

(19)



REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 495 B**

(12)

## PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1446/2002  
(22) Anmeldetag: 26.09.2002  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.08.2004  
(45) Ausgabetag: 25.03.2005

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

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 19803390C1 DE 1944360A  
US 6135716A 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

AT 412 495 B

(57) Laufradschaufeln (2) eines Laufrades (1) 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 (1) auch noch möglichst einfach ohne Einschränkungen durch sehr kleine Lichtweiten mit Bearbeitungsmaschinen hergestellt und montiert werden soll. Um diese Ziele zu erreichen wird erfindungsgemäß ein Laufrad (1) vorgeschlagen, bei dem Laufradschaufeln (2) geteilt ausgeführt werden, sodass ein Teil (2a) der Laufradschaufeln (2) vom Laufrad (1) gelöst werden kann.

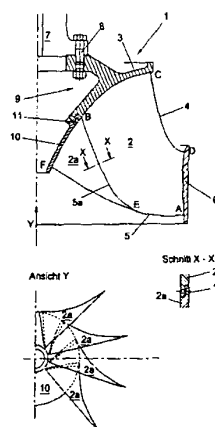


Fig. 1

Die gegenständliche Anmeldung betrifft ein Laufrad einer hydraulischen Maschine, vorzugsweise vom Überdrucktyp, wie z.B. eine Francis-Turbine, Francis-Pumpturbine oder Radial- bzw. Diagonalpumpe, mit einer Anzahl von Laufradschaufeln, wobei zumindest eine Laufradschaufel geteilt ausgeführt ist und zumindest zwei Laufradschaufelteile voneinander lösbar angeordnet sind, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Laufrades.

Ein Laufrad einer hydraulischen Maschine, wie z.B. eine Francis-Turbine oder -Pumpturbine, 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.

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 Laufradschaufeln in Teillastbereichen wesentlich verbessern. Viele Laufräder weisen auch eine Laufradhaube auf, um die Strömung nach dem Austritt aus der Laufradschaufel kontrolliert weiterführen zu können, die bei solchen kleinen Radien jedoch eine Montage des Laufrades an der Welle erschweren oder gar unmöglich machen würde. Am Laufradaustritt führt eine hohe Schaufelzahl und kleine Durchmesser zu sehr engen Platzverhältnissen. Eine kleine Schaufelzahl führt andererseits am Laufradeintritt zu weiten Abständen und einer hohen Belastung und Kavitation am Laufradeintritt.

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.

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.

Der DE 198 03 390 C1 zeigt ein Laufrad, das aus mehreren Einzellaufnern besteht, um ein besonders anpassungsfähiges Laufrad zu erhalten, das für einen sehr breiten Bereich von Betriebsbedingungen einen möglichst hohen Wirkungsgrad erzielt. Ein solches Laufrad bedingt aber einen sehr hohen Fertigungsaufwand.

Die Fertigung von Laufrädern kann unter Umständen vereinfacht werden, indem das Laufrad und/oder die Laufradschaufeln aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt wird. Beispiele dafür finden sich in der DE 19 44 360 A oder der US 6,155,783 A.

Bei all diesen Varianten bleibt jedoch das Problem der Befestigung bzw. Montage des Laufrades bei Laufrädern mit Laufradschaufeln die sehr nahe an die Drehachse der hydraulischen Maschine herangeführt werden, was ja den Betrieb der hydraulischen Maschine in Teillastbereichen verbessert, erhalten.

Eine Aufgabe der vorliegenden Anmeldung ist es daher, ein Laufrad einer hydraulischen Maschine anzugeben, das auch bei sehr kleinen Laufradschaufeldurchmessern im Bereich der inneren Deckscheibe eine einfache Montage des Laufrades ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die gegenständliche Erfindung gelöst, indem zumindest ein Teil der

Lauftradschaufel an einer vom Laufrad lösbaren Laufradhaube angeordnet ist.

Durch die Teilung der Lauftradschaufel ist es nun möglich einen Teil der Lauftradschaufel vom Rest des Laufrades zu lösen und damit die Verbindung zwischen Laufrad und Welle zugänglich zu machen. Damit können aber auch sehr kleine Lauftradschaufeldurchmesser ohne Einschränkungen verwirklicht werden.

Die Laufradhaube eignet sich ganz besonders gut zur Aufnahme zumindest eines Teil der Lauftradschaufeln, da diese in Regel vom Laufrad lösbar ausgeführt ist, um die Montage zu erleichtern. Außerdem ist die Laufradhaube ein im Vergleich zum restlichen Laufrad kompakter und einfach handzuhabender Bauteil, sodass die Montage des Laufrades mit den geteilten Lauftradschaufeln einfach bewerkstelligt werden kann.

Dazu ist es auch günstig die Laufradhaube mittels eines Verbindungsmittel direkt mit der Lauftradrabe lösbar zu verbinden, was ebenfalls die Montage erleichtert.

Ein besonders einfach zu fertigendes Laufrad erhält man, wenn die Lauftradschaufel zweigeteilt ausgeführt ist. Damit kann das Laufrad einfach zusammengesetzt werden.

Um das Betriebsverhalten einer geteilten Lauftradschaufel zu verbessern, ist es günstig die einzelnen Teile der Lauftradschaufel miteinander zu verbinden. Dadurch kann das Schwingverhalten der Lauftradschaufel durch Erhöhung der Stabilität wesentlich verbessert werden.

Ein besonders vorteilhaftes Laufrad ergibt sich, wenn ein Kontaktpunkt zwischen innerer Deckscheibe und Eintrittskante und/oder ein Kontaktpunkt zwischen innerer Deckscheibe und Austrittskante zumindest einer ersten Lauftradschaufel einen bezüglich der Drehachse der hydraulischen Maschine größeren Radius aufweist wie die entsprechenden Kontaktpunkte einer unmittelbar benachbarten zweiten Lauftradschaufel, wobei die Kontaktpunkte zwischen äußerer Deckscheibe und Ein- und Austrittskante der ersten und zweiten Lauftradschaufel im Wesentlichen den selben Radius aufweisen.

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.

Hydraulisch und fertigungstechnisch ist es vorteilhaft, wenn die Eintritts- und Austrittskanten einer ersten und zweiten Lauftradschaufel 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 hydraulischen Maschine auch in Teillastbereichen einwandfrei betreiben lässt.

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

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der folgenden schematischen, nicht einschränken-  
den Figuren 1 bis 4 beschrieben, wobei die

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Laufrad,

Fig. 2 eine Laufradschaufel eines herkömmlichen Laufrades einer hydraulischen Maschine,

Fig. 3 Laufradschaufeln einer hydraulischen Maschine mit unterschiedlichen Ein- bzw. Aus-  
trittskanten und

Fig. 4 eine Ansicht in axialer Richtung einer Laufradschaufel

zeigt.

Ein Laufrad 1 einer Überdruckturbine, wie z.B. eine Francis-Turbine oder -Pumpturbine, ist in  
der Regel wie in Fig. 1 dargestellt über eine Laufradnabe 9 mittels einem geeigneten Befesti-  
gungsmittel 8, hier z.B. eine Schraubenverbindung, mit der Welle 7 verbunden, sodass die Dreh-  
bewegung des Laufrades 1 auf die Welle 7 übertragen wird, oder umgekehrt bei einer Pumpturbine  
im Pumpbetrieb. Das Laufrad 1 weist außerdem eine innere 3 und äußere Deckscheibe 6 auf,  
zwischen denen zumindest teilweise die Laufradschaufeln 2 angeordnet sind. Die Laufradschau-  
feln 2 können dabei mit einer beliebigen Methode, in der Praxis oftmals durch Schweißen, an den  
Deckscheiben 3, 6 befestigt werden, könnten aber genauso als ein Teil gegossen werden.

In Verlängerung der Laufradnabe 9 ist eine Laufradhaube 10 angeordnet, an der ein Teil der  
Laufradschaufel 2a befestigt ist, z.B. wieder durch Schweißen. Gleichfalls könnte die Laufradhaube  
10 mit dem Laufradschaufelteil 2a als ein Teil gegossen werden. Die Laufradschaufel 2 ist hier also  
zweigeteilt, wobei die beiden Teile voneinander lösbar sind. Dazu ist ein Verbindungsmittel 11  
vorgesehen, hier z.B. Senkschrauben, mit dem die Laufradnabe 9 mit der Laufradhaube 10 lösbar  
verbunden werden kann. Damit ist es möglich einen Teil der Laufradschaufel 2a mit der Laufrad-  
haube 10 vom restlichen Laufrad abzunehmen, wodurch die Zugänglichkeit im axialen Bereich des  
Laufrades 1, z.B. zur Laufradbefestigung 8, verbessert wird. Selbstverständlich wäre auch jede  
andere Verbindung zwischen Laufradhaube 10 bzw. Laufrad 1 und Laufradnabe 9 denkbar.

Die Ansicht Y der Fig. 1 zeigt die Laufradhaube 10 in einer axialen Ansicht, wobei in diesem  
Beispiel alle Laufradschaufeln 2 geteilt ausgeführt sind, was, wie weiter unten noch beschrieben  
wird, jedoch nicht notwendiger Weise der Fall sein muss.

Der Schnitt X - X durch die Verbindungslinie der Laufradschaufelteile der Fig. 1 zeigt, dass die  
einzelnen Teile durch ein geeignetes Verbindungsmittel 12, wie hier z.B. Senkschrauben, auch  
entlang der Verbindungslinie miteinander verbunden werden können, was das Betriebsverhalten  
der Laufradschaufeln 2, vor allem hinsichtlich Schwingungsverhalten und Stabilität, verbessert.

Selbstverständlich könnten anstelle von Senkschrauben 11, 12 auch beliebige andere geeigne-  
te Verbindungsmittel zur Anwendung kommen.

Eine herkömmliche Laufradschaufel 2 einer hydraulischen Maschine nach Fig. 2 ist zwischen  
einer inneren 3 und äußeren Deckscheibe 6 angeordnet und weist eine Eintritts- 4 und eine Aus-  
trittskante 5 auf, die an den vier Kontaktpunkten A, B, C und D die innere 3 und äußere Deckschei-  
be 6 schneiden.

Benachbarte Laufradschaufeln 1 bilden einen Strömungskanal, der vom Betriebsmedium, bei-  
spielsweise Wasser, durchströmbar ist. Für eine hydraulischen Maschine ergäbe sich eine Strö-  
mung von der Eintrittskante 4, z.B. von einem hier nicht dargestellten, hinlänglich bekannten Spi-  
ralgehäuse 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 Betriebsme-  
diums wird das Laufrad 1 in Rotation gesetzt (bei einer Turbine) bzw. durch die Rotation des Lauf-  
rades 1 wird Betriebsmedium gefördert (bei einer Pumpturbine in Pumpbetrieb). Die Drehachse der  
Turbine 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. 4 angedeutet, in der eine Ansicht einer  
Laufradschaufel 2 in axialer Richtung der Drehachse dargestellt ist. Man erkennt, dass die Kon-  
taktpunkte C (bzw. G), D der Eintrittskante 4 (bzw. 4a) an der inneren Deckscheibe 3 und an der  
äußeren Deckscheibe 6 bezüglich der Drehachse der Turbine einen zirkumferentialen Abstand  $\varphi_E$   
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. 5a) an der inneren 3 und äußeren Deckscheibe 6 gelten, wo ein zirkumferentialer Abstand  $\varphi_A$  vorgesehen werden kann. Für das Kavitationsverhalten der Turbine ist dabei günstig, wenn dieser zirkumferentielle Abstand  $\varphi_A$  der Kontaktpunkte B (bzw. F), A der Austrittskante 5 (bzw. 5a) größer wie der radiale Abstand  $\varphi_E$  der Kontaktpunkte C (bzw. G), D der Eintrittskante 4 (bzw. 4a) gewählt wird. Ein bevorzugter Wert für  $\varphi_A$  ist dabei  $15^\circ$  oder größer.

Außerdem erkennt man in Fig. 4, dass die Kontaktpunkte D, A an der äußeren Deckscheibe 6 in Drehrichtung gesehen vor den entsprechenden Kontaktpunkten B (bzw. F), C (bzw. G) an der inneren Deckscheibe angeordnet sind.

In Fig. 3 ist nun schematisch ein Laufrad 1 dargestellt dessen Laufradschaufeln 1 wieder zwischen einer inneren 3 und äußeren Deckscheibe 6 angeordnet sind und wieder einen Strömungskanal für das Betriebsmedium bilden.

Bei diesem Laufrad 1 sind nun jedoch die Eintrittskante 4 und die Austrittskante 5 jeder zweiten oder dritten Laufradschaufel 2 bezogen auf die Drehachse der Turbine teilweise nach außen gezogen (bzw. nach innen gezogen, je nach Sichtweise). D.h., dass nach wie vor ein Teil der Laufradschaufeln 2 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 6. Jede zweite oder dritte Laufradschaufel 2 weicht von dieser Begrenzung ab. Die Eintrittskante 4 zweier benachbarter Laufradschaufeln 2, 2' verläuft ausgehend vom Kontaktpunkt D zwischen Eintrittskante 4 und äußerer Deckscheibe 6 bis zu einem beliebigen Punkt H auf der Eintrittskante 4 gleich, ab diesem Punkt H ist die Eintrittskante 4a bezüglich der Drehachse nach außen gezogen, d.h. dass der Kontaktpunkt G der Eintrittskante 4a der Laufradschaufel 2 an der inneren Deckscheiben 3 einen größeren Radius aufweist, wie der entsprechende Kontaktpunkt C der benachbarten Laufradschaufel 2'.

An der Austrittskante 5 gilt das oben gesagte analog. Die Austrittskanten 5 der unmittelbar benachbarten Laufradschaufeln 2, 2' decken sich im Wesentlichen zwischen einem Kontaktpunkt A an der äußeren Deckscheibe 6 und einem beliebigen Punkt E auf der Austrittskante 5. Ausgehend von diesem Punkt E ist die Austrittskante 5a jeder zweiten oder dritten Laufradschaufel 2 nach außen gezogen (bzw. nach innen gezogen, je nach Sichtweise), d.h. dass der Kontaktpunkt B der Austrittskante 5a der Laufradschaufel 2 an der inneren Deckscheibe 3 einen größeren Radius aufweist, wie der entsprechende Kontaktpunkt F der benachbarten Laufradschaufel 2'.

Die Begrenzung eines Teiles der Laufradschaufeln 2 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 2' verläuft zwischen den Punkten D, H und G, die die Eintrittskante 4a bilden und den Punkten A, E und F, die die Austrittskante 5a 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 6 zusammenfallen.

Durch diese abwechselnd unterschiedlich verlaufenden Austrittskanten 5, 5a können die Laufradschaufeln 2, 2' sehr nahe an die Drehachse der Turbine herangebracht werden, d.h. dass die Kontaktpunkte F der Austrittskanten 5 an der inneren Deckscheibe 3 sehr kleine Durchmesser aufweisen können. Insbesondere lässt sich ein Radiusverhältnis  $r_F/r_A$  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 Platzproblemen mit der Befestigung des Laufrades 1 an der Welle 7 kommen. Um dieses Problem zu lösen, könnte man z.B., wie zu Fig. 1 bereits beschrieben, zumindest die Laufradschaufeln 2' die nahe an die Drehachse heranreichen zweiteilen und den Laufradschaufelteil der durch die Punkte E, F, B markiert ist auf der Laufradhaube 10

anordnen. Es könnte natürlich die Laufradschaufel 2 auch an jeder anderen beliebigen Stelle geteilt werden, was den erfinderischen Charakter nicht verändern würde. Erst nach der Montage des Laufrades 1 würde dann die Laufradschaufeln 2 komplett ausgebildet sein. Um die Montage zu erleichtern, wäre es auch denkbar an der Laufradhaube 10 und/oder an der Laufradnabe 9 Zentrierungshilfen, wie z.B. eine Nut und ein Keil oder ähnliches, vorzusehen.

Wäre beispielsweise nur jede zweite Laufradschaufel 2, wie oben beschrieben, in Richtung der Drehachse verlängert, z.B. um den Laufradschaufelteil zwischen den Punkten E, F und B, so könnte es auch ausreichen, nur diese verlängerten Laufradschaufel 2 zu teilen, wodurch die Laufradhaube 10 einfacher gefertigt werden könnte.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Laufrad einer hydraulischen Maschine, vorzugsweise vom Überdrucktyp, wie z.B. eine Francis-Turbine, Francis-Pumpturbine oder Radial- bzw. Diagonalpumpe, mit einer Anzahl von Laufradschaufeln (2), wobei zumindest eine Laufradschaufel (2) geteilt ausgeführt ist und zumindest zwei Laufradschaufelteile (2, 2a) voneinander lösbar angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Teil (2a) der Laufradschaufel an einer vom Laufrad (1) lösbaren Laufradhaube (10) angeordnet ist.
2. Laufrad nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laufradschaufel (2) zweigeteilt ausgeführt ist.
3. Laufrad nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Verbindungsmittel (11) vorgesehen ist, mit dem die Laufradhaube (10) mit einer Laufradnabe (9) lösbar verbindbar ist.
4. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Verbindungsmittel (12) vorgesehen ist, mit dem zumindest zwei Teile der Laufradschaufel (2, 2a), vorzugsweise lösbar, miteinander verbindbar sind.
5. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kontaktpunkt (G) zwischen einer inneren Deckscheibe (3) und einer Eintrittskante (4a) und/oder ein Kontaktpunkt (B) zwischen innerer Deckscheibe (3) und einer Austrittskante (5a) zumindest einer ersten Laufradschaufel (2) einen bezüglich der Drehachse der hydraulischen Maschine größeren Radius aufweist wie die entsprechenden Kontaktpunkte (F, C) einer unmittelbar benachbarten zweiten Laufradschaufel (2'), wobei die Kontaktpunkte (A, D) zwischen äußerer Deckscheibe (6) und Ein- und Austrittskante (4, 5) der ersten und zweiten Laufradschaufel (2, 2') im Wesentlichen den selben Radius aufweisen.
6. Laufrad nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eintrittskanten (4, 4a) der ersten und zweiten Laufradschaufel (2, 2') des Laufrades (1) zumindest abschnittsweise unterschiedlich verlaufend geformt sind.
7. Laufrad nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eintrittskanten (4, 4a) der ersten und zweiten Laufradschaufel (2, 2') des Laufrades (1) zwischen dem Kontaktpunkt (D) der Eintrittskante (4, 4a) an der äußeren Deckscheibe (6) und einem vorbestimmbaren Punkt (H) auf der Eintrittskante (4, 4a) im Wesentlichen gleich verlaufend geformt sind.
8. Laufrad nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittskanten (5, 5a) der ersten und zweiten Laufradschaufel (2, 2') des Laufrades (1) zumindest abschnittsweise unterschiedlich verlaufend geformt sind.
9. Laufrad nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittskanten (5, 5a) der ersten und zweiten Laufradschaufel (2, 2') des Laufrades (1) zwischen dem Kontaktpunkt (A) der Austrittskante (5, 5a) an der äußeren Deckscheibe (6) und einem vorbestimmbaren Punkt (E) auf der Austrittskante (5, 5a) im Wesentlichen gleich verlaufend geformt sind.
10. Laufrad nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis zwischen dem kleinsten Radius  $r_F$  eines Kontaktpunktes (F) der Austrittskante (5) mit der inneren Deckscheibe (3) einer Laufradschaufel (2, 2') und dem Radius  $r_A$  des Kontaktpunktes (A) der Austrittskante (5) mit der äußeren Deckscheibe (6) dieser Laufradschaufel (2, 2') kleiner oder gleich 0,4, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,2, ist.
11. Laufrad nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl

- der Laufradschaufeln (2, 2') des Laufrades (1) durch zwei oder drei teilbar ist.
12. Laufrad nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer durch zwei teilbaren Anzahl von Laufradschaufeln (2, 2') die Austrittskante (5) und/oder die Eintrittskante (4) jeder zweiten Laufradschaufel (2') einen Kontaktpunkt (F) an der inneren Deckscheibe (3) mit einem bezüglich der Drehachse des Laufrades (1) kleineren Radius als der entsprechende Kontaktpunkt (B) der benachbarten Laufradschaufel (2) aufweist.
  13. Laufrad nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer durch drei teilbaren Anzahl von Laufradschaufeln (2, 2') die Austrittskante (5) und/oder die Eintrittskante (4) eines Drittels der Laufradschaufeln (2, 2') einen Kontaktpunkt (F) an der inneren Deckscheibe (3) mit einem bezüglich der Drehachse des Laufrades (1) kleineren Radius als die entsprechenden Kontaktpunkte (B) der benachbarten Laufradschaufeln (2) aufweisen.
  14. Laufrad nach einem der Ansprüche 5 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kontaktpunkt (F, B) zwischen Austrittskante (5, 5a) und innerer Deckscheibe (3) zumindest einer Laufradschaufel (2, 2') in axialer Richtung unterhalb der Mitte der Eintrittskante (4, 4a) dieser Laufradschaufel (2, 2') angeordnet ist.
  15. Laufrad nach einem der Ansprüche 5 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass bezüglich der Drehrichtung des Laufrades (1) die Kontaktpunkte (A, D) der Ein- und Austrittskante (4, 4a, 5, 5a) an der äußeren Deckscheibe (6) zumindest einer Laufradschaufel (2, 2') vor den entsprechenden Kontaktpunkten (B, C, F, G) der Ein- und Austrittskante (4, 4a, 5, 5a) an der inneren Deckscheibe (3) dieser Laufradschaufel (2, 2') angeordnet sind.
  16. Laufrad nach einem der Ansprüche 5 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass bezüglich der Drehachse des Laufrades (1) der zirkumferentielle Abstand  $\Phi_A$  zwischen den Kontaktpunkten (A, B, F) der Austrittskante (5, 5a) an der äußeren (6) und inneren Deckscheibe (3) zumindest einer Laufradschaufel (2, 2') größer als der zirkumferentielle Abstand  $\Phi_E$  zwischen den Kontaktpunkten (D, C, G) der Eintrittskante (4, 4a) an der äußeren (6) und inneren Deckscheibe (3) dieser Laufradschaufel (2, 2') ist.
  17. Laufrad nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zirkumferentielle Abstand  $\Phi_A$  zwischen den Kontaktpunkten (A, B, F) der Austrittskante (5, 5a) an der äußeren (6) und inneren Deckscheibe (3) zumindest einer Laufradschaufel (2, 2') größer  $10^\circ$ , vorzugsweise größer  $15^\circ$ , ist.
  18. Verfahren zur Herstellung eines Laufrades (1) einer hydraulischen Maschine, vorzugsweise vom Überdrucktyp, wie z.B. eine Francis-Turbine, Francis-Pumpturbine oder Radial- bzw. Diagonalpumpe, mit einer Anzahl von Laufradschaufeln (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Teil (2a) zumindest einer Laufradschaufel (2) an einer Laufradhaube (10) befestigt wird, zumindest ein weiterer Teil dieser Laufradschaufel (2) an einer Laufradnabe (9) befestigt wird und im Anschluss daran die Laufradhaube (10) mit der Laufradnabe (9), vorzugsweise lösbar, verbunden wird, sodass die einzelnen Laufradschaufelteile eine im Wesentlichen durchgängige Laufradschaufel (2) ausbilden.
  19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Laufradschaufelteile, vorzugsweise lösbar, miteinander verbunden werden.
  20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laufradschaufelteile vorab als Einzelteile gefertigt werden und im Anschluss daran mit der Laufradhaube (10) bzw. Laufradnabe (9) verschweißt werden.
  21. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Laufradschaufelteile mit der Laufradhaube (10) bzw. Laufradnabe (9) als ein Teil gegossen werden und gegebenenfalls im Anschluss daran mit einem Oberflächenbearbeitungsverfahren, wie, z.B. Schleifen oder Polieren, bearbeitet werden.

HIEZU 3 BLATT ZEICHNUNGEN

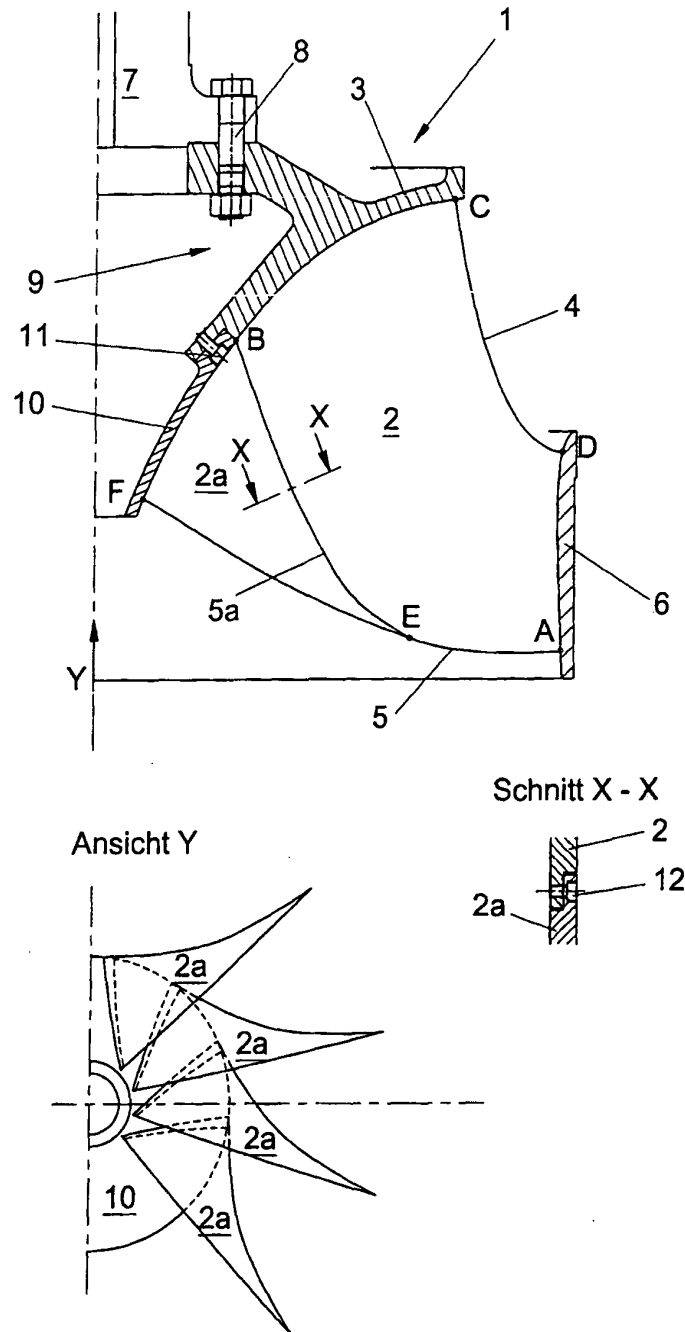


Fig. 1



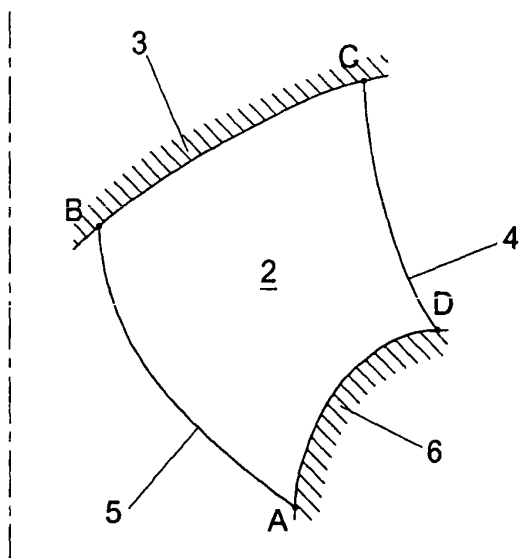


Fig. 2

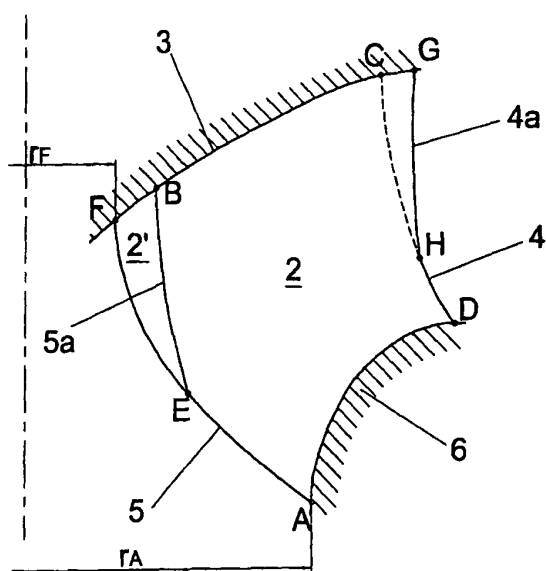
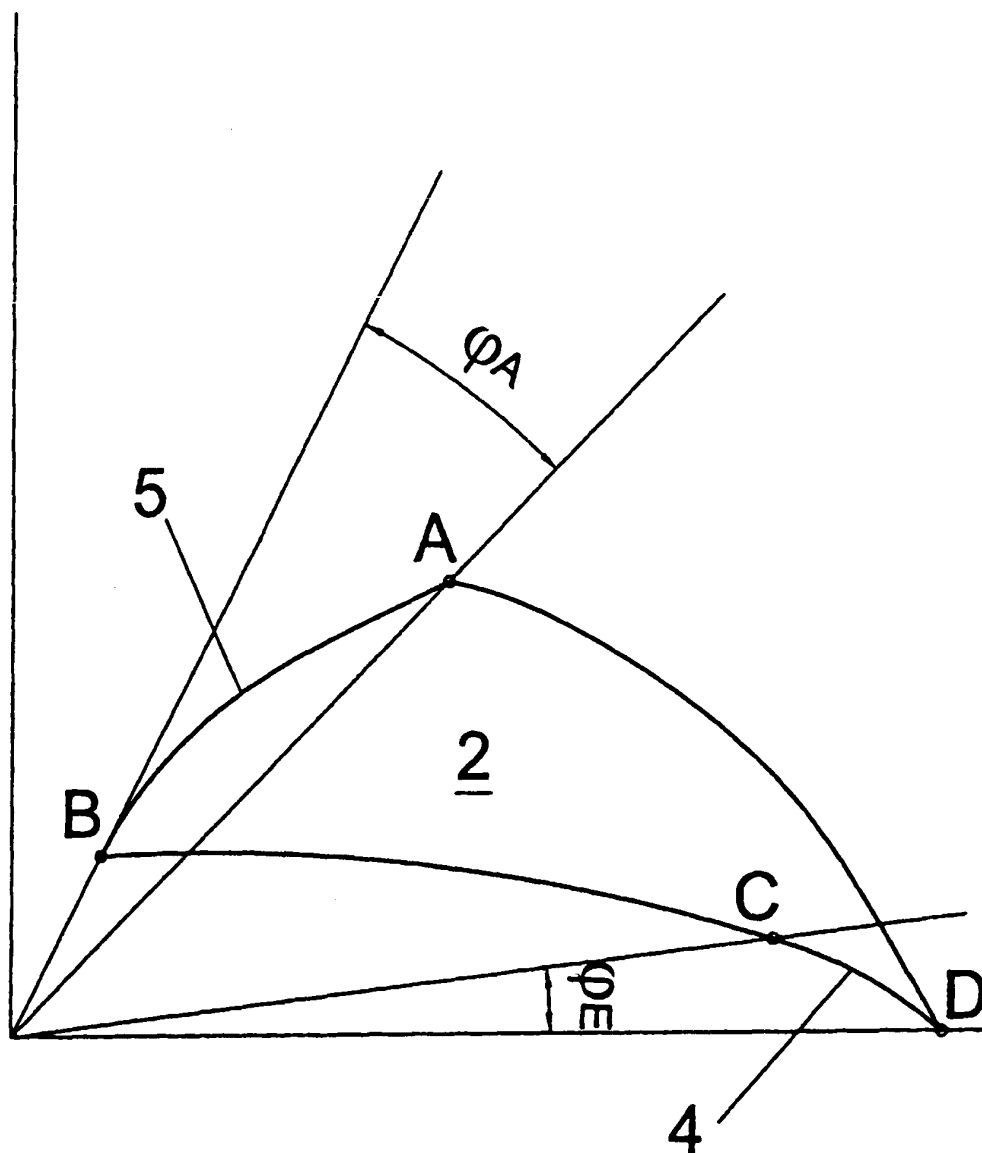


Fig. 3



**Fig. 4**