslos betreiben zu können, wird das Verhältnis zwischen dem kleinsten Radius eines Kontaktpunktes der Austrittskante mit der inneren Deckscheibe einer Schaufel und dem Radius des Kontaktpunktes der Austrittskante mit der äußeren Deckscheibe dieser Schaufel kleiner oder gleich 0,4, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,2, vorgegeben. Damit erreicht man, dass der Austrittswirbel aus dem Laufrad verringert wird und sich die hydraulische Maschine auch in Teillastbereichen einwandfrei betreiben lässt.

Die Anzahl der Laufradschaufeln des Laufrades wird vorteilhaft durch zwei oder drei teilbar gewählt, wobei dann jede zweite oder dritte Laufradschaufel unterschiedliche Ein- und/oder Austrittskanten aufweist, wodurch sich zumindest im Bereich kleiner Radien große fertigungstechnische Vorteile ergeben, da dadurch die einzelnen Laufradschaufeln problemlos bearbeitbar sind.

Aus hydraulischen Gründen ist es günstig, den Kontaktpunkt zwischen Austrittskante und innerer Deckscheibe zumindest einer Schaufel in axialer Richtung unterhalb der Mitte der Eintrittskante dieser Schaufel und bezüglich der Drehrichtung des Laufrades die Kontaktpunkte der Ein- und Austrittskante mit der äußeren Deckscheibe zumindest einer Schaufel vor den entsprechenden Kontaktpunkten der Ein- und Austrittskante mit der inneren Deckscheibe dieser Schaufel anzuordnen. Zusätzliche Verbesserungen des hydraulischen Verhaltens der Maschine ergeben sich, wenn bezüglich der Drehachse des Laufrades der radiale Abstand zwischen den Kontaktpunkten der Austrittskante mit der äußeren und inneren Deckscheibe zumindest einer Schaufel größer als der radiale Abstand zwischen den Kontaktpunkten der Eintrittskante mit der äußeren und inneren Deckscheibe dieser Schaufel ist, vorteilhaft größer 10° , vorzugsweise größer 15° . Unter anderem kann damit das Kavitationsverhalten der hydraulischen Maschine noch weiter verbessert werden.

Wenn ein Teil zumindest einer Laufradschaufel am Nabendeckel angeordnet ist und dieser Teil mit dem Nabendeckel abnehmbar ist können sehr kleine Radien der Kontaktpunkte der Austrittskante mit der inneren Deckscheibe realisiert werden, was sich wiederum im Teillastbereich der hydraulischen Maschine sehr vorteilhaft auswirkt.

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der folgenden schematischen, nicht einschränkenden Figuren 1 bis 3 beschrieben, wobei die

Fig. 1 eine Laufradschaufel eines herkömmlichen Laufrades einer hydraulischen Maschine,

Fig. 2 erfindungsgemäße Laufradschaufeln einer hydraulischen Maschine und

Fig. 3 eine Ansicht in axialer Richtung einer erfindungsgemäßen Laufradschaufel zeigt.

Eine herkömmliche Laufradschaufel 1 einer hydraulischen Maschine nach Fig. 1, wie z.B. einer Turbine, Pump-Turbine oder Radialpumpe, ist zwischen einer inneren 3 und äußeren Deckscheibe 2 angeordnet und weist eine Eintritts- 4 und eine Austrittskante 5 auf, die an den vier Kontaktpunkten A, B, C und D die innere 3 und äußere Deckscheibe 2 schneiden. Benachbarte Laufradschaufeln 1 bilden einen Strömungskanal, der vom Betriebsmedium, beispielsweise Wasser, durchströmbar ist. Für eine Turbine ergäbe sich eine Strömung von der Eintrittskante 4, z.B. von einem hier nicht dargestellten, hinlänglich bekannten Spiralgehäuse und einem Leitapparat, zur Austrittskante 5 und weiter zu einem hier ebenfalls nicht dargestellten, hinlänglich bekannten Saugrohr, welches in ein Unterwasser mündet. Für eine Pumpe oder Pump-Turbine im Pumpbetrieb würde sich die Strömungsrichtung entsprechend umkehren, hier also von Austrittskante 5 zur Eintrittskante 3. Durch die Strömung des Betriebsmediums durch das Laufrad wird die hydraulische Maschine in Rotation gesetzt (bei einer Turbine) bzw. durch die Rotation der hydraulischen Maschine wird Betriebsmedium gefördert (bei einer Pumpe). Die Drehachse der hydraulischen Maschine ist durch die strichpunktierte Linie angedeutet.

Die Laufradschaufel 1 ist in den meisten Fällen nicht eben, sondern kann grundsätzlich eine beliebige räumliche Krümmung aufweisen, wie in Fig. 3 angedeutet, in der eine Ansicht einer Laufradschaufel 1 in axialer Richtung der Drehachse dargestellt ist. Man erkennt, dass die Kontaktpunkte C (bzw. G), D der Eintrittskante 4 (bzw. 4') an der inneren Deckscheibe 3 und an der äußeren Deckscheibe 2 bezüglich der Drehachse der hydraulischen Maschine einen zirkumferentialen Abstand φ_E aufweisen können, also bezogen auf die axiale Richtung der Drehachse nicht auf einer radialen Linie durch die Drehachse zu liegen kommen, sondern in einem bestimmten Winkel zueinander angeordnet sind. Das Gleiche kann natürlich auch für die Kontaktpunkte B (bzw. F), A der

Austrittskante 5 (bzw. 5') an der inneren 3 und äußeren Deckscheibe 2 gelten, wo ein zirkumferentialer Abstand φ_A vorgesehen werden kann. Für das Kavitationsverhalten der hydraulischen Maschine ist dabei günstig, wenn dieser zirkumferentielle Abstand φ_A der Kontaktpunkte B (bzw. F), A der Austrittskante 5 (bzw. 5') größer wie der radiale Abstand φ_E der Kontaktpunkte C (bzw. G), D der Eintrittskante 4 (bzw. 4') gewählt wird. Ein bevorzugter Wert für φ_A ist dabei 15° oder größer.

Außerdem erkennt man in Fig. 3, dass die Kontaktpunkte D, A an der äußeren Deckscheibe 2 in Drehrichtung, die durch den Pfeil angedeutet ist, gesehen vor den entsprechenden Kontaktpunkten B (bzw. F), C (bzw. G) an der inneren Deckscheibe angeordnet sind.

In Fig. 2 ist nun schematisch ein erfindungsgemäßes Laufrad dargestellt. Die Laufradschaufeln 1 dieses Laufrades sind dabei wieder zwischen einer inneren 3 und äußeren Deckscheibe 2 angeordnet und bilden wieder einen Strömungskanal für das Betriebsmedium.

Bei diesem Laufrad sind nun jedoch die Eintrittskante 4 und die Austrittskante 5 jeder zweiten oder dritten Laufradschaufel 1 bezogen auf die Drehachse der hydraulischen Maschine teilweise nach außen gezogen (bzw. nach innen gezogen, je nach Sichtweise). D.h., dass nach wie vor ein Teil der Laufradschaufeln 1 herkömmlich, wie in Fig. 1 beschrieben, begrenzt werden, also von einer Eintrittskante 4 zwischen den Kontaktpunkten C und D, einer Austrittskante 5 zwischen den Kontaktpunkten A und B, sowie der inneren 3 und äußeren Deckscheibe 2. Jede zweite oder dritte Laufradschaufel 1' weicht von dieser Begrenzung ab. Die Eintrittskante 4 zweier benachbarter Laufradschaufeln 1, 1' verläuft ausgehend vom Kontaktpunkt D zwischen Eintrittskante 4 und äußerer Deckscheibe bis zu einem beliebigen Punkt H auf der Eintrittskante 4 gleich, ab diesem Punkt H ist die Eintrittskante 4' bezüglich der Drehachse nach außen gezogen, d.h. dass der Kontaktpunkt G der Eintrittskante 4' der Laufradschaufel 1' an der inneren Deckscheiben 3 einen größeren Radius aufweist, wie der entsprechende Kontaktpunkt C der benachbarten Laufradschaufel 1.

An der Austrittskante 5 gilt das oben gesagte analog. Die Austrittskanten 5 der unmittelbar benachbarten Laufradschaufeln 1, 1' decken sich im Wesentlichen zwischen einem Kontaktpunkt A an der äußeren Deckscheibe 2 und einem beliebigen Punkt E auf der Austrittskante 5. Ausgehend von diesem Punkt E ist die Austrittskante 5' jeder zweiten oder dritten Laufradschaufel 1' nach außen gezogen (bzw. nach innen gezogen, je nach Sichtweise), d.h. dass der Kontaktpunkt F der Austrittskante 5' der Laufradschaufel 1' an der inneren Deckscheibe 3 einen größeren Radius aufweist, wie der entsprechende Kontaktpunkt B der benachbarten Laufradschaufel 1.

Die Begrenzung eines Teiles der Laufradschaufeln 1 verläuft somit zwischen den Kontaktpunkten C und D, die die Eintrittskante 4 bilden, sowie den Kontaktpunkten A und B, die die Austrittskante 5 bilden, wie bei herkömmlichen Schaufeln, und die Begrenzung jeder zweiten oder dritten Laufradschaufel 1' verläuft zwischen den Punkten D, H und G, die die Eintrittskante 4' bilden und den Punkten A, E und F, die die Austrittskante 5' bilden.

Die obige Beschreibung ist selbstverständlich lediglich beispielhaft. Es wäre natürlich auch denkbar, nur die Eintrittskante 4 oder nur die Austrittskante 5 oder Ein- 4 und Austrittskante 5 abwechselnd abschnittsweise nach außen zu ziehen.

Die Punkte E und H können darüber hinaus an einer beliebigen Position auf der Austritts- 5 bzw. Eintrittskante 4 angeordnet sein, insbesondere könnten diese Punkte E und H in einer erfindungsgemäßen Ausführung auch mit den Kontaktpunkten A und D an der äußeren Deckscheibe 2 zusammenfallen.

Durch diese abwechselnd unterschiedlich verlaufenden Austrittskanten 5, 5' können die Laufradschaufeln 1 sehr nahe an die Drehachse der hydraulischen Maschine herangebracht werden, d.h. dass die Kontaktpunkte B der Austrittskanten 5 an der inneren Deckscheibe 3 sehr kleine Durchmesser aufweisen können. Insbesondere lässt sich ein Radiusverhältnis r_B/r_A an der Austrittskante 5 von kleiner oder gleich 0.2 erzielen, was bisher problematisch, wenn überhaupt möglich, war.

Wird die Austrittskante 5 im Bereich der inneren Deckscheibe 3 sehr nahe an die Drehachse herangeführt, kann es unter Umständen zu Platz- und/oder Montageproblemen mit der Befestigung des Laufrades an der Welle kommen. Um dieses Problem zu lösen, könnte man z.B. vorsehen, einen Teil der Laufradschaufeln 1 bzw. 1' als Teil eines hier nicht dargestellten, hinlänglich bekannten Nabendeckels auszuführen. Beispielsweise könnte man einen Abschnitt der durch die Punkte E, B und F festgelegt wird, als Teil des Nabendeckels fertigen, der dann mit dem Nabendeckel vom

Laufrad lösbar wäre.

PATENTANSPRÜCHE:

- 5 1. Laufrad einer hydraulischen Maschine, vorzugsweise eine Francis-Turbine, Francis-Pumpturbine oder Radial- bzw. Diagonalpumpe, mit einer Anzahl von Laufradschaufeln (1) die zwischen einer inneren (3) und äußeren Deckscheibe (2) angeordnet sind, wobei die Laufradschaufeln (1) eine Eintrittskante (4) und eine Austrittskante (5) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kontaktpunkt (G) zwischen innerer Deckscheibe (3) und Eintrittskante (4') und/oder ein Kontaktpunkt (F) zwischen innerer Deckscheibe (3) und Austrittskante (5') zumindest einer ersten Laufradschaufel (1') einen bezüglich der Drehachse der hydraulischen Maschine größeren Radius aufweist wie die entsprechenden Kontaktpunkte (B, C) einer unmittelbar benachbarten zweiten Laufradschaufel (1'), wobei die Kontaktpunkte (A, D) zwischen äußerer Deckscheibe (2) und Ein- und Austrittskante (4, 4', 5, 5') der ersten und zweiten Laufradschaufel (1, 1') im Wesentlichen den selben Radius aufweisen.
- 10 2. Laufrad nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eintrittskanten (4, 4') der ersten und zweiten Laufradschaufel (1, 1') des Laufrades zumindest abschnittsweise unterschiedlich verlaufend geformt sind.
- 15 3. Laufrad nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eintrittskanten (4, 4') der ersten und zweiten Laufradschaufel (1, 1') des Laufrades zwischen dem Kontaktpunkt (D) der Eintrittskanten (4, 4') an der äußeren Deckscheibe (2) und einem vorbestimmbaren Punkt (H) auf der Eintrittskante (4, 4') im Wesentlichen gleich verlaufend geformt sind.
- 20 4. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittskanten (5, 5') der ersten und zweiten Laufradschaufel (1, 1') des Laufrades zumindest abschnittsweise unterschiedlich verlaufend geformt sind.
- 25 5. Laufrad nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittskanten (5, 5') der ersten und zweiten Laufradschaufel (1, 1') des Laufrades zwischen dem Kontaktpunkt (A) der Austrittskanten (5, 5') an der äußeren Deckscheibe (2) und einem vorbestimmbaren Punkt (E) auf der Austrittskante (5, 5') im Wesentlichen gleich verlaufend geformt sind.
- 30 6. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis zwischen dem kleinsten Radius r_B eines Kontaktpunktes (B) der Austrittskante (5') mit der inneren Deckscheibe (3) einer Laufradschaufel (1) und dem Radius r_A des Kontaktpunktes (A) der Austrittskante (5, 5') mit der äußeren Deckscheibe (2) dieser Laufradschaufel (1) kleiner oder gleich 0,4, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,2, ist.
- 35 7. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl der Laufradschaufeln (1, 1') des Laufrades durch zwei oder drei teilbar ist.
- 40 8. Laufrad nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer durch zwei teilbaren Anzahl von Laufradschaufeln (1, 1') die Austrittskante (5) und/oder die Eintrittskante (4) jeder zweiten Laufradschaufel (1) einen Kontaktpunkt (B, C) an der inneren Deckscheibe (3) mit einem bezüglich der Drehachse des Laufrades kleineren Radius als die entsprechenden Kontaktpunkte (F, G) der benachbarten Laufradschaufeln (1') aufweist.
- 45 9. Laufrad nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer durch drei teilbaren Anzahl von Laufradschaufeln (1, 1') die Austrittskante (5) und/oder die Eintrittskante (4) eines Drittels der Laufradschaufeln (1, 1') einen Kontaktpunkt (B, C) an der inneren Deckscheibe (3) mit einem bezüglich der Drehachse des Laufrades kleineren Radius als die entsprechenden Kontaktpunkte (F, G) der benachbarten Laufradschaufeln (1') aufweisen.
- 50 10. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kontaktpunkt (B, F) zwischen Austrittskante (5, 5') und innerer Deckscheibe (3) zumindest einer Laufradschaufel (1, 1') in axialer Richtung unterhalb der Mitte der Eintrittskante (4, 4') dieser Laufradschaufel (1, 1') angeordnet ist.
- 55 11. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass bezüglich der Drehrichtung des Laufrades die Kontaktpunkte (A, D) der Ein- und Austrittskante (4, 4', 5, 5') an der äußeren Deckscheibe (2) zumindest einer Laufradschaufel (1, 1') vor den ent-

sprechenden Kontaktpunkten (B, C, F, G) der Ein- und Austrittskante (4, 4', 5, 5') an der inneren Deckscheibe (3) dieser Laufradschaufel (1, 1') angeordnet sind.

- 5 12. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass bezüglich der Drehachse des Laufrades der zirkumferentielle Abstand Φ_A zwischen den Kontaktpunkten (A, B, F) der Austrittskante (5, 5') an der äußeren (2) und inneren Deckscheibe (3) zumindest einer Laufradschaufel (1, 1') größer als der zirkumferentielle Abstand Φ_E zwischen den Kontaktpunkten (D, C, G) der Eintrittskante (4, 4') an der äußeren (2) und inneren Deckscheibe (3) dieser Laufradschaufel (1, 1') ist.
- 10 13. Laufrad nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zirkumferentielle Abstand Φ_A zwischen den Kontaktpunkten (A, B, F) der Austrittskante (5, 5') an der äußeren (2) und inneren Deckscheibe (3) zumindest einer Laufradschaufel größer 10° , vorzugsweise größer 15° , ist.
- 15 14. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Laufradschaufel (1, 1') geteilt ausgeführt ist, wobei zumindest zwei Laufradschaufelteile voneinander lösbar angeordnet sind.
- 20 15. Laufrad nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Teil zumindest einer Laufradschaufel (1, 1') am Nabendeckel angeordnet ist und dieser Teil mit dem Nabendeckel von Laufrad lösbar ist.
- 25 16. Verfahren zur Herstellung eines Laufrades einer hydraulischen Maschine, vorzugsweise eine Francis-Turbine, Francis-Pumpturbine oder Radial- bzw. Diagonalpumpe, mit einer Anzahl von zwischen einer inneren (3) und äußeren Deckscheibe (2) angeordneten Laufradschaufeln (1, 1'), **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Laufradschaufel (1') des Laufrades mit einer von einer benachbarten Laufradschaufel (1) unterschiedlichen Eintritts- (4) und/oder Austrittskante (5) gefertigt wird, sodass ein Kontaktpunkt (G) zwischen innerer Deckscheibe (3) und Eintrittskante (4') und/oder ein Kontaktpunkt (F) zwischen innerer Deckscheibe (3) und Austrittskante (5') zumindest einer Laufradschaufel (1') einen bezüglich der Drehachse der hydraulischen Maschine größeren Radius aufweist wie die entsprechenden Kontaktpunkte (B, C) einer benachbarten Laufradschaufel (1), wobei die Kontaktpunkte (A, D) zwischen äußerer Deckscheibe (2) und Ein- und Austrittskante (4, 4', 5, 5') aller Laufradschaufeln (1, 1') im Wesentlichen den selben Radius aufweisen.
- 30 17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laufradschaufeln (1, 1') vorab als Einzelteile gefertigt werden und im Anschluss daran mit der inneren (3) und äußeren Deckscheibe (2) zu einem Laufrad verschweißt werden.
- 35 18. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Laufrad zumindest teilweise gegossen wird und gegebenenfalls die Laufradschaufeln (1, 1') im Anschluss daran mit einem Oberflächenbearbeitungsverfahren, wie, z.B. Schleifen oder Polieren, bearbeitet werden.

40 HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

45

50

55

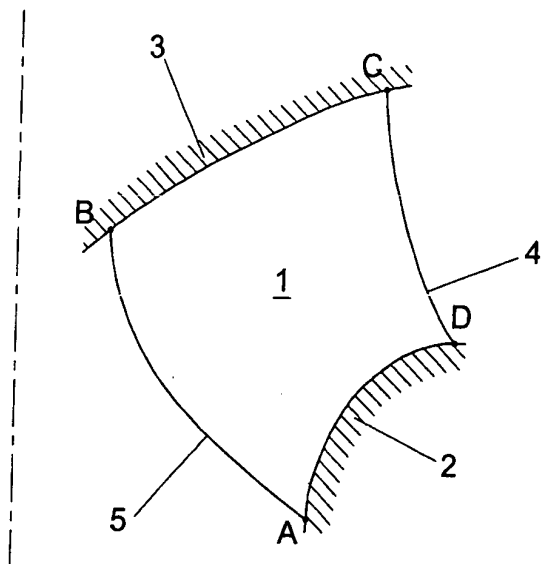


Fig. 1

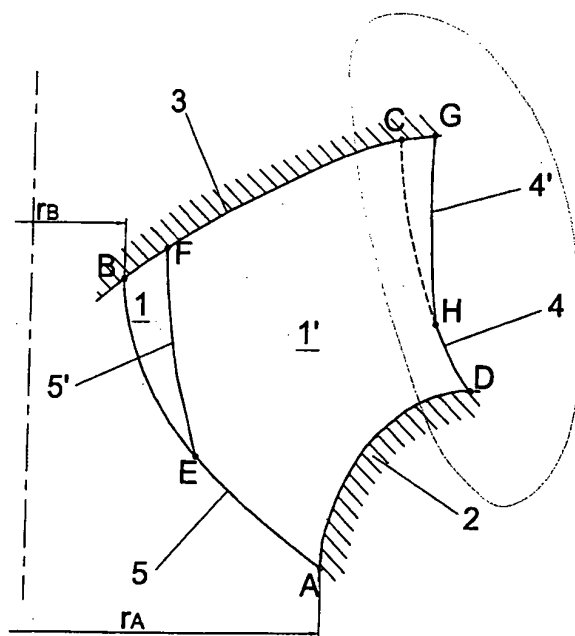


Fig. 2

Fig. 3