



(11)

EP 4 001 659 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.05.2022 Patentblatt 2022/21

(21) Anmeldenummer: **20207773.1**

(22) Anmeldetag: **16.11.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 29/28 ^(2006.01) **F04D 29/30** ^(2006.01)
F04D 29/68 ^(2006.01) **F01D 5/04** ^(2006.01)
F01D 5/14 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 29/284; F01D 5/048; F01D 5/145;
F04D 29/30; F04D 29/681; F05D 2220/40;
F05D 2250/14; F05D 2250/16; F05D 2250/17;
F05D 2260/941

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **BMTS Technology GmbH & Co. KG**
70376 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder: **Wackenhut, Thomas**
70469 Stuttgart (DE)

(74) Vertreter: **Herrmann, Jochen**
Patentanwalt
European Patent Attorney
Königstrasse 30
70173 Stuttgart (DE)

(54) **SCHAUFELRAD, INSBESONDERE VERDICTERRAD ODER TURBINENRAD, MIT SCHAUFELN MIT EINER FUSSAUSRUNDUNG**

(57) Die Erfindung betrifft ein Schaufelrad, insbesondere Verdichterrad (30) oder Turbinenrad (20), vorzugsweise für einen Gasverdichter oder Turbolader, mit einem Grundkörper (32), der eine Strömungsseite (32.3) und gegenüberliegend der Strömungsseite (32.3) eine Rückseite (32.1) aufweist, wobei auf der Strömungsseite (32.3) eine Strömungsfläche (33) gebildet ist, wobei von der Strömungsfläche (33) Schaufeln (35) abstehen, wobei die Schaufeln (35) über einen Verbindungsabschnitt (36) einteilig mit der Strömungsfläche (33) verbunden sind, wobei eine Rotationsachse (R) des Schaufelrads sich zwischen der Strömungs- und der Rückseite (32.3, 31.1) erstreckt, wobei zwischen zumindest zwei benachbarten Schaufeln (35) ein Strömungskanal (34) mit einem Kanalboden (34.1) gebildet ist, wobei die Schaufeln (35) jeweils eine Druckseite (35.3) und eine der Druckseite gegenüberliegende Saugseite (35.2) aufweisen, wobei eine der benachbarten Schaufeln (35) den Strömungskanal (34) mit ihrer Druckseite (35.3) und die andere der benachbarten Schaufeln (35) den Strömungskanal (34) mit ihrer Saugseite (35.2) begrenzt, und wobei der Verbindungsabschnitt (36) im Übergang vom Kanalboden (34.1) zu der Druckseite (35.3) der einen Schaufel (35) und/oder im Übergang vom Kanalboden (34.1) zu der Saugseite (35.2) der benachbarten Schaufel (35) eine sich längs des Verbindungsabschnitts (36) erstreckende kehlenförmige Oberflächenkontur (36.1) bildet. Für eine verbesserte Anbindung der Schaufel (35) an den Grundkörper (32) ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass

bei einem Schnitt durch zumindest eine der Schaufeln (35), mit einem Schnittverlauf senkrecht zu einer Mittelpunktslinie einer an der Schaufel (35) und dem Kanalboden (34.1) abgerollten Abrollkugel die Oberflächenkontur (36.1) so gestaltet ist, dass sie in Verbindungspunkten (P, Q) stetig differenzierbar in die Saugseite (35.2) und den Kanalboden (34.1) übergeht und/oder dass die Oberflächenkontur (36.1) so gestaltet ist, dass sie in Verbindungspunkten (P, Q) stetig differenzierbar in die Druckseite (35.3) und den Kanalboden (34.1) übergeht, dass zwei Tangenten (T1, T2), die durch die Verbindungspunkte (P, Q) verlaufen einen Schnittpunkt (D) bilden, dass zwischen den Verbindungspunkten (P, Q) eine virtuelle Verbindungslinie (V) gebildet ist, dass die Oberflächenkontur (36.1) einen Scheitelpunkt (S) zwischen den Verbindungspunkten (P, Q) bildet, dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie (V) gebildete erste Abstandslinie, die durch den Scheitelpunkt (S) verläuft, zwischen dem Scheitelpunkt (S) und der virtuellen Verbindungslinie (V) ein erstes Abstandsmaß (VS) bildet, dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie (V) gebildete zweite Abstandslinie, die durch den Schnittpunkt (D) der Tangenten (T1, T2) verläuft, zwischen dem Schnittpunkt (D) und der virtuellen Verbindungslinie (V) ein zweites Abstandsmaß (VD) bildet, und dass ein Geometrieparameter (GP), der durch das Verhältnis des ersten Abstandsmaß (VS) zu dem zweiten Abstandsmaß (VD) bestimmt ist, im Bereich von 0,3 bis 0,7 gewählt ist.

EP 4 001 659 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Schaufelrad, insbesondere ein Verdichterrad oder ein Turbinenrad, vorzugsweise für einen Gasverdichter, Turbolader, insbesondere einen Abgasturbolader.

[0002] Das erfindungsgemäße Schaufelrad weist einen Grundkörper auf, der eine Strömungsseite und gegenüberliegend der Strömungsseite eine Rückseite aufweist, wobei auf der Strömungsseite eine Strömungsfläche gebildet ist, wobei von der Strömungsfläche Schaufeln abstehen, wobei die Schaufeln über einen Verbindungsabschnitt einteilig mit der Strömungsfläche verbunden sind, wobei eine Rotationsachse des Schaufelrads sich zwischen der Strömungs- und der Rückseite erstreckt, wobei zwischen zumindest zwei benachbarten Schaufeln ein Strömungskanal mit einem Kanalboden gebildet ist, wobei die Schaufeln jeweils eine Druckseite und eine der Druckseite gegenüberliegende Saugseite aufweisen, wobei eine der benachbarten Schaufeln den Strömungskanal mit ihrer Druckseite und die andere der benachbarten Schaufeln den Strömungskanal mit ihrer Saugseite begrenzt, und wobei der Verbindungsabschnitt im Übergang vom Kanalboden zu der Druckseite der einen Schaufel und/oder im Übergang vom Kanalboden zu der Saugseite der benachbarten Schaufel eine sich längs des Verbindungsabschnitts erstreckende kehlenförmige Oberflächenkontur bildet.

[0003] Verdichterräder weisen Schaufeln mit einer in Drehrichtung weisenden Druckseite und einer entgegen der Drehrichtung weisenden Saugseite auf.

[0004] Turbinenräder weisen Schaufeln mit einer in Drehrichtung weisenden Saugseite und einer entgegen der Drehrichtung weisenden Druckseite auf.

[0005] Immer höhere Drehzahlen von Schaufelrädern in Gasverdichtern, insbesondere in Turboladern führen infolge der damit steigenden Fliehkraft zu immer höheren Beanspruchungen aller rotierenden Bauteile. Diese treten bei Verdichterrädern vor allen Dingen in verschiedenen Bereichen des Verbindungsabschnitts, also dem Übergang der Strömungsfläche zur Schaufel auf.

[0006] Bei Turboladern ist es gängige Praxis für die Schaufelanbindung den Verbindungsabschnitt in Form einer Kehle auszuformen, deren Geometrie durch das Abrollen einer gedachten Kugel zwischen der Druck- bzw. der Saugseite und des Kanalbodens entsteht.

[0007] Genügen die mit einer bestimmten Geometrie dimensionierten Verbindungsabschnitte den gestellten Festigkeitsanforderungen nicht mehr, so wird eine neue Oberflächenkontur des Verbindungsabschnitts gestaltet, wobei zumindest lokal ein anderer, meist größerer Kugeldurchmesser der gedachten Kugel gewählt wird.

[0008] Problematisch ist hierbei beispielsweise, dass eine konstruktive Vergrößerung des saugseitigen Schaufelanbindungsradius zwar lokal zu einer Verbesserung, d.h. zu einer lokalen Reduktion des Beanspruchungsniveaus führt, dies aber auch zusätzliche Masse auf großem Durchmesser bedeutet. Bei in Umfangsrichtung bereichsweise überlappenden Schaufeln führt diese zusätzliche Masse wiederum zu einer erhöhten Beanspruchung der Schaufelanbindung der Druckseite der angrenzenden Schaufel, die mit der ersten Schaufel den Strömungskanal bildet.

[0009] Somit ergibt sich ein Optimierungsproblem, bei dem der Entwickler durch Variation des Schaufelanbindungsradius versucht die Beanspruchungen von Druck- und Saugseite in ein geeignetes Verhältnis zu bringen. Erreichen die Beanspruchungen von Druck- und Saugseite ein Verhältnis, das zur gleichen Lebensdauer an beiden Orten führt, so hat der Entwickler nur noch einen sehr eingeschränkten Spielraum bei der Gestaltung der Schaufelanbindung und es muss oft auf andere Mittel zurückgegriffen werden, z.B. die Verwendung eines höherwertigeren, aber teureren Materials.

[0010] Die Problematik von Verdichterrädern lässt sich grundsätzlich analog auf Turbinenräder übertragen. Bei Turbinenrädern entsteht zusätzlich häufig an der engsten Stelle des Strömungskanals zwischen den Schaufeln eine erhöhte Belastung. Hier lassen sich die Spannungen oft mit den herkömmlichen Verfahren zur Dimensionierung des Verbindungsabschnitts nicht ausreichend reduzieren, weil der Platz zwischen den Schaufeln nicht ausreicht, um den Radius der Oberflächenkontur des Verbindungsabschnitts zu vergrößern. Damit besteht auch bei leistungsfähigen Turbinenrädern ein Bedürfnis, die Verbindungen zwischen den Schaufeln und der Strömungsfläche zu verbessern.

[0011] Ein weiteres Problem hinsichtlich der Lebensdauer von Verdichterrädern entsteht durch das Aufbringen einer Beschichtung, z.B. in Form einer Umwandlungsschicht. Aufgrund von in der Oberfläche der Beschichtung vorhandenen Materialdefekten wie Mikrokerben, Porositäten etc., kann die Lebensdauer des Verdichterrades signifikant herabgesetzt werden. Anders ausgedrückt heißt dies, dass die Beanspruchungen der Beschichtung maßgeblich für die Lebensdauer des Verdichterrades sind. Die Lebensdauer eines beschichteten Schaufelrades kann somit signifikant verbessert werden, wenn die Beanspruchungen des beschichteten Schaufelrades, und damit der Beschichtung reduziert werden können.

[0012] Üblicherweise werden Verdichterräder, beispielsweise von Turboladern, mit Kugelfräsern hergestellt, welche zum Erstellen der Schaufelanbindung so orientiert werden, dass die kugelige Frässpitze die Schaufel und die Nabe gleichzeitig berührt. Es entsteht also die bereits oben beschriebene Abrollkugelgeometrie. Dies ist eine schnelle und kostengünstige Lösung.

[0013] Kreisrunde, durch das oben beschriebene Abrollkugelverfahren definierte, Schaufelanbindungen sind für die meisten Verdichter- und Turbinenräder eine kostengünstige und ausreichende Lösung. Wenn aber die Beanspruchungen sehr hoch sind, so werden die Nachteile dieser Schaufelanbindung sichtbar. Die starke Querschnittszunahme bei An-

näherung an die theoretische Stoßlinie von Druck- oder Saugseite zum Kanalboden führt bei Schaufelanbindungen mit einem Radius zu einer Spannungskonzentration im Auslauf des Rundungsbereiches, typischerweise, aber nicht immer, am Auslauf zum Kanalboden. Diesem Problem kann in gewissem Maße durch einen über die Länge der Stoßlinie veränderlichen Abrollkugeldurchmesser begegnet werden. Das generelle Problem bleibt aber bestehen. Im Falle von

5 Turbinenrädern sind die Schaufeln häufig so nah beieinander, dass eine Vergrößerung des Schaufelanbindungsradius nicht möglich ist und die einzigen Möglichkeiten darin bestehen, die Nabe radial zu vergrößern oder eine Schaufel zu entfernen um Platz für eine vergrößerte Schaufelanbindung zu schaffen.

[0014] JP 2006 226199 A offenbart eine Schaufelanbindung, die die stärkste Krümmung der kehlenförmigen Oberflächenkontur im Bereich ihres Scheitels aufweist und deren Krümmung von dort aus kontinuierlich zur Schaufel und zum Kanalboden hin abnimmt. Somit wird in diesen Übergängen ein krümmungsstetiger Übergang geschaffen. Eine solche Schaufelanbindung ist daher eine gute Lösung um Spannungsspitzen zu reduzieren. Allerdings ist die verwendete Geometrie der Oberflächenkontur eine auf den individuellen Anwendungsfall abgestimmte Freiformfläche, die komplex in der Herstellung ist.

[0015] US 2015 316 073 A1 offenbart ein weiteres bekanntes Verdichterrad. Die Art der Schaufelanbindung ist hier nicht näher konkretisiert.

[0016] US 8 721 287 B2 offenbart eine Schaufelanbindung, bei der die Oberflächenkontur des Verbindungsabschnitts eine elliptische Form aufweist. Es wird vorgeschlagen, die lange Achse der Ellipse parallel zur Schaufel oder senkrecht dazu anzuordnen. Damit wird zwar ein sanfterer Übergang vom Kanalboden zur Schaufel erreicht. Gleichzeitig ergibt sich allerdings eine Materialaufdickung, also eine Massenkonzentration, welche sich negativ auf andere in radialer Richtung dieser Verstärkung liegende Bereiche des Verdichterrads auswirken.

[0017] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Schaufelrad der eingangs erwähnten Art bereitzustellen, welches eine hochbelastbare Schaufelanbindung an die Strömungsfläche bereitstellt.

[0018] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Erfindungsgemäß kann es mithin vorgesehen sein, dass in einem Querschnitt durch zumindest eine der Schaufeln quer zur Längserstreckung der Schaufel die Oberflächenkontur in der Querschnittsebene so gestaltet ist, dass sie in Verbindungspunkten stetig differenzierbar in die Saugseite und den Kanalboden übergeht und/oder dass die Oberflächenkontur in der Querschnittsebene so gestaltet ist, dass sie in Verbindungspunkten stetig differenzierbar in die Druckseite und den Kanalboden übergeht, dass zwei Tangenten die durch die Verbindungspunkte in dieser Querschnittsebene verlaufen, einen Schnittpunkt bilden, dass zwischen den Verbindungspunkten eine virtuelle Verbindungslinie gebildet ist, dass die Oberflächenkontur einen Scheitelpunkt zwischen den Verbindungspunkten bildet, dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie gebildete erste Abstandslinie, die durch den Scheitelpunkt verläuft, zwischen dem Scheitelpunkt und der virtuellen Verbindungslinie ein erstes Abstandsmaß bildet, dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie gebildete zweite Abstandslinie, die durch den Schnittpunkt der Tangenten verläuft, zwischen dem Schnittpunkt und der virtuellen Verbindungslinie ein zweites Abstandsmaß bildet, und dass ein Geometrieparameter, der durch das Verhältnis des ersten Abstandsmaßes zu dem zweiten Abstandsmaß bestimmt ist, im Bereich von 0,3 bis 0,7 gewählt ist. Der Scheitelpunkt ist dabei der Punkt auf der Oberflächenkontur in der Querschnittsebene, in dem diese die größte Krümmung aufweist, bzw. diese eine Symmetrieachse schneidet.

[0019] Mittels der tangentialen Übergänge ermöglicht der erfindungsgemäße Verbindungsabschnitt die Gestaltung eines spannungsoptimierten Querschnittsverlaufs. Insbesondere können dadurch Kerbspannungen in diesen Bereichen verringert oder verhindert werden.

[0020] Weiterhin wird durch den erfindungsgemäßen Geometrieparameter eine Oberflächenkontur gestaltet, die hoch belastbar ist, gleichzeitig aber nur eine kleine Querschnittsfläche benötigt. Damit wird auch wenig Masse im Bereich des Verbindungsabschnitts benötigt. Auf diese Weise wird das Massenträgheitsmoment gegenüber bekannten Lösungen reduziert.

[0021] Die Reduzierung der Masse wirkt sich nicht nur auf den unmittelbaren Nahbereich des Verbindungsabschnitts vorteilhaft aus, sondern auch im durch die Fliehkraft beeinflussten Fernbereich des Verbindungsabschnitts. Insbesondere können auch hier die Spannungen bei schnell drehenden Schaufelrädern durch die geringere Masse im radial äußeren Bereich des Schaufelrades signifikant reduziert werden. Zum Beispiel kann in Bereichen, die in der gleichen radialen Faser liegen wie der Verbindungsabschnitt, eine deutliche Verringerung der Fliehkräfte erreicht werden. Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass die Auswirkungen so groß sind, dass sie den Einsatz eines alternativen Werkstoffes mit größerer Festigkeit oftmals überflüssig machen.

[0022] Wenn das Schaufelrad eine die Rotationsachse bildende Bohrung aufweist, so ist diese Bohrung bei schnell drehenden Schaufelrädern stark belastet. Da mit der Erfindung Masse eingespart wird, lässt sich auch die Belastung der Bohrung reduzieren und damit deren Lebensdauer steigern.

[0023] Aufgrund der erheblich gesteigerten Festigkeit des Verbindungsabschnitts lassen sich größere Drehzahlen verwirklichen. Zudem kann auf Schaufel-Geometrien zurückgegriffen werden, die besonders effektiv geformt sind und die mit den herkömmlichen Verbindungsabschnitten bei schnell laufenden Schaufelrädern nicht zuverlässig angebunden werden können. Mit dem erfindungsgemäß gestalteten Verbindungsabschnitt lassen sich diese hoch effektiven Schau-

felräder nun verwenden und sich damit insgesamt die Leistungsfähigkeit in Form von Wirkungsgrad, Druckaufbau und Durchsatz des Schaufelrads erheblich steigern.

[0024] Für die neuartige Oberflächenkontur wird bei höherer Belastbarkeit eine geringere Querschnittsfläche für den Verbindungsabschnitt benötigt. Hierdurch vergrößert sich gleichzeitig die freie Querschnittsfläche im Strömungskanal und damit der Durchsatz gegenüber den bekannten Lösungen mit den herkömmlich gestalteten Oberflächenkonturen.

[0025] Insgesamt können erfindungsgemäß Laufräder mit kleinerem Massenträgheitsmoment und/oder besseren thermodynamischen Eigenschaften gestaltet werden.

[0026] Gemäß der Erfindung kann es so sein, dass bei einem Schnitt, der durch zwei sich schneidende Geraden definiert ist, von denen die eine senkrecht auf der Druckseite oder der Saugseite der Schaufel durch den ersten Verbindungspunkt und die andere senkrecht auf dem Kanalboden durch den zweiten Verbindungspunkt steht, die Oberflächenkontur in dieser Querschnittsebene so gestaltet ist, dass sie in den Verbindungspunkten stetig differenzierbar in die Saugseite oder die Druckseite bzw. den Kanalboden übergeht. In anderen Worten wird eine Querschnittsebene senkrecht zu einer Schnittkurve von zwei sich schneidenden Flächen gebildet, von denen die erste Fläche durch einen Versatz der Druckseite oder der Saugseite der Schaufel mit konstantem Abstand zur Druckseite bzw. Saugseite der Schaufel und die zweite Fläche durch einen Versatz des Kanalbodens mit konstantem Abstand zum Kanalboden gebildet wird und der Versatz in den Strömungskanal hinein erfolgt, d.h. nicht in das Material hinein, sondern aus diesem heraus.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltungsvariante der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass der Geometrieparameter, der durch das Verhältnis des ersten Abstandsmaßes zu dem zweiten Abstandsmaß bestimmt ist, im Bereich von 0,4 bis 0,6 gewählt ist. Hierdurch wird eine in besonderer Weise beanspruchungsoptimierte Konstruktion erreicht.

[0028] Gemäß der Erfindung kann es weiterhin vorgesehen sein, dass die Oberflächenkontur zumindest bereichsweise die Form eines Kegelschnitts oder zumindest bereichsweise die Form einer Linearkombination von Kegelschnitten aufweist. Wird die Oberflächenkontur von einem einzigen Kegelschnitt, beispielsweise einer Ellipse, einer Parabel oder einer Hyperbel gebildet, so lässt sich die Oberflächenkontur vergleichsweise einfach fertigen, gleiches gilt häufig für Linearkombinationen von Kegelschnitten. Grundsätzlich ist es auch vorstellbar, dass Abschnitte von Kegelschnitten oder Abschnitte von Linearkombinationen von Kegelschnitten zu einer Gesamtkontur zusammengesetzt werden. Auch diese Konturen lassen sich noch verhältnismäßig einfach in mechanischer Bearbeitung erstellen.

[0029] Gemäß einer besonders bevorzugten Erfindungsvariante ist es vorgesehen, dass die die Oberflächenkontur erzeugende Ellipse die Form einer stark gestreckten Ellipse, mit einem Verhältnis der großen Halbachse zu der kleinen Halbachse:

große Halbachse/kleine Halbachse

größer oder gleich 5, vorzugsweise größer oder gleich 10 aufweist.

[0030] Eine solche Gestaltung eignet sich insbesondere für Verdichterräder zur Gasverdichtung, insbesondere für den Einsatz in Turboladern. Insbesondere eignet sich diese Gestaltung bei Verdichterrädern, die üblicherweise gekippt angeordnete Schaufeln verwenden, die im Bereich der Austrittskante des Strömungskanals im Bereich von 30 bis 60° zur Senkrechten (parallel zur Rotationsachse) ausgestaltet sind.

[0031] Denkbar ist es auch, dass die Oberflächenkontur die Form einer Hyperbel, vorzugsweise einer gemäßigten Hyperbel, aufweist. Bei Hyperbeln und insbesondere bei gemäßigten Hyperbeln wird ein gutes Verhältnis zwischen einem spannungsoptimierten Ergebnis und einem kleinen Querschnitt des Verbindungsabschnitts erreicht.

[0032] Denkbar ist es auch, dass die Oberflächenkontur die Form einer Parabel aufweist. Eine solche Geometrie führt hinsichtlich einer spannungsoptimierten Bauweise zu einem sehr guten Kompromiss, insbesondere wenn saug- und druckseitig eine erfindungsgemäße Oberflächenkontur gestaltet ist.

[0033] Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Oberflächenkontur eine durchgängige Fläche bildet, die zumindest in Teilbereichen den Geometrieparameter aufweist. Insbesondere kann in den hochbelasteten Verbindungsbereichen entlang der Längserstreckung der Schaufeln ein entsprechender Geometrieparameter gestaltet werden.

[0034] Wenn vorgesehen ist, dass der Kanalboden und die Saugseite und/oder der Kanalboden und die Druckseite im Bereich der Oberflächenkontur miteinander einen (saugseitigen bzw. druckseitigen) Anbindungswinkel einschließen und dass die Oberflächenkontur zumindest in einem Teilbereich symmetrisch zu der Winkelhalbierenden dieses Anbindungswinkels ausgebildet ist, oder dass die Verbindungspunkte vom Schnittpunkt den gleichen Abstand haben, dann lässt sich die Oberflächenkontur relativ einfach fertigen und es wird keine der Begrenzungen (Schaufel oder Kanalboden) bei der Lastverteilung bevorzugt.

[0035] Denkbar ist es jedoch auch, dass der Kanalboden und die Saugseite und/oder der Kanalboden und die Druckseite im Bereich der Oberflächenkontur miteinander einen saugseitigen bzw. druckseitigen Anbindungswinkel einschließen und dass die Oberflächenkontur zumindest in einem Teilbereich symmetrisch zu einer Symmetrieachse ist, die nicht die Winkelhalbierende dieses Anbindungswinkels ist, oder dass die Verbindungspunkte vom Schnittpunkt einen

unterschiedlichen Abstand haben. Auf diese Weise werden die Spannungen der Schaufeln und des den Kanalboden bildenden Bereichs nicht gleichwertig behandelt, sondern eine Seite der anderen vorgezogen. Mit anderen Worten können dann die Beanspruchungen teilweise in einen anderen Bereich verlagert und damit deren Maxima reduziert werden. Dies kann insbesondere sinnvoll sein, wenn stark unterschiedliche Beanspruchungen an der Schaufel und dem Kanalboden vorliegen.

[0036] Es kann auch vorgesehen sein, dass die Symmetrieachse der Oberflächenkontur gegenüber der Winkelhalbierenden des Anbindungswinkels verkippt ist.

[0037] Hierbei kann es insbesondere vorgesehen sein, dass der Scheitelpunkt der Oberflächenkontur zwischen der Winkelhalbierenden des Anbindungswinkels und dem Kanalboden angeordnet ist. Somit wird der Übergangsbereich der Oberflächenkontur zur Schaufel querschnittsmäßig verstärkt.

[0038] Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass der Scheitelpunkt der Oberflächenkontur zwischen der Winkelhalbierenden des Anbindungswinkels und einer Schaufel angeordnet ist. Somit wird der Übergangsbereich der Oberflächenkontur zum Kanalboden querschnittsmäßig verstärkt.

[0039] Vorzugsweise sollte die Symmetrieachse, die nicht von der Winkelhalbierenden gebildet wird dabei in einem Winkelbereich liegen, der $\pm 40\%$, vorzugsweise $\pm 15\%$ des zwischen der Schaufel und dem Kanalboden eingeschlossenen Anbindungswinkels entspricht und von der Winkelhalbierenden zwischen der Schaufel und dem Kanalboden gemessen wird. Auf diese Weise kann effektiv entweder der Übergangsbereich zwischen der Oberflächenkontur und der Schaufelseite auf der Druck- oder der Saugseite oder der Übergangsbereich zwischen der Oberflächenkontur und dem Kanalboden verstärkt werden, je nachdem, wie die Symmetrieachse gegenüber der Winkelhalbierenden verkippt ist bzw. ob der Scheitelpunkt der Oberflächenkontur zwischen der Winkelhalbierenden des Anbindungswinkels und dem Kanalboden oder zwischen der Winkelhalbierenden des Anbindungswinkels und einer Schaufel angeordnet ist.

[0040] Ein besonders effektiv arbeitendes Schaufelrad kann so gestaltet sein, dass der Kanalboden der Strömungsfläche zumindest in einem Teilbereich konkav in Richtung der Längserstreckung der Schaufeln, die an den Kanalboden anschließen, ausgebildet ist. Besonders bevorzugt kann der Kanalboden dabei trompetenförmig verlaufen.

[0041] Eine alternative Schaufelanbindung eines erfindungsgemäßen Schaufelrades kann derart gestaltet sein, dass die Oberflächenkontur in den an die Verbindungspunkte anschließenden Bereichen elliptisch, parabolisch oder hyperbolisch ausgebildet ist, und dass die Oberflächenkontur in dem durch den Scheitelpunkt verlaufenden Bereich eine geometrisch abweichende Form aufweist, insbesondere eine Kontur, die einem Kreisabschnitt folgt.

[0042] Eine weitere alternative Schaufelanbindung eines erfindungsgemäßen Schaufelrades kann derart gestaltet sein, dass die Oberflächenkontur in einem ersten an einen der beiden Verbindungspunkte anschließenden Bereich elliptisch, parabolisch oder hyperbolisch ausgebildet ist, und dass die Oberflächenkontur in einem zweiten, an den anderen der beiden Verbindungspunkte anschließenden Bereich, eine geometrisch abweichende Form aufweist, insbesondere eine Kontur, die einem Kreisabschnitt folgt, und dass der erste und der zweite Bereich durch die Winkelhalbierende des Anbindungswinkels voneinander getrennt werden. Besonders bevorzugt kann die Oberflächenkontur einen stetigen, insbesondere einen tangentialstetigen Übergang vom ersten in den zweiten Bereich aufweisen.

[0043] Eine besonders hohe Leistungsfähigkeit, insbesondere bei Verdichterrädern, lässt sich dann erreichen, wenn vorgesehen ist, dass sich die Projektionen zumindest zweier benachbarter Schaufeln in eine Ebene senkrecht zur Rotationsachse zumindest bereichsweise überlappen, insbesondere wenn sich die Anbindungsbereiche zweier benachbarter Schaufeln in radialer Richtung überlappen. In anderen Worten schneidet eine radiale Ebene durch die Drehachse zumindest die Schaufelanbindungen zweier benachbarter Schaufeln.

[0044] Weiterhin kann ein erfindungsgemäßes Schaufelrad so gestaltet sein, dass zumindest zwei benachbarte Schaufeln eine unterschiedlich lange Schaufel-Längserstreckung in Längsrichtung des Strömungskanals aufweisen. Die Längsrichtung des Strömungskanals ist die Richtung, in der der Strömungskanal im Betrieb durchströmt wird.

[0045] Als Schaufelräder im Rahmen der Erfindung können insbesondere wirkungsvolle radiale oder diagonale Schaufelräder gestaltet werden.

[0046] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1: einen Abgasturbolader in Schnittdarstellung,

Figur 2: ein Verdichterrad des Abgasturboladers gemäß Figur 1 in perspektivischer Darstellung,

Figur 3: das Verdichterrad gemäß Figur 2 in Ansicht von hinten,

Figur 4: eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Schaufelanbindung in deren Querschnittsebene,

Figuren 5A bis 5C: alternative Gestaltungen des in Figur 4 dargestellten Bereichs des Verdichterrads in schematischer Darstellung,

Figur 6: das Verdichterrad gemäß den vorangegangenen Darstellungen in Frontansicht,

Figur 7: das Verdichterrad gemäß den vorangegangenen Darstellungen in einer perspektivischen Seitenansicht,

5 Figur 8: eine schematische Darstellung möglicher Oberflächenkonturen der Schaufelanbindung am Verdichterrad gemäß den Figuren 1 bis 7 und

Figur 9: eine schematische Darstellung einer gegenüber der Winkelhalbierenden verkippten Oberflächenkontur.

10 **[0047]** Figur 1 zeigt einen Abgasturbolader in Seitenansicht und im Schnitt, wobei das das Verdichterrad 30 umgebende Verdichtergehäuse und das das Turbinenrad 20 umgebende Turbinengehäuse nicht dargestellt sind. Der Abgasturbolader weist einen Rotor 10 mit einer Rotorwelle 11 auf. Das Verdichterrad 30 ist über die Rotorwelle 11 mit dem Turbinenrad 20 drehfest verbunden. Das durch Abgas angetriebene Turbinenrad 20 überträgt so Energie zur Kompression von Luft an das Verdichterrad 30. Das Verdichterrad 30 saugt die zu verdichtende Luft axial entlang der Richtung R an, und gibt die verdichtete Luft in radialer Richtung (senkrecht zu R) in das (nicht dargestellte) Verdichtergehäuse ab. Die Rotorwelle 11 besitzt einen Mittenabschnitt, der eine Verjüngung aufweisen kann. An seinem zum Verdichter weisenden Ende weist der Mittenabschnitt einen Anschlag 13 auf. Zwischen dem Anschlag 13 und der Verjüngung des Mittenabschnitts kann demzufolge ein umlaufender Bund 12 ausgebildet sein. Der Anschlag 13 kann vorzugsweise als Wellenschulter mit einer radial ausgerichteten Fläche ausgeführt sein, die ringförmig umläuft. Im Anschluss an den Bund 12 besitzt die Rotorwelle 11 verdichterseitig einen Stützabschnitt 14. Dieser kann in Form einer bearbeiteten umlaufenden Fläche ausgebildet sein. Der Stützabschnitt 14 geht in einen Wellenabschnitt 15 zur Aufnahme des Verdichterrades 30 über, der dann in einem Gewindeabschnitt 16 ausläuft.

20 **[0048]** Auf der dem Gewindeabschnitt 16 gegenüberliegenden Seite der Rotorwelle 11 kann vorzugsweise ein Lagerabschnitt 17 vorgesehen sein. Der Lagerabschnitt 17 kann durch Bearbeitung der Rotorwelle 11 von dieser gebildet sein. Der Lagerabschnitt 17 der Rotorwelle 11 weist eine umlaufende Lagerkontur auf.

25 **[0049]** Im Anschluss an den Lagerabschnitt 17 kann die Rotorwelle 11 einen Abweiser 18 in Form einer Ölschleuderscheibe, beispielsweise in Form einer Durchmesserergrößerung, aufweisen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Durchmesserergrößerung in Form eines umlaufenden Bunds ausgebildet. Der Abweiser 18 kann jedoch auch eine andere geeignete Kontur aufweisen die eine Öl-Leckage durch den Wellendurchtritt im Lagergehäuse wirkungsvoll verhindert oder zumindest reduziert.

30 **[0050]** Die Rotorwelle 11 kann auch eine Dichtungsaufnahme 19 aufweisen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind zwei Dichtungsaufnahmen 19, beispielsweise in Form von Kolbenringnuten, verwendet, die zueinander axial beabstandet angeordnet sind. In die Dichtungsaufnahmen 19 sind Kolbenringe eingesetzt. An dem dem Verdichterrad 30 gegenüberliegenden Ende der Rotorwelle 11 ist ein Turbinenrad 20 angeordnet. Das Turbinenrad 20 kann stoffschlüssig mit der Rotorwelle 11 verbunden sein.

35 **[0051]** Auf der dem Turbinenrad 20 abgewandten Seite besitzt der Rotor 10 ein Rotorteil 40. Dieses Rotorteil 40 besitzt ein Basisteil 41. In das Basisteil 41 kann beispielsweise wenigstens eine umlaufende Dichtungsaufnahme 42 in Form einer Kolbenringnut aufweisen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind zwei umlaufende Dichtungsaufnahmen 42 verwendet. In die Dichtungsaufnahme 42 sind ringförmige Dichtelemente 43 in Form von Kolbenringen eingesetzt.

40 **[0052]** Das Rotorteil 40 kann im Anschluss an das Basisteil 41 einen Lagerabschnitt 44 besitzen. Der Lagerabschnitt 44 bildet eine umlaufende Lagerkontur, die ähnlich oder baugleich mit der Lagerkontur 17 sein kann.

45 **[0053]** An seinem dem Bund 12 zugewandten Ende kann das Rotorteil 40 einen Ansatz 45 aufweisen. Die Stirnfläche des Ansatzes 45 ist radial ausgerichtet. Auf diese Weise liegt der Ansatz 45 endseitig flächig an dem Anschlag 13 des Bundes 12 an. Um die flächige Anlage zu garantieren, ist der Ansatz 45 innenseitig umlaufend angefast. Zudem ist im Anschluss an den Bund 12 zu diesem Zweck ein Freistich in die Rotorwelle 11 eingedreht.

[0054] Das Basisteil 41 weist in Fig. 1 links eine ringförmige und radial verlaufende Anlagefläche 48 auf. Diese Anlagefläche 48 ist mithin parallel zur Stirnfläche des Ansatzes 45, welche an dem Bund 12 anliegt.

50 **[0055]** Auf die Rotorwelle 11 wird im Bereich des Wellenabschnitts 15 ein Verdichterrad 30 aufgeschoben. Das Verdichterrad 30 liegt mit einer radial verlaufenden Anlagefläche an der Anlagefläche 48 des Rotorteils 40 an. Zur Fixierung des Rotorteils 40 und des Verdichterrads 30 ist eine Mutter 31 auf den Gewindeabschnitt 16 aufgeschraubt. Die Mutter 31 verspannt mithin das Verdichterrad 30 gegen das Rotorteil 40 und das Rotorteil 40 gegen den Anschlag 13. Auf diese Weise werden sowohl das Verdichterrad 30 als auch das Rotorteil 40 axial auf der Rotorwelle 11 festgelegt und daran in Umfangsrichtung unverdrehbar gehalten.

55 **[0056]** Wie Figur 1 erkennen lässt, besitzt der Abgasturbolader ein Gegen-Lagerteil 50, welches in ein Lagergehäuse 60 des Abgasturboladers eingesetzt ist. Das Gegen-Lagerteil besitzt ein Mittelteil 51. An den Mittelteil 51 schließen sich beidseitig Ansätze 53 an. Die beiden Ansätze 53 weisen jeweils eine umlaufende Lagerkontur auf. Diese umlaufende Lagerkontur ist komplementär zu der Lagerkontur, die durch das Rotorteil 40 bzw. den Lagerabschnitt 17 der Rotorwelle 11 gebildet ist, ausgeführt.

[0057] Um die in Figur 1 gezeigte vorgegebene Position des Gegen-Lagerteils 50 in dem Lagergehäuse 60 zu fixieren, ist ein Fixierelement 70 verwendet. Das Fixierelement 70 weist einen Halteabschnitt 72 auf. Dieser Halteabschnitt 72 greift in eine Fixieraufnahme 52 des Gegen-Lagerteils 50 ein. Zur Montage des Fixierelements 70 kann dieses durch einen Schmiermittel-Führungskanal 61 des Lagergehäuses 60 eingeführt werden. Um das Fixierelement 70 unverlierbar zu halten, kann es in dem Lagergehäuse 60 eingeschraubt, eingepresst oder mit einem Halteelement gesichert werden.

[0058] Figur 2 zeigt das Verdichterrad 30 in vergrößerter Darstellung. Wie diese Zeichnung erkennen lässt, besitzt das Verdichterrad 30 einen Grundkörper 32, der eine Nabe bildet. Der Grundkörper 32 weist eine Rückseite 32.1 auf, die als gewölbte, insbesondere konkave Fläche ausgebildet sein kann, wie dies Figur 1 näher veranschaulicht. Gegenüberliegend der Rückseite 32.1 besitzt das Verdichterrad 30 eine Strömungsseite 32.3. Umfangsseitig wird der Grundkörper 32 durch einen Umfangsrand U mit kreisförmigem Verlauf umlaufend begrenzt. Der Umfangsrand U kann vorzugsweise in die Rückseite 32.1 mittels eines verrundeten oder angefassten Randabschnitts 32.2 übergehen (siehe Figur 3).

[0059] Vorzugsweise verläuft die Strömungsfläche 33 auf der Strömungsseite 32.3 ausgehend von einem Nasenabschnitt 38 bis hin zum Umfangsrand U. Der Nasenabschnitt 38 kann, wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel, als Hohlzylinder ausgeführt sein, der einteilig mit dem Grundkörper 32 verbunden ist. Im Übergang zwischen dem Nasenabschnitt 38 und der Strömungsfläche 33 kann eine Fase vorgesehen sein.

[0060] Wie die Figuren 2 und 3 zeigen, ist der Grundkörper 32 von einem Durchbruch 37 durchdrungen, der vorzugsweise als Bohrung ausgebildet ist. Der Durchbruch 37 bildet eine zentrische Rotationsachse R (siehe Figur 3), die von der Rückseite 32.1 zur Strömungsseite 32.3 des Nasenabschnitts 38 verläuft.

[0061] Der Nasenabschnitt 38 bildet eine Druckfläche 38.1, die um den Durchbruch 37 herum ringförmig umläuft und die zur Anlage der Mutter 31 dient. Wie Figur 1 zeigt, liegt das Verdichterrad 30 mit einem Anlageabschnitt 39 der Rückseite 32.1 an der Anlagefläche 48 des Rotorteils 40 an.

[0062] Auf der Strömungsfläche 33 ist eine Vielzahl von Schaufeln 35 angeordnet, die über die Strömungsfläche 33 vorstehen. Die Schaufeln 35 sind jeweils über einen Verbindungsabschnitt 36 einteilig mit der Strömungsfläche 33 und damit mit dem Grundkörper 32 verbunden.

[0063] Wie Figur 2 veranschaulicht, können zwei Arten von Schaufeln 35 an einem Verdichterrad 30 verwendet sein. Beispielsweise können unterschiedlich lange Schaufeln 35 alternierend auf der Strömungsfläche 33 angeordnet sein. Grundsätzlich sind jedoch auch mehr als zwei Arten von Schaufeln an einem Verdichterrad denkbar.

[0064] Die Schaufeln 35 erstrecken sich vorzugsweise ausgehend vom Nasenabschnitt 38 in Richtung zum Umfangsrand U hin. Zumindest ein Teil der Schaufeln 35 verläuft dabei vorzugsweise gewandelt, sodass sich diese Schaufeln 35 in Umfangsrichtung auf der Strömungsfläche 33 erstrecken.

[0065] Die Schaufeln 35 weisen eine Druckseite 35.3 auf, die in Drehrichtung "rot" (siehe Figur 2) orientiert ist. Gegenüberliegend der Druckseite 35.3 weisen die Schaufeln 35 eine Saugseite 35.2 auf. Dieser Saugseite 35.2 ist entgegengesetzt zur Drehrichtung "rot" orientiert.

[0066] Gegenüberliegend dem Verbindungsabschnitt 36 schließen die Schaufeln 35 mit einer Kante ab, die einen radialen Endbereich 35.1 der Schaufeln 35 bildet. Im radial äußeren Randbereich des Grundkörpers 32 weisen die Schaufeln 35 eine die Strömungsfläche 33 in Umfangsrichtung begrenzende Abströmkante 35.4 und im dem Nasenabschnitt 38 zugewandten Endbereich eine (vordere) Anströmkante 35.5 auf.

[0067] Beispielsweise können die Abströmkanten 35.4 der Schaufeln 35 bündig in den Umfangsrand U des Grundkörpers 32 übergehen. Es ist jedoch auch denkbar, dass die Abströmkanten 35.4 der Schaufeln 35 zumindest teilweise über den Umfangsrand U des Grundkörpers 32 hinausragen, also ein sogenanntes "Extended Tip" bilden.

[0068] Zwischen zwei benachbarten Schaufeln 35 werden Strömungskanäle 34 gebildet. Der Strömungskanal 34 weist einen Kanalboden 34.1 auf, der von der Strömungsfläche 33 gebildet wird. An seinen Längsseiten ist der Strömungskanal 34 von den zugeordneten Seiten der Schaufeln 35 begrenzt. Entsprechend begrenzen eine Druckseite 35.3 einer ersten Schaufel 35 und eine Saugseite 35.2 einer benachbarten zweiten Schaufel 35 zusammen mit dem Kanalboden 34.1 den Strömungskanal 34. Auf der dem Kanalboden gegenüberliegenden Seite wird der Strömungskanal 34 durch eine das Verdichterrad 30 im Bereich des radialen Endbereichs 35.1 umgebende Kontur des Verdichtergehäuses gebildet.

[0069] Bei dem vorliegenden Verdichterrad 30 wird Luft über einen radial innen bzw. dem Nasenabschnitt 38 zugewandt liegenden Eintritt 34.3 zu einem radial äußeren Austritt 34.2 der Strömungskanäle 34 gefördert.

[0070] Bei der in der Figur 2 gezeigten Gestaltung, bei der unterschiedlich lange Schaufeln 35 verwendet werden, ist ein Strömungskanal 34 in zwei Strömungskanalabschnitte 34a und 34b unterteilt. Stromab des Eintritts 34.3 des Strömungskanals 34 und stromauf der Anströmkante 35.5 der kurzen Schaufeln 35 ist ein erster Strömungskanalabschnitt 34a ausgebildet, der in Umfangsrichtung von zwei langen Schaufeln 35 begrenzt ist. Stromab der Anströmkante 35.5 der kurzen Schaufeln 35 verzweigt sich der Strömungskanal 34 in zwei durch eine kurze Schaufel 35 voneinander getrennte Strömungskanalabschnitte 34b, die in Umfangsrichtung von jeweils einer kurzen Schaufel 35 und einer langen Schaufel 35 begrenzt sind. Zwischen benachbarten Schaufeln 35 ist ein Kanalboden 34.1 vorgesehen, der von einer Druckseite 35.3 einer ersten Schaufel 35 und einer Saugseite 35.2 einer zweiten Schaufel 35 begrenzt ist.

[0071] Die in den Figuren 2 und 3 schraffierten Bereiche zeigen die Haupt-Belastungsbereiche, in denen die stärksten Beanspruchungen im Verdichterrad 30 während des Betriebs zu erwarten sind: der Rückseite 32.1, den Verbindungsabschnitten 36 und den Schaufeln 35 im Bereich der Abströmkanten 35.4.

[0072] In Figur 4 ist die Gestaltung des Verbindungsabschnitts 36, mit dem eine oder mehrere, vorzugsweise alle Schaufeln 35 an den Grundkörper 32 einteilig angeschlossen ist/sind näher detailliert.

[0073] Figur 4 zeigt einen Schnitt durch eine der Schaufeln 35, mit einem Schnittverlauf in einer Querschnittsebene senkrecht zu einer Mittelpunktslinie einer an der Schaufel 35 und dem Kanalboden 34.1 abgerollten Abrollkugel. Wie die Darstellung veranschaulicht, gehen die Saugseite 35.2 und die Druckseite 35.3 in den Kanalboden 34.1 der anschließenden Strömungskanäle 34 über. Zumindest einer dieser Übergänge, vorzugsweise beide Übergänge werden dabei von einer erfindungsgemäßen Oberflächenkontur 36.1 gebildet.

[0074] Dementsprechend ist die Oberflächenkontur 36.1 so gestaltet, dass sie in Verbindungspunkten P, Q stetig differenzierbar in die Saugseite 35.2 und den Kanalboden 34.1 übergeht. Bzw. ist die Oberflächenkontur 36.1 so gestaltet, dass sie in Verbindungspunkten P, Q stetig differenzierbar in die Druckseite 35.3 und den anschließenden Kanalboden 34.1 übergeht.

[0075] Im Folgenden wird der Übergang zwischen der Druckseite 35.3 und dem anschließenden Kanalboden 34.1 anhand der Figur 4 näher erläutert. Analoge Ausführungen gelten auch für den Übergang der Saugseite 35.2 in den Kanalboden 34.1 des angrenzenden Strömungskanals 34.

[0076] Wie Figur 4 zeigt, können zwei Tangenten T1, T2, an die Verbindungspunkte P, Q angelegt werden. Diese beiden Tangenten T1, T2 bilden einen Schnittpunkt D im Bereich des Verbindungsabschnitts 36. Zwischen den Verbindungspunkten P, Q kann eine virtuelle Verbindungslinie V gebildet werden.

[0077] Der Verbindungsabschnitt 36 weist eine kehlenförmige Oberflächenkontur auf, die konkav ausgebildet ist. Entsprechend bildet die Oberflächenkontur 36.1 einen Scheitelpunkt S zwischen den Verbindungspunkten P, Q.

[0078] Figur 4 veranschaulicht, dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie V gebildete erste Abstandslinie, die durch den Scheitelpunkt S verläuft, zwischen dem Scheitelpunkt S und der virtuellen Verbindungslinie V ein erstes Abstandsmaß VS bildet. Eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie V gebildete zweite Abstandslinie, die durch den Schnittpunkt D der Tangenten T1, T2 verläuft, bildet zwischen dem Schnittpunkt D und der virtuellen Verbindungslinie V ein zweites Abstandsmaß VD. Erfindungsgemäß ist die Oberflächenkontur 36.1 so gestaltet, dass ein Geometrieparameter GP, der durch das Verhältnis des ersten Abstandsmaßes VS zu dem zweiten Abstandsmaß VD bestimmt ist:

$$VS : VD$$

im Bereich von 0,3 bis 0,7 gewählt ist. Vorzugsweise bildet dabei die Oberflächenkontur 36.1 eine durchgehende und stetig differenzierbare Kurve. Besonders bevorzugt ist diese Kurve als Parabel oder Hyperbel oder als Ellipse ausgebildet, wobei bei einer Ellipse das Verhältnis der großen Halbachse zu der kleinen Halbachse vorzugsweise im Bereich größer oder gleich 5 vorzugsweise im Bereich größer oder gleich 10 gewählt ist.

[0079] Bei Gasverdichtern, insbesondere Abgasturboladern, hat sich eine Gestaltung als besonders geeignet erwiesen, bei der die Oberflächenkontur 36.1 mit einem Geometrieparameter GP im Bereich zwischen 0,4 und 0,6 gestaltet ist.

[0080] In den Figuren 5A bis 5C sind verschiedene mögliche erfindungsgemäße Oberflächenkonturen 36.1 veranschaulicht. Figur 5a zeigt eine Oberflächenkontur 36.1, die von einer Ellipse gebildet wird. Figur 5b zeigt eine Ausführungsform, bei der die Oberflächenkontur 36.1 von einer Parabel gebildet wird. Figur 5c zeigt eine Ausführungsform, bei der die Oberflächenkontur 36.1 von einer Hyperbel gebildet wird.

[0081] Die Oberflächenkontur 36.1 erstreckt sich mit der erfindungsgemäßen Kurvengestaltung vorzugsweise über die gesamte Länge der Druckseite 35.3 und/oder der Saugseite 35.2. Es ist allerdings auch denkbar, dass diese erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 nur über einem Teilbereich der Längserstreckung des Verbindungsabschnitts 36 verwendet ist. Weiterhin ist es denkbar, dass sich die erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 entlang der Längserstreckung der Schaufel 35 geometrisch ändert.

[0082] Grundsätzlich gilt es die zulässigen Beanspruchungen in den Verbindungsabschnitten 36 nicht zu überschreiten. Die größte Beanspruchung entsteht aufgrund der Fliehkräfte typischerweise in einem radial äußeren Bereich der Verbindungsabschnitte 36 im Bereich der Abströmkanten 35.4. Wird der Verbindungsabschnitt 36 z.B. durch einen größeren Übergangsradius zwischen dem Kanalboden 34.1 und der Druckseite 35.3 und/oder der Saugseite 35.2 entsprechend einer Oberflächenkontur 36.1 aus dem Stand der Technik verstärkt, so hat dies einen nachteiligen Einfluss auf einen entlang einer radialen Richtung weiter innen gelegenen Verbindungsabschnitt 36 einer benachbarten Schaufel, bei dem die Beanspruchungsgrenze dann überschritten werden kann. Dementsprechend entsteht bei Verdichterrädern der gezeigten Art die Hauptbelastung hinsichtlich der Verbindungsabschnitte 36 an der druckseitigen Schaufelanbindung einer ersten Schaufel 35 (siehe Figur 6). Sie tritt in etwa dort auf, wo eine durch die Rotationsachse R radial durch die Mitte der Schaufelanbindung der Abströmkante 35.4, insbesondere durch die Mitte der saugseitigen Oberflächenkontur 36.1 im Bereich der Abströmkante 35.4, der in Rotationsrichtung "rot" vor der ersten Schaufel 35 gelegenen Nachbar-

schaufel 35 gezogene Gerade bzw. Ebene die druckseitige Schaufelanbindung der ersten Schaufel 35 schneidet. Entsprechend ist in Figur 6 dieser Bereich mit einem gestrichelt dargestellten Oval markiert.

[0083] Durch einen erfindungsgemäßen Verbindungsabschnitt 36 zumindest im radial äußeren Abschnitt eines Verbindungsabschnitts 36 einer Nachbarschaufel 35 können die Beanspruchungen in dem (druckseitigen) Verbindungsabschnitt 36 der ersten Schaufel 35 reduziert werden, wenn der Verbindungsabschnitt 36 der ersten Schaufel 35 im Bereich einer radialen Faser durch den radial äußeren Abschnitt eines Verbindungsabschnitts 36 der Nachbarschaufel 35 liegt. In Figur 6 ist der Verlauf einer solchen radialen Faser durch einen Pfeil entlang der radialen Richtung zur Drehachse beispielhaft gekennzeichnet. Durch gestrichelte Kreise beispielhaft dargestellt ist ein Abschnitt des Verbindungsabschnitts 36 der Nachbarschaufel 35, der einen Verbindungsabschnitt 36 einer ersten Schaufel 35 (gekennzeichnet durch ein gestrichelt dargestelltes Oval) beeinflusst. In Figur 7 ist ein Bereich des druckseitigen Verbindungsabschnitts 36 einer ersten Schaufel 35 scharffiert dargestellt, der entlang einer radialen Faser durch eine radial weiter außen gelegene, erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 des Verbindungsabschnitts 36 einer Nachbarschaufel 35 beeinflusst wird, dargestellt. In anderen Worten reduziert eine erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 sowohl die Beanspruchungen im Verbindungsabschnitt 36 der zugehörigen Schaufel 35, als auch die Beanspruchungen auf entlang einer radialen Richtung weiter innen gelegenen Verbindungsabschnitten 36 von benachbarten Schaufeln 35.

[0084] Wie Figur 6 zeigt, kann die Position dieses hoch beanspruchten Bereichs variieren, je nach Winkelverlauf der Schaufel 35, also der Erstreckung der Schaufel 35 in Umfangsrichtung, dem Anbindungswinkel zwischen Schaufel 35 und Kanalboden 34.1 und der konkreten Ausführung der Strömungskanäle 34, im Bereich der Abströmkante 35.4 der Schaufeln 35, muss also nicht exakt in Richtung einer radialen Faser durch die Mitte der Schaufelanbindung der Abströmkante 35.4 liegen. Bei gängigen Verdichterrädern für Turbolader der in den Zeichnungen gezeigten Bauart, variiert dieser hoch beanspruchte Bereich um $\pm 15^\circ$ in Umfangsrichtung um den beschriebenen Schnittpunkt. Meist ist dieser hoch beanspruchte Bereich entgegen der Drehrichtung "rot" zur radialen Faser durch die Abströmkante 35.4 verschoben.

[0085] In Figur 7 ist dieser um $\pm 15^\circ$ variierende Bereich schraffiert angedeutet. Vorzugsweise erstreckt sich die erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 zumindest über einen radial äußeren Abschnitt des Verbindungsabschnitts 36, so dass die Verbindungsabschnitte 36 die zulässigen Beanspruchungen nicht überschreiten.

[0086] In Figur 8 sind mögliche Oberflächenkonturen 36.1 veranschaulicht und einer Oberflächenkontur K gegenübergestellt, die sich durch das oben beschriebene Abrollverfahren ergibt, bei der also eine kreisförmige Verrundungsoberfläche gewählt ist.

[0087] Die strichpunktierten Oberflächenkonturen 36.1 werden von Hyperbeln gebildet. Die lang gestrichelte Oberflächenkontur 36.1 wird von einer Parabel gebildet. Die beiden kurz gestrichelten Oberflächenkonturen 36.1, die an die kreisförmige Oberflächenkontur K anschließen, werden von Ellipsen gebildet.

[0088] Die Darstellung veranschaulicht deutlich, dass mit den erfindungsgemäßen Gestaltungen Verbindungsabschnitte 36 gestaltet werden können, die einen deutlich geringeren Querschnitt aufweisen als solche Verbindungsabschnitte 36, die eine kreisförmige Oberflächenkontur K aufweisen. Dabei ist es so, dass mit den erfindungsgemäßen Oberflächenkonturen 36.1, obwohl weniger Material eingesetzt wird, sogar eine höhere Belastbarkeit erreicht werden kann, als mit der kreisförmigen Oberflächenkontur K.

[0089] Da eine geringere Masse für den Verbindungsabschnitt 36 benötigt wird, wird auch die Gesamt-Masse des Verdichterrads 30 reduziert. Da aber nun die erfindungsgemäße Verbindung eine höhere Belastbarkeit bietet als sie durch eine Oberflächenkontur K mit kreisförmiger Gestalt erreicht wird, ist auch eine größere Belastung der Schaufeln 35 möglich. Insbesondere lassen sich dann höhere Drehgeschwindigkeiten für das Verdichterrad 30 ermöglichen. Auch lassen sich effektiver gestaltete Schaufelgeometrien einsetzen, die mit einer kreisförmigen Oberflächenkontur K so nicht an den Grundkörper 32 ausreichend belastbar bzw. widerstandsfähig anbindbar wären. Dies wäre auch nicht möglich, wenn der Radius der kreisförmigen Oberflächenkontur K reduziert würde, sondern ist ausschließlich der Formgebung der erfindungsgemäßen Oberflächenkontur 36.1 zuzuschreiben.

[0090] Figur 8 veranschaulicht deutlich, dass aufgrund des geringeren Platzbedarfs des Verbindungsabschnitts 36 auch die freie Oberfläche im Strömungskanal 34 zugunsten einer verbesserten Leistungsfähigkeit vergrößert wird.

[0091] Eine symmetrische Oberflächenkontur 36 kann gemäß der Erfindung wie folgt konstruiert werden:

- Wie bei der im Querschnitt kreisförmigen Schaufelanbindung wird eine Kugel an der Schaufel- und der angrenzenden Nabenfläche abgerollt, wodurch zwei Berührlinien entstehen.
- Es wird senkrecht zur Mittelpunktskurve der Abrollkugel eine Querschnittsebene eingeführt.
- Die Querschnittsebene wird mit den Berührlinien der Abrollkugel geschnitten und die resultierenden Punkte P und Q mit einer virtuellen Verbindungslinie V verbunden.
- Auf der Querschnittsebene werden durch die Punkte P und Q Tangenten T1, T2 an die jeweilige Körperfläche gelegt (Druckseite 35.3 oder Saugseite 35.2 bzw. Kanalboden 34.1). Der Schnittpunkt der Tangenten T1, T2 ist der Punkt D.
- Aus der Verbindung von P, Q und D ergibt sich ein Dreieck.
- Auf der Geraden PQ wird ein Koordinatensystem mit Ursprung O platziert, dessen Abszissenachse dem Richtungsvektor der Geraden QP entspricht und dessen Ordinatenachse senkrecht dazu durch den Schnittpunkt D der zwei

Tangenten T1, T2 verläuft.

- Die Begrenzungslinie der Schaufelanbindung ergibt sich aus einem Kegelschnitt oder einer Linearkombination von Kegelschnitten, der oder die die Punkte P und Q enthält oder enthalten und in diesen Punkten tangential zu den Körperflächen ist oder sind, mit einem Geometrieparameter GP.

5

[0092] Der Geometrieparameter GP ist definiert als der Quotient der Längen (OS) und (OD):

10

$$GP = \frac{\overline{OS}}{\overline{OD}}$$

[0093] Der insbesondere für Turbomaschinen relevante Bereich von GP reicht von ca. 0,3 bis 0,7, wobei im Falle von Kegelschnitten:

15

Werte kleiner 0,5 Ellipsen beschreiben,
 der Wert 0,5 eine Parabel beschreibt und
 Werte größer als 0,5 Hyperbeln beschreiben.

20

[0094] In den meisten Fällen führen Werte zwischen 0,4 und 0,6 zu den hinsichtlich der Beanspruchungsoptimierung besten Ergebnissen, also im Falle von Kegelschnitten der Übergangsbereich von Ellipsen zu Hyperbeln.

[0095] So hat sich z.B. bei Verdichterrädern mit einem druckseitigen Anbindungswinkel von 70° und einer symmetrisch zur Winkelhalbierenden 36.2 ausgerichteten Oberflächenkontur 36.1 gezeigt, dass ein Geometrieparameter GP von mindestens 0,47 bzw. ein Ellipsenverhältnis von mindestens 2,5 zu einer signifikant verbesserten Beanspruchungsverteilung führen.

25

[0096] Bei Verdichterrädern mit einem druckseitigen Anbindungswinkel von 45° und einer symmetrisch zur Winkelhalbierenden 36.2 ausgerichteten Oberflächenkontur 36.1 führt ein Geometrieparameter GP von mindestens 0,4 bzw. ein Ellipsenverhältnis von mindestens 2,25 zu einer signifikant verbesserten Beanspruchungsverteilung.

[0097] Bei Verdichterrädern mit einem druckseitigen Anbindungswinkel von 40° und einer symmetrisch zur Winkelhalbierenden 36.2 ausgerichteten Oberflächenkontur 36.1 führt ein Geometrieparameter GP von mindestens 0,47 bzw. ein Ellipsenverhältnis von mindestens 5,9 zu einer signifikant verbesserten Beanspruchungsverteilung.

30

[0098] Für die bei Verdichterrädern üblicherweise verwendeten Verkippungen der Schaufeln an der Austrittskante (Abströmkannte 35.4) von 30° bis 60° zur Senkrechten (parallel zur Drehachse R) haben sich Ellipsenverhältnisse (Verhältnis der großen zur kleinen Halbachse) von 1,5 und größer, bevorzugt 5 und größer, besonders bevorzugt 10 und größer, als zielführend erwiesen. Besonders vorteilhaft haben sich Ellipsenverhältnisse von 5 und größer, bevorzugt 10 und größer bei Verkippungen der Schaufeln an der Austrittskante (Abströmkannte 35.4) von 45° bis 60° zur Senkrechten (parallel zur Drehachse R) erwiesen.

35

[0099] Mit geschickter Wahl des Abrollkugeldurchmessers (und damit dem Beginn der Schaufelanbindung) führt ein Wert von 0,5 (Parabel) in vielen Fällen zum bestmöglichen Kompromiss aus Beanspruchung der druckseitigen und Beanspruchung der saugseitigen Schaufelanbindung. Ein weiterer Vorteil für einen Wert des Geometrieparameters GP von 0,5 ergibt sich unter anderem dadurch, dass eine spanende Bearbeitung der Oberflächenkontur 36.1 bei kleineren Geometrieparametern in der Regel wirtschaftlicher wird, während größere Geometrieparameter Vorteile hinsichtlich der Verteilung der Belastung mit sich bringen können.

40

[0100] Eine mögliche (aber nicht ausschließliche) mathematische Beschreibung einer zur Winkelhalbierenden symmetrischen Kurve ist wie folgt:

45

$$F0(x,y) = y = 0$$

$$F1(x,y) = y - ax + b = 0 \text{ (Geradengleichung Tangente QD in allg. Form)}$$

$$F2(x,y) = y + ax + b = 0 \text{ (Geradengleichung Tangente PD in allg. Form)}$$

50

$$G(x,y,\mu) = (1-\mu)*F1(x,y)*F2(x,y) - \mu*F0(x,y)^2 = 0$$

[0101] Durch ein Auflösen von G nach y erhält man die Gleichung der Begrenzungslinie in Abhängigkeit von x und μ .

55

[0102] Für $\mu < 0,5$ ergeben sich Hyperbeln (vgl. Fig.5c).

Für $\mu > 0,5$ ergeben sich Ellipsen (vgl. Fig. 5a), wobei die Ellipse für einen Wert von $\mu=(a^2+1)/(a^2+2)$ zu einem Kreis degeneriert, und somit den Grenzfall für die Orientierung der großen Halbachse z.B. entlang der Winkelhalbierenden 36.2 oder senkrecht dazu definiert. Hieraus wird anschaulich klar, dass der elliptische Bereich bzw. der Übergang zum

Kreis von der Wahl des Parameters a , also von der Neigung der Schaufel 35, abhängt. Zwischen $\mu < 0,5$ und $\mu > 0,5$ ergeben sich Parabeln.

[0103] Alternativ können statt einer einzelnen Abrollkugel für die Bestimmung von P und Q jeweils verschiedene Abrollkugeln verwendet werden, was der Wahl von beliebigen Punkten P und Q auf der Druckseite 35.3 und/oder der Saugseite 35.2 bzw. dem Kanalboden 34.1 entspricht. Dadurch können Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln erzeugt werden, die gegenüber der vorangehend beschriebenen Form verkippt sind, deren Symmetrieachse 36.3 also nicht mehr entlang der Winkelhalbierenden 36.2 verläuft. Die resultierende Oberflächenkontur 36.1 ist also nur noch in Teilbereichen symmetrisch. Bevorzugterweise sollte die Symmetrieachse 36.3 dabei in einem Winkelbereich liegen, der +/- 40%, vorzugsweise +/- 15% des von der Druckseite 35.3 bzw. der Saugseite 35.2 und dem Kanalboden 34.1 eingeschlossenen (druckseitigen bzw. saugseitigen) Anbindungswinkels entspricht und von der Winkelhalbierenden 36.2 zwischen Druckseite 35.3 bzw. Saugseite 35.2 und dem Kanalboden 34.1 gemessen wird. Dadurch werden die Beanspruchungen an der Schaufel 35 und dem Grundkörper 32 nicht gleichwertig behandelt, sondern eine Seite der anderen vorgezogen. Die Beanspruchungen werden also in den einen oder den anderen Bereich verlagert. Dies kann sinnvoll sein, wenn stark unterschiedliche Beanspruchungen an Schaufel 35 und Grundkörper 32 vorliegen.

[0104] Figur 9 veranschaulicht schematisch anhand einer Schaufelanbindung eines Verdichterrades 30 ein Verkippen der Symmetrieachse 36.3 einer von einer Parabel gebildeten Oberflächenkontur 36.1 gegenüber der Winkelhalbierenden 36.2. In dem gezeigten Beispiel wird die Parabel gegenüber einer symmetrisch zur Winkelhalbierenden 36.2 ausgerichteten, als Referenz dienenden (gestrichelt dargestellten) Parabel so verdreht, dass sich der Verbindungspunkt P auf der Druckseite 35.3 der Schaufel 35 entlang der Tangente T1 vom Schnittpunkt D entfernt, während sich der Verbindungspunkt Q auf dem Kanalboden 34.1 entlang der Tangente T2 zum Schnittpunkt D hin bewegt. Der Abstand des Verbindungspunktes P vom Schnittpunkt D ist also größer als der Abstand des Verbindungspunktes Q vom Schnittpunkt D. Der Scheitelpunkt S der Parabel liegt dann zwischen der Winkelhalbierenden 36.2 des Anbindungswinkels und dem Kanalboden 34.1. Somit wird der Übergangsbereich der Oberflächenkontur 36.1 zur Schaufel 35 querschnittsmäßig verstärkt.

[0105] Ebenso kann der Verbindungsabschnitt 36 im Bereich des Kanalbodens 34.1 verstärkt werden, wenn der Abstand des Verbindungspunktes Q vom Schnittpunkt D größer ist als der Abstand des Verbindungspunktes P vom Schnittpunkt D. Der Scheitelpunkt S der Parabel liegt dann zwischen der Winkelhalbierenden 36.2 des Anbindungswinkels und der Druckseite 35.3 der Schaufel 35. Somit wird der Übergangsbereich der Oberflächenkontur 26.1 zum Kanalboden 34.1 querschnittsmäßig verstärkt.

[0106] Es versteht sich, dass eine querschnittsmäßige Verstärkung des Übergangsbereichs der Oberflächenkontur 36.1 zur Schaufel 35 bzw. des Übergangsbereichs der Oberflächenkontur 36.1 zum Kanalboden 34.1 nicht nur für eine Parabel, sondern in entsprechender Weise auch für eine Ellipse oder eine Hyperbel erzielbar ist.

[0107] Eine erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 ist mit einem Kugelfräser relativ aufwendig herzustellen, da in diesem Bereich ein sehr kleiner Fräser-Spitzenradius benötigt würde um eine entsprechende nicht kreisförmige Geometrie abzubilden. Durch die Verwendung eines geeigneten Formfräasers können die Fräsoperationen im Bereich des Verbindungsabschnitts 36 deutlich reduziert werden. Allerdings ist es bei sich über die Länge der Schaufel 35 änderndem Anbindungswinkel der Schaufel 35 gegenüber dem Grundkörper 32 nur schwer möglich, die Oberflächenkontur 36.1 mit einem Formfräser mit einer Fräsbahn zu realisieren. Denkbar ist es jedoch, bei einer symmetrischen Oberflächenkontur 36.1 den Formfräser derart zu gestalten, dass er über die Länge der Oberflächenkontur 36.1 eine gute Approximation der schaufelseitigen Hälfte und der kanalbodenseitigen Hälfte abbildet, so dass die Oberflächenkontur 36.1 z.B. mit nur zwei Fräsoperationen hergestellt werden kann. Besonders vorteilhaft ist es, das erfindungsgemäße Schaufelrad urformend, zum Beispiel durch ein Gussverfahren oder ein additives Verfahren (beispielsweise durch 3-D-Druck), herzustellen. Bei einem im Gussverfahren hergestellten, erfindungsgemäßen Schaufelrad fällt der Aufwand für die Bearbeitung der Oberflächenkontur 36.1 nur einmalig bei der Formherstellung an. Bei einem additiv hergestellten, erfindungsgemäßen Schaufelrad ergibt sich durch die erfindungsgemäße Oberflächenkontur 36.1 kein Mehraufwand, sondern sogar eine geringfügige Einsparung durch den reduzierten Materialaufwand und die daraus resultierende verkürzte Bauzeit.

[0108] Typischerweise reichen die Werkstoffeigenschaften von Gusswerkstoffen nicht an die von Knetlegierungen heran, weshalb in vielen Fällen der signifikant teurere Prozess des Fräsens von Verdichterrädern 30 aus Schmiede- oder Stangenhalbezeugen gewählt werden muss. Mit der erfindungsgemäßen Oberflächenkontur 36.1 kann das maximale Beanspruchungsniveau der Verdichterräder 30 in einigen Fällen ausreichend weit gesenkt werden, dass diese in einem Gussverfahren hergestellt und somit deutlich günstiger produziert werden können.

[0109] Für bestimmte Anwendungen ist es notwendig ein Schaufelrad zu beschichten. Die Lebensdauer von beschichteten Schaufelrädern ist dabei maßgeblich durch die Eigenschaften der Beschichtung bestimmt, während das Grundmaterial einen untergeordneten Einfluss auf die Lebensdauer hat. Zur Verbesserung der Lebensdauer des Schaufelrades kann es daher notwendig sein das Beanspruchungsniveau in der Beschichtung zu reduzieren. Durch eine erfindungsgemäße Schaufelanbindung 36 kann das Beanspruchungsniveau des Schaufelrades, und damit auch das Beanspruchungsniveau in dessen Beschichtung reduziert werden, was zu einer Verbesserung der Lebensdauer führt. In anderen

Worten erlaubt die Verwendung einer erfindungsgemäßen Schaufelanbindung 36 eine Beschichtung von Schaufelrädern, die ansonsten aufgrund eben dieser Beschichtung die Lebensdauernforderungen bestimmter Anwendungen nicht erreichen. Andere Maßnahmen wie das Einbringen von Eigenspannungen werden durch das Verwenden der erfindungsgemäßen Schaufelanbindung 36 zum Teil nicht mehr benötigt. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass eine erfindungsgemäße Schaufelanbindung 36 auch dann noch zu einer Lebensdauererhöhung führen kann, wenn andere Maßnahmen bereits ausgeschöpft sind.

[0110] Zur Erfindung gehörig sind damit auch Schaufelräder, die zumindest an einem Teilbereich der Schaufeln 35 mit einer Beschichtung versehen sind oder eine Umwandlungsschicht an ihrer Oberfläche aufweisen. Als Beschichtung oder Umwandlungsschicht kann dabei eine Schicht aus Al_2O_3 oder Nickel-Phosphor verwendet sein

Patentansprüche

1. Schaufelrad, insbesondere Verdichterrad (30) oder Turbinenrad (20), vorzugsweise für einen Gasverdichter oder Turbolader, mit einem Grundkörper (32), der eine Strömungsseite (32.3) und gegenüberliegend der Strömungsseite (32.3) eine Rückseite (32.1) aufweist, wobei auf der Strömungsseite (32.3) eine Strömungsfläche (33) gebildet ist, wobei von der Strömungsfläche (33) Schaufeln (35) abstehen, wobei die Schaufeln (35) über einen Verbindungsabschnitt (36) einteilig mit der Strömungsfläche (33) verbunden sind, wobei eine Rotationsachse (R) des Schaufelrads sich zwischen der Strömungs- und der Rückseite (32.3, 32.1) erstreckt, wobei zwischen zumindest zwei benachbarten Schaufeln (35) ein Strömungskanal (34) mit einem Kanalboden (34.1) gebildet ist, wobei die Schaufeln (35) mit ihrer Längserstreckung in Richtung der Strömungskanal-Längsrichtung verlaufen und jeweils eine Druckseite (35.3) und eine der Druckseite gegenüberliegende Saugseite (35.2) aufweisen, wobei eine der benachbarten Schaufeln (35) den Strömungskanal (34) mit ihrer Druckseite (35.3) und die andere der benachbarten Schaufeln (35) den Strömungskanal (34) mit ihrer Saugseite (35.2) begrenzt, und wobei der Verbindungsabschnitt (36) im Übergang vom Kanalboden (34.1) zu der Druckseite (35.3) der einen Schaufel (35) und/oder im Übergang vom Kanalboden (34.1) zu der Saugseite (35.2) der benachbarten Schaufel (35) eine sich längs des Verbindungsabschnitts (36) erstreckende kehlenförmige Oberflächenkontur (36.1) bildet,

dadurch gekennzeichnet,

dass in einem Querschnitt durch zumindest eine der Schaufeln (35) quer zur Längserstreckung der Schaufel (35) die Oberflächenkontur (36.1) in der Querschnittsebene so gestaltet ist, dass sie in Verbindungspunkten (P, Q) stetig differenzierbar in die Saugseite (35.2) und den Kanalboden (34.1) übergeht und/oder dass die Oberflächenkontur (36.1) in der Querschnittsebene so gestaltet ist, dass sie in Verbindungspunkten (P, Q) stetig differenzierbar in die Druckseite (35.3) und den Kanalboden (34.1) übergeht, dass zwei Tangenten (T1, T2), die durch die Verbindungspunkte (P, Q) in dieser Querschnittsebene verlaufen, einen Schnittpunkt (D) bilden,

dass zwischen den Verbindungspunkten (P, Q) eine virtuelle Verbindungslinie (V) gebildet ist,

dass die Oberflächenkontur (36.1) einen Scheitelpunkt (S) zwischen den Verbindungspunkten (P, Q) bildet,

dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie (V) gebildete erste Abstandslinie, die durch den Scheitelpunkt (S) verläuft, zwischen dem Scheitelpunkt (S) und der virtuellen Verbindungslinie (V) ein erstes Abstandsmaß (VS) bildet,

dass eine senkrecht zu der virtuellen Verbindungslinie (V) gebildete zweite Abstandslinie, die durch den Schnittpunkt (D) der Tangenten (T1, T2) verläuft, zwischen dem Schnittpunkt (D) und der virtuellen Verbindungslinie (V) ein zweites Abstandsmaß (VD) bildet,

und **dass** ein Geometrieparameter (GP), der durch das Verhältnis des ersten Abstandsmaßes (VS) zu dem zweiten Abstandsmaß (VD)

$$VS/VD$$

bestimmt ist, im Bereich von 0,3 bis 0,7 gewählt ist.

2. Schaufelrad nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Geometrieparameter (GP), der durch das Verhältnis des ersten Abstandsmaßes (VS) zu dem zweiten Abstandsmaß (VD) bestimmt ist, im Bereich von 0,4 bis 0,6, besonders bevorzugt = 0,5, gewählt ist.

3. Schaufelrad nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenkontur (36.1) in der Querschnittsebene zumindest bereichsweise die Form eines Kegelschnitts oder zumindest bereichsweise die Form einer Linearkombination von Kegelschnitten aufweist.

- 5
4. Schaufelrad nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenkontur (36.1) in den an die Verbindungspunkte (P, Q) anschließenden Bereichen elliptisch, parabolisch oder hyperbolisch ausgebildet ist, und dass die Oberflächenkontur (36.1) in dem durch den Scheitelpunkt (S) verlaufenden Bereich eine geometrisch abweichende Form aufweist, insbesondere eine Kontur, die einem Kreisabschnitt folgt.
- 10
5. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenkontur (36.1) die Form einer Ellipse aufweist, mit einem Verhältnis der großen Halbachse zu der kleinen Halbachse: große Halbachse/kleine Halbachse größer oder gleich 1,5, vorzugsweise größer oder gleich 5, besonders bevorzugt größer oder gleich 10, oder dass die Oberflächenkontur (36.1) die Form einer Hyperbel, oder dass die Oberflächenkontur (36.1) die Form einer Parabel aufweist.
- 15
6. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenkontur (36.1) eine durchgängige Fläche bildet, die zumindest in Teilbereichen eine Ellipse, Parabel oder eine Hyperbel aufweist.
- 20
7. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanalboden (34.1) und die Saugseite (35.2) und/oder Kanalboden (34.1) und die Druckseite (35.3) im Bereich der Oberflächenkontur (36.1) miteinander einen Anbindungswinkel einschließen und dass die Oberflächenkontur (36.1) zumindest in einem Teilbereich symmetrisch zu der Winkelhalbierenden (36.2) dieses Anbindungswinkels ausgebildet ist, oder dass die Verbindungspunkte (P, Q) vom Schnittpunkt (D) den gleichen Abstand haben.
- 25
8. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanalboden (34.1) und die Saugseite (35.2) und/oder Kanalboden (34.1) und die Druckseite (35.3) im Bereich der Oberflächenkontur (36.1) miteinander einen Anbindungswinkel einschließen und dass der Scheitelpunkt der Oberflächenkontur (36.1) zwischen der Winkelhalbierenden (36.2) des Anbindungswinkels und dem Kanalboden (43.1) angeordnet ist oder dass der Scheitelpunkt der Oberflächenkontur (36.1) zwischen der Winkelhalbierenden (36.2) des Anbindungswinkels und der Schaufel (35) angeordnet ist.
- 30
9. Schaufelrad nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenkontur (36.1) zumindest in einem Teilbereich symmetrisch zu einer Symmetrieachse (36.3) ausgebildet ist, die nicht die Winkelhalbierende (36.2) dieses Anbindungswinkels ist, und dass die Symmetrieachse der Oberflächenkontur (36.1) gegenüber der Winkelhalbierenden (36.2) des Anbindungswinkels verkippt ist, oder dass die Verbindungspunkte (P, Q) vom Schnittpunkt (D) einen unterschiedlichen Abstand haben.
- 35
10. Schaufelrad nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Symmetrieachse (36.3) mit der Winkelhalbierenden (36.2) des Anbindungswinkels einen Winkel einschließt, der vorzugsweise in einem Bereich zwischen 15% des Anbindungswinkels und 40% des Anbindungswinkels, gemessen von der Winkelhalbierenden (36.2) des Anbindungswinkels liegt.
- 40
11. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanalboden (34.1) der Strömungsfläche (33) zumindest in einem Teilbereich in Richtung der Strömungskanal-Längserstreckung konkav ausgebildet ist.
- 45
12. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Projektionen zumindest zweier benachbarter Schaufeln (35) in eine Ebene senkrecht zur Rotationsachse zumindest bereichsweise überlappen.
- 50
13. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei benachbarte Schaufeln (35) eine unterschiedlich lange Längserstreckung in Richtung der Strömungskanal-Längserstreckung aufweisen.
- 55
14. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ein radiales oder ein diagonales Schaufelrad ist.
15. Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaufelrad urgeformt ist, insbesondere als Metall-Gussteil oder als Kunststoff-Gussteil ausgebildet ist und/oder dass das Schaufelrad zumindest eine Oberflächenbeschichtung aufweist und/oder dass das Schaufelrad eine Umwandlungsschicht an seiner Oberfläche aufweisen.

16. Gasverdichter, insbesondere Turbolader mit einem Schaufelrad nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

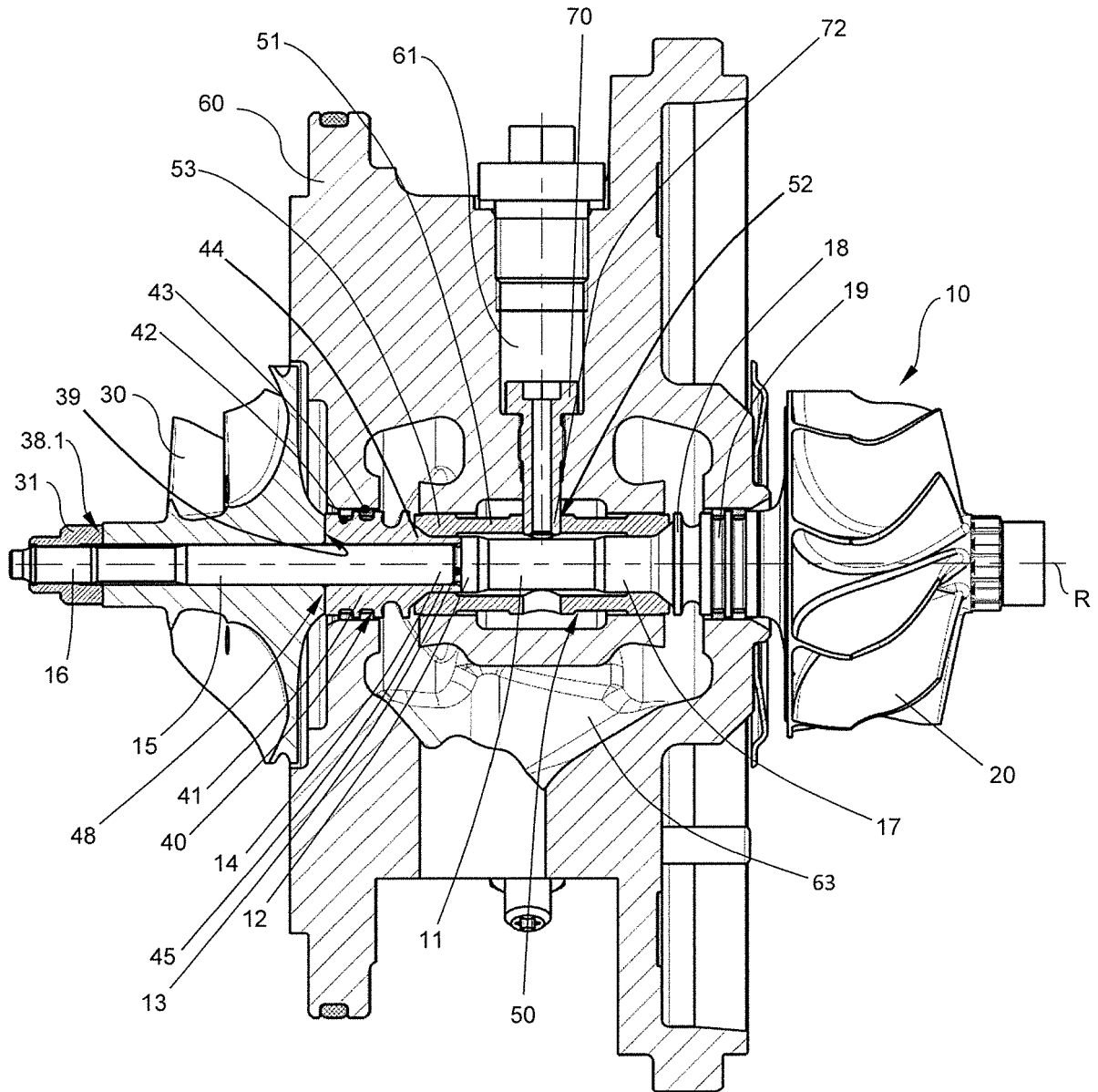


Fig. 1

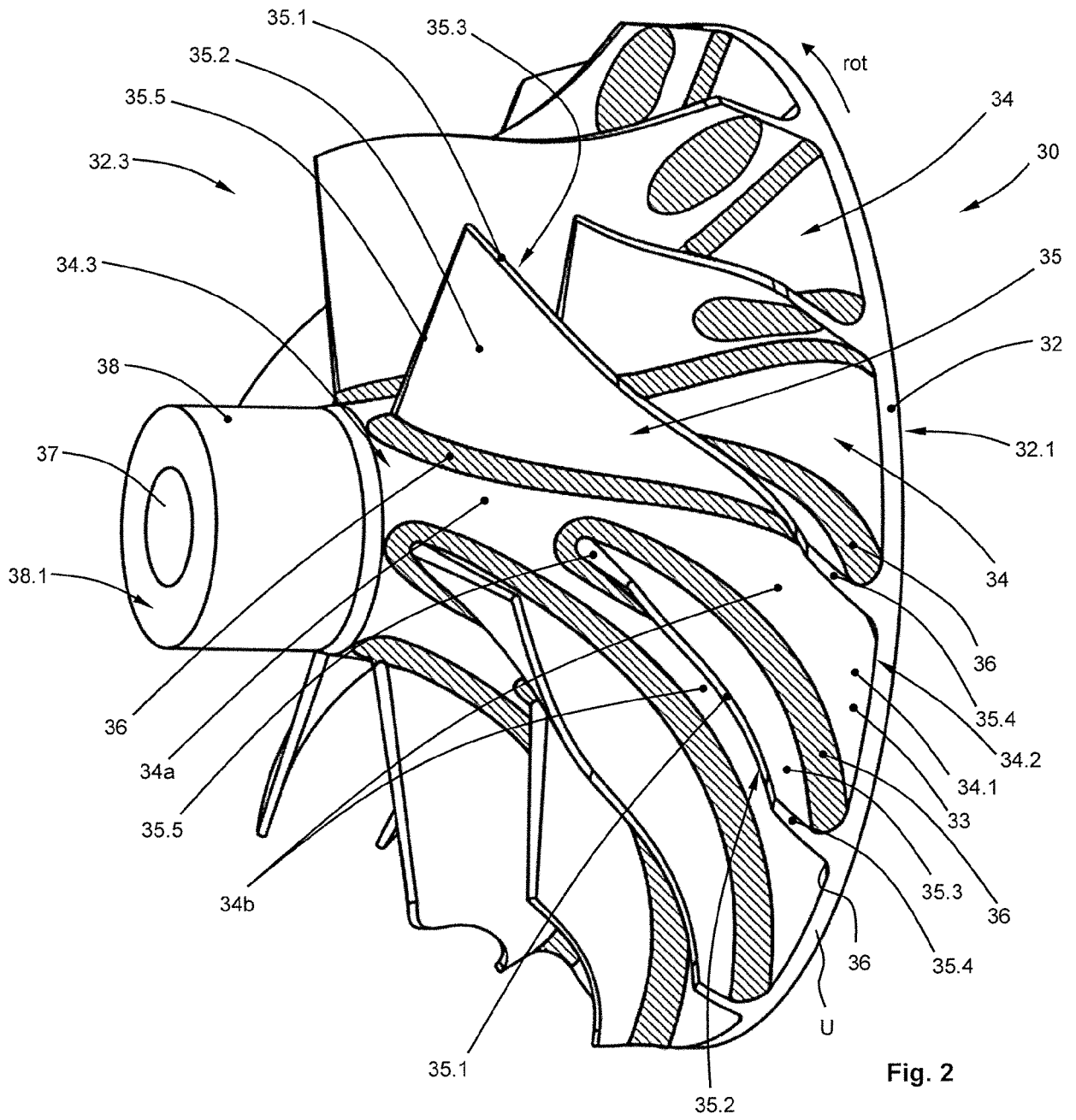


Fig. 2

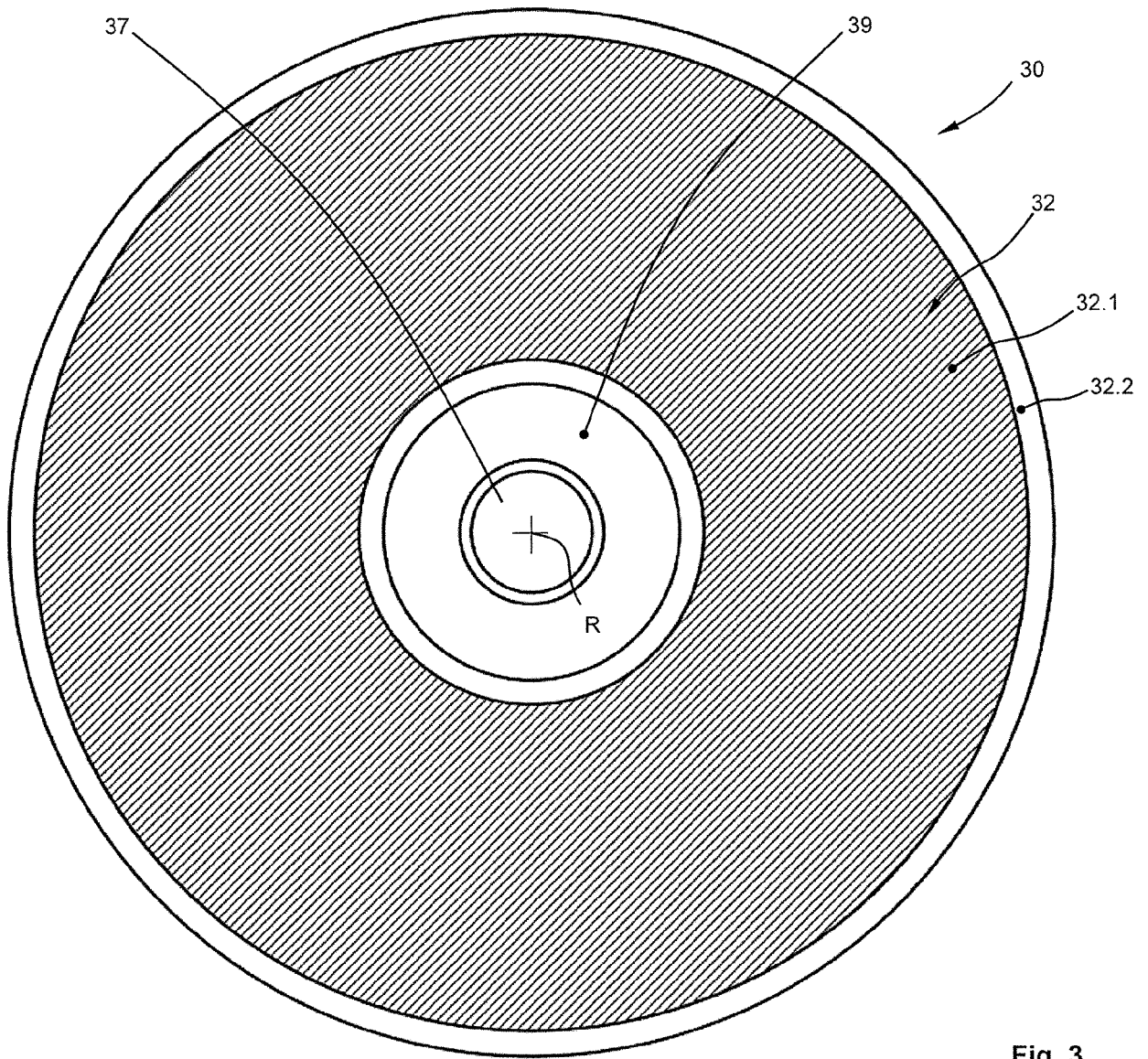


Fig. 3

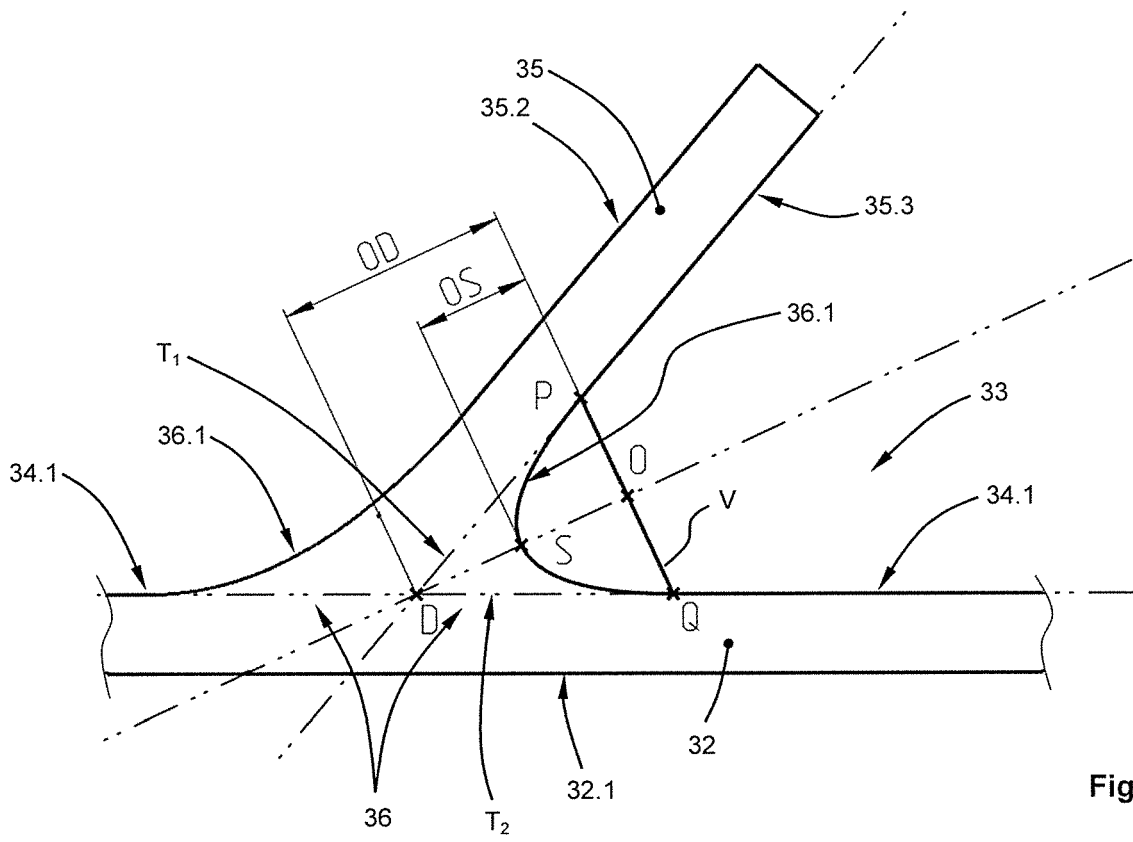


Fig. 4

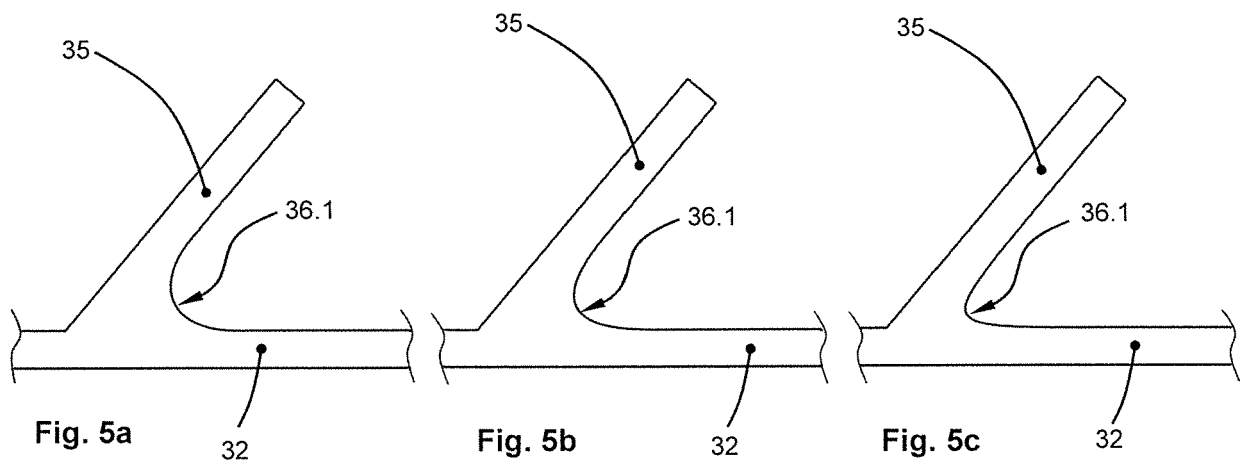


Fig. 5a

Fig. 5b

Fig. 5c

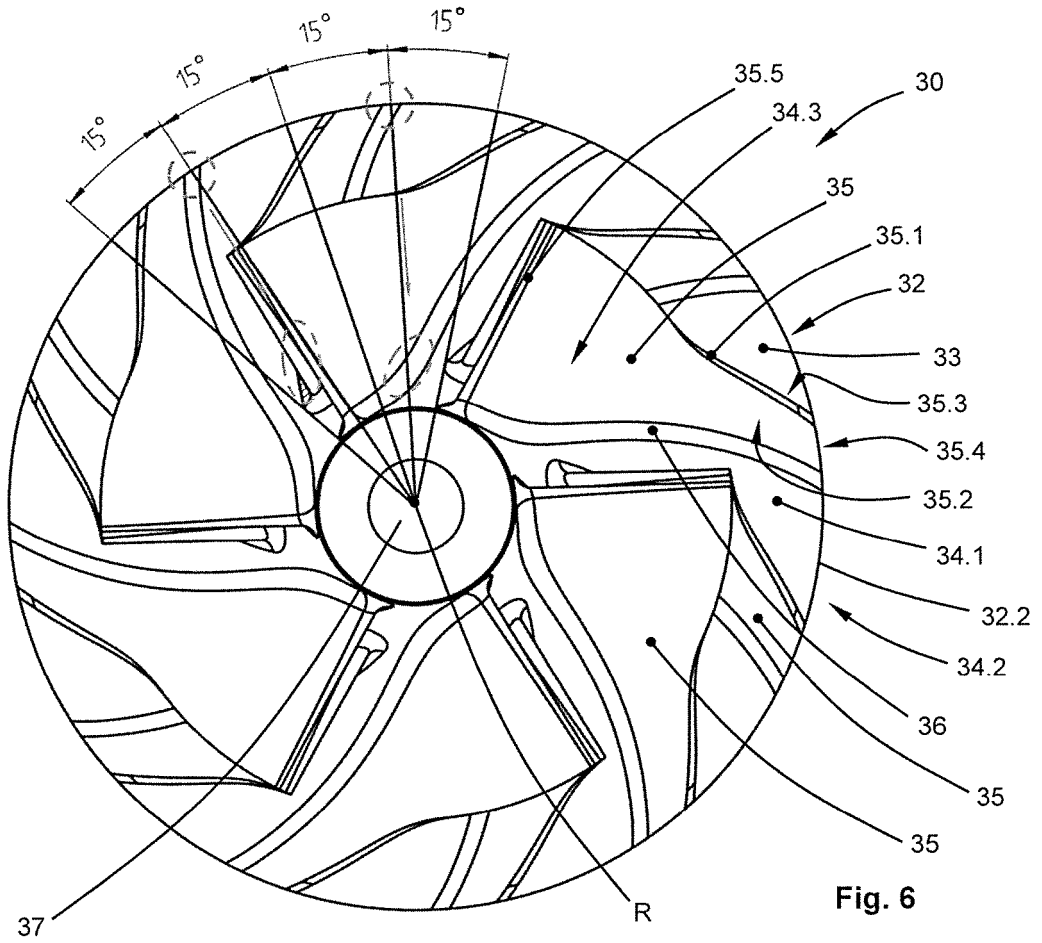


Fig. 6

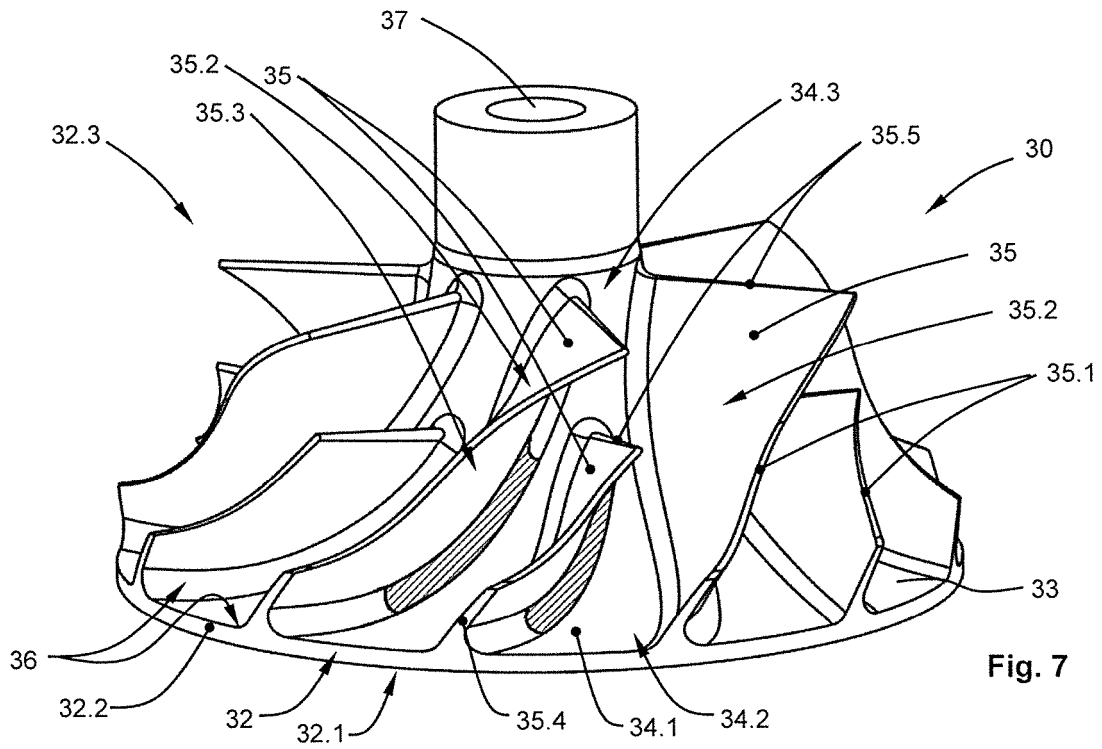


Fig. 7

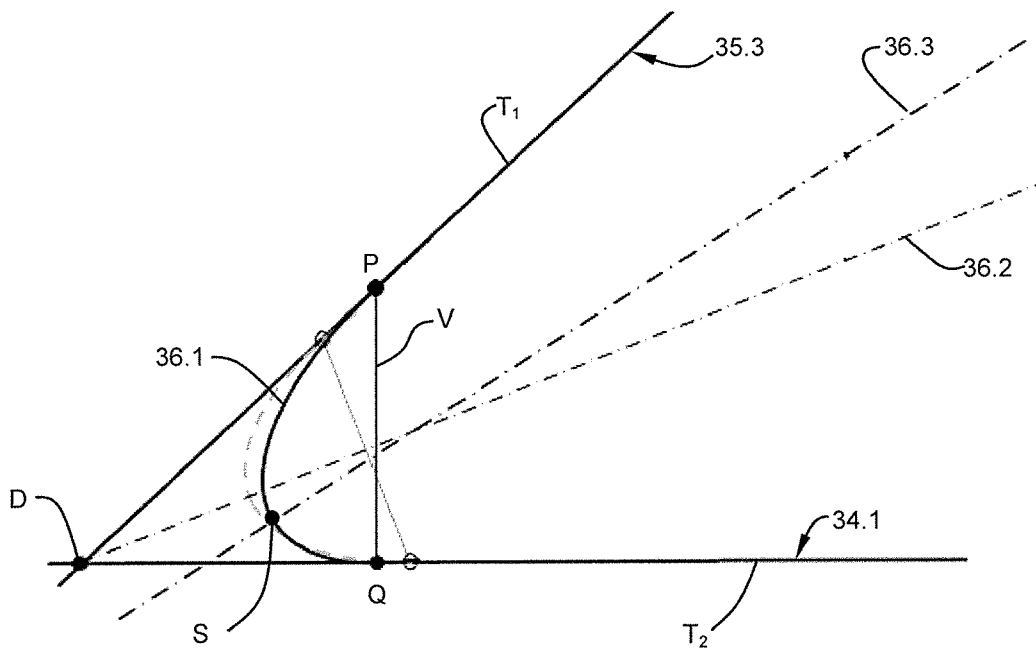


Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 20 7773

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|---|--|--|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| X,D | JP 2006 226199 A (HONDA MOTOR CO LTD) 31. August 2006 (2006-08-31) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-4 * | 1-16 | INV. F04D29/28 F04D29/30 F04D29/68 F01D5/04 F01D5/14 |
| X | DE 10 2013 219814 B3 (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT E V [DE]) 27. November 2014 (2014-11-27) * Absatz [0041] * * Abbildung 3 * | 1-16 | |
| X | US 2005/106025 A1 (SNOOK DANIEL D [US] ET AL) 19. Mai 2005 (2005-05-19) * Absatz [0019] - Absatz [0027] * * Tabelle 1 * * Abbildungen 10, 11 * | 1-16 | |
| A | DE 10 2014 215089 A1 (KSB AG [DE]) 4. Februar 2016 (2016-02-04) * Absatz [0017] - Absatz [0018] * * Abbildungen 1, 2 * | 1-16 | |
| A | & DE 10 2014 219557 A1 (KSB AG [DE]) 31. März 2016 (2016-03-31) * Absatz [0018] - Absatz [0020] * * Abbildungen 1, 2 * | 1-16 | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D F04D |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | | |
| Recherchenort Den Haag | | Abschlußdatum der Recherche 7. April 2021 | Prüfer Oliveira, Damien |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument | |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 20 7773

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-04-2021

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| JP 2006226199 A | 31-08-2006 | KEINE | |
| DE 102013219814 B3 | 27-11-2014 | KEINE | |
| US 2005106025 A1 | 19-05-2005 | KEINE | |
| DE 102014215089 A1 | 04-02-2016 | BR 112017000490 A2 | 07-11-2017 |
| | | CN 106662114 A | 10-05-2017 |
| | | DE 102014215089 A1 | 04-02-2016 |
| | | DK 3175119 T3 | 21-01-2019 |
| | | EP 3175119 A1 | 07-06-2017 |
| | | ES 2702211 T3 | 27-02-2019 |
| | | JP 6612844 B2 | 27-11-2019 |
| | | JP 2017522496 A | 10-08-2017 |
| | | KR 20170039647 A | 11-04-2017 |
| | | PT 3175119 T | 06-12-2018 |
| | | RU 2017106527 A | 28-08-2018 |
| | | TR 201819488 T4 | 21-01-2019 |
| | | US 2017218969 A1 | 03-08-2017 |
| | | WO 2016016223 A1 | 04-02-2016 |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP 2006226199 A [0014]
- US 2015316073 A1 [0015]
- US 8721287 B2 [0016]