

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
30. Januar 2014 (30.01.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/016084 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F01D 5/14 (2006.01) *F04D 29/28* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/063958
- (22) Internationales Anmeldedatum:
2. Juli 2013 (02.07.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 212 896.4 24. Juli 2012 (24.07.2012) DE
- (71) Anmelder: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

- (72) Erfinder: **KLAUS, Michael**; Carl-Orff-Str. 18, 93105 Tegernheim (DE). **MERENDA, Timo**; Stadthof 5, 93059 Regensburg (DE). **LEHMAYR, Bernhard**; Gertrud-von-le-Fort-Str. 34, 93051 Regensburg (DE). **PAFFRATH, Meinhard**; Händelstrasse 22, 85622 Feldkirchen (DE). **SANDOR, Ivo**; Höllbachstr. 2 C, 93059 Regensburg (DE). **BARTI, Endre**; Wilhelm-Mayr-Str. 39, 80689 München (DE). **WEVER, Utz**; Herzogstandstr. 28, 81539 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

- (54) Title: ROTOR OF AN EXHAUST GAS TURBOCHARGER
- (54) Bezeichnung : LAUFRAD EINES ABGASTURBOLADERS

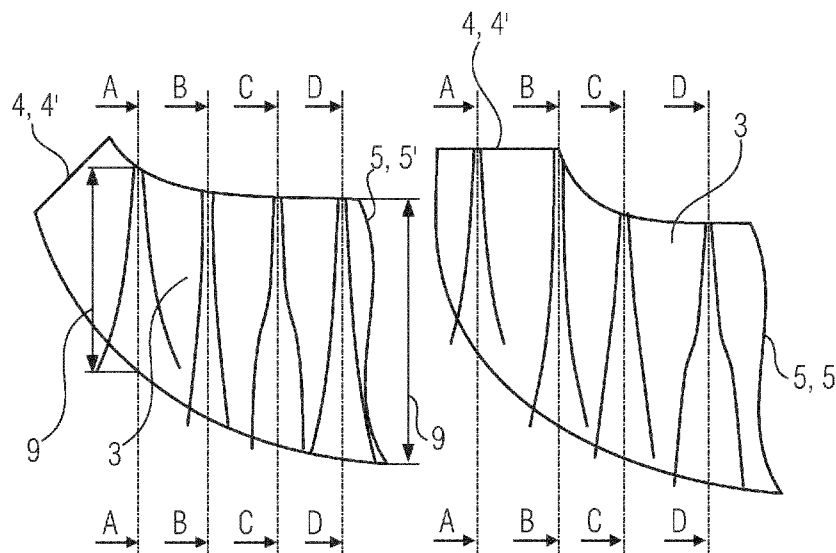


FIG 4

(57) Abstract: The invention relates to a rotor of an exhaust gas turbocharger, which has a rotor hub and rotor vanes arranged on said rotor hub. The rotor vanes have a vane thickness distribution selected such that these rotor vanes have along their extent from the fluid leading edge (4) to the fluid trailing edge (5) at least one transition between a stiffness-oriented vane thickness distribution and an inertia and stress-oriented vane thickness distribution over the height of the vane.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/016084 A1



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Laufrad eines Abgasturboladers, welches eine Laufradnabe und auf der Laufradnabe angeordnete Laufradschaufeln aufweist. Die Laufradschaufeln weisen eine Schaufeldickenverteilung auf, die derart gewählt ist, dass die Laufradschaufeln entlang ihrer Erstreckung von der Fluideintrittskante (4) bis zur Fluidaustrittskante (5) mindestens einen Übergang zwischen einer steifigkeitsorientierten Schaufeldickenverteilung und einer trägheits- und spannungsorientierten Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe aufweisen.

Beschreibung

Laufrad eines Abgasturboladers

5

Die Erfindung betrifft ein Laufrad eines Abgasturboladers, welches eine Laufradnabe und auf der Laufradnabe angeordnete Laufradschaufeln aufweist, die jeweils eine Fluideintrittskante und eine Fluidaustrittskante enthalten und die jeweils eine in Strömungsrichtung des Fluidmassenstromes verlaufende Schaufeldickenverteilung aufweisen.

Aufgrund der ständig verschärften Gesetze bezüglich der Emission von Abgasen in die Umwelt werden immer mehr Fahrzeuge mit über Abgasturbolader aufgeladene Diesel- oder Ottomotoren ausgerüstet. Zusätzlich steigen die Anforderungen an das stationäre Verhalten des Verbrennungsmotors, d. h. Leistung, Drehmoment und Verbrauch müssen weiter verbessert werden. Bei mittels Turboladern aufgeladenen Verbrennungsmotoren ist insbesondere auch das transiente Ansprechverhalten essentiell. Eine möglichst leichte Rotorbeschaufelung ermöglicht Turbomaschinen mit einem kleinen Trägheitsmoment, wodurch ein besseres transientes Ansprechverhalten erzielt werden kann. Die minimale mögliche Schaufeldicke ist durch das Herstellverfahren und die Festigkeitseigenschaften der verwendeten Werkstoffe begrenzt. Neben den Fliehkräften wirken auf die Laufradschaufeln aerodynamische Kräfte in Form von Schubspannungen und Druckkräften. Bei der Anströmung der Turbomaschinen entstehen Druckungleichförmigkeiten, die bei jeder Umdrehung auf die Laufradschaufeln wirken. Die Laufradschaufeln müssen eine Steifigkeit aufweisen, die ihre Eigenfrequenz so weit anhebt, dass sie nicht durch diese Druckpulsationen zu kritischen Schwingungen angeregt werden können.

Es ist bereits bekannt, eine Dickenverteilung der Laufradschaufeln eines Abgasturboladers in radialer Richtung mit linear abnehmendem Dickenverlauf, ausgehend von niedrigem Durchmesser zu hohem Durchmesser, vorzusehen. Statt der radialen Strahlen

können auch zum Strömungskanal senkrechte Strahlen als Definitionsbasis dienen, sogenannte Meridionalstrahlen. Andere bekannte Lösungen sind Dickenverteilungen mit einfachen parametrischen Funktionen wie beispielsweise Parabeln oder Exponentialfunktionen. Die Parameter der jeweiligen Funktion oder der Funktionstyp selbst werden nach Festigkeitskriterien optimiert, so dass geringe mechanische Spannungen in der Laufradschaufel und insbesondere im Fußbereich der Laufradschaufel, auch als Schaufelfuß bezeichnet, auftreten und dass eine ausreichende Steifigkeit der Laufradschaufel erzielt wird. Im Fußbereich der Schaufel wird die eigentliche Dickenverteilung typischerweise durch einen Füllradius im Übergang zur Nabe überdeckt. Je größer dieser Radius ist, desto geringer sind die Spannungen und desto höher ist die Steifigkeit der Schaufel. Fertigungs- und aerodynamische Kriterien limitieren allerdings die maximale Größe des Füllradius. Typischerweise ist die Laufradschaufel an ihrer Spitze, also im radialen Randbereich, dünner als an der Nabe. Wenn die Steifigkeit bzw. die Eigenfrequenz der Schaufel nicht ausreicht, wird häufig die Schaufelhöhe, an der Position größter Schaufelhöhe, in Strömungsrichtung verkürzt ausgeführt, was jedoch aerodynamisch nachteilig ist. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Schaufel insgesamt dicker auszuführen. Diese Lösungen sind weder trägheitsoptimal noch festigkeitsoptimal. Durch die vergleichsweise schlechtere Materialauslastung wird des Weiteren Bauraum verschwendet, der ansonsten für zusätzliche Schaufeln bei gleichem Schaufelfußabstand verwendet werden könnte.

Aus der DE 10 2008 059 874 A1 ist eine Schaufel eines Laufrades eines Turboladers bekannt, welche in der Meridionalansicht an ihrer Austrittskante bei einer Turbinenradschaufel bzw. an ihrer Eintrittskante bei einer Verdichterradschaufel zumindest in einem oder mehreren Abschnitten eine nichtlineare Reduzierung der axialen Länge aufweist, und bei welcher der jeweilige Abschnitt und die Reduzierung der axialen Länge der Schaufel derart gewählt sind, dass die Schaufel ein vorbestimmtes Verhältnis aus Eigenfrequenz und einem Wirkungsgradverlust der Schaufel bzw. des Laufrades aufweist. Des Weiteren ist aus dieser

Schrift eine Laufradschaufel bekannt, welche in der Meridionalansicht an ihrer Austrittskante bei einer Turbinenradschaufel bzw. an ihrer Eintrittskante bei einer Verdichterradschaufel in einem ersten, oberen Bereich in der axialen Länge reduziert ist und wobei die Austrittskante in einem zweiten, unteren Bereich senkrecht, im Wesentlichen senkrecht oder nach hinten, entgegen der Strömungsrichtung, verläuft, bzw. die Eintrittskante in einem zweiten unteren Bereich senkrecht, im Wesentlichen senkrecht oder nach hinten, in Strömungsrichtung verläuft, so dass der Wirkungsgradverlust des Laufrades in einem vorbestimmten Bereich begrenzt ist.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Laufrad eines Abgasturboladers anzugeben, das im Betrieb verbesserte Eigenschaften aufweist.

Diese Aufgabe wird durch ein Laufrad mit den im Folgenden angegebenen Merkmalen gelöst.

Ein erfindungsgemäßes Laufrad eines Abgasturboladers, weist eine Laufradnabe und auf der Laufradnabe angeordnete Laufradschaufeln auf, die jeweils eine Fluideintrittskante, eine Fluidaustrittskante und eine Schaufelhöhe sowie eine Schaufeldickenverteilung aufweisen. Das erfindungsgemäße Laufrad ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufeldickenverteilung derart gewählt ist, dass die Laufradschaufeln entlang ihrer Erstreckung von der Fluideintrittskante bis zur Fluidaustrittskante, also in Strömungsrichtung des Fluidstromes, mindestens einen Übergang zwischen einer steifigkeitsorientierten Schaufeldickenverteilung und einer trägheits- und spannungsorientierten Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe aufweisen.

Dabei ist unter der Schaufelhöhe die Erstreckung der jeweiligen Laufradschaufel vom Übergangsbereich zwischen der Laufradnabe (2) und der Laufradschaufel (3), dem Schaufelfuß oder Fußbereich (B1), aus in Radialrichtung, in Bezug auf die Laufradrehachse, bis in den von der Laufradnabe (2) abgelegenen radialen Schaufelrand zu verstehen.

Die Erstreckung der Laufradschaufel in Strömungsrichtung des Fluidstromes, kennzeichnet die „Schaufellänge“, beginnend an der Fluideintrittskante und endend an der Fluidaustrittskante der Laufradschaufel.

5

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Laufrades ist dadurch gekennzeichnet, dass die steifigkeitsorientierte Schaufeldickenverteilung eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe und die trägheits- und spannungsorientierte Schaufeldickenverteilung eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe ist.

Eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung stellt eine steifigkeitsoptimierte Geometrie dar und weist zumindest auf einer Seitenfläche der Laufradschaufel, vorzugsweise jedoch auf beiden Seiten, Druckseite und Saugseite, in einer senkrecht zur Laufraddrehachse stehenden Schnittebene gesehen, eine flaschenförmige Seitenflächenkontur auf. Diese Seitenflächenkontur ist unter anderem durch einen Krümmungswechselbereich gekennzeichnet, in welchem von radial innen nach radial außen ein, in Bezug auf eine gedachte Mittellinie des betrachteten Laufradschaufelquerschnitts, konvexer Verlauf der Seitenflächenkontur, also der Seitenflächenkrümmung, in einen konkaven Verlauf übergeht.

In Weiterbildung des Gegenstandes weist die genannte Seitenflächenkontur zwischen dem Schaufelfuß und dem Krümmungswechselbereich jeweils einen geraden oder einen gekrümmten ersten Übergangsbereich auf. So entsteht eine Grundform mit einem bauchigen, steifen Fuß, wobei die Schaufeldicke zunächst nach radial außen hin bis in den Krümmungswechselbereich langsam abnimmt (Flaschenbauch). Im Krümmungswechselbereich nimmt die Schaufeldicke zunächst bei konvexem Verlauf der Seitenflächenkontur stärker werdend ab. Im Anschluss daran geht die Seitenflächenkontur in einen konkaven Verlauf über, sodass die Schaufeldicke über diesen Bereich der Schaufelhöhe nach radial außen hin schwächer werdend abnimmt.

In Weiterbildung des Gegenstandes der flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung weist die Seitenflächenkontur der jeweiligen Laufradschaufel zwischen ihrem radialen Schaufelrand und ihrem Krümmungswechselbereich jeweils einen geraden oder
5 einen gekrümmten zweiten Übergangsbereich (Flaschenhals) auf. Dabei kann der Verlauf der Seitenflächenkontur, also der Seitenflächenkrümmung, in Richtung des radialen Schaufelrands in einer vorgegebenen Krümmung auslaufen oder geneigt auf eine gedachte Mittellinie des betrachteten Laufradschaufelquer-
10 schnitts zu oder parallel zu dieser Mittellinie gestaltet sein, so dass sich ein zweiter Übergangsbereich ergibt, der im Querschnitt der Laufradschaufel beispielsweise eine trapezförmige Verjüngung oder eine gleichbleibende Dicke aufweist. So ergibt sich, im Querschnitt gesehen, insgesamt eine Sei-
15 tenflächenkrümmung der Laufradschaufel, die der Konturlinie einer Flasche ähnlich ist und deshalb hier so benannt wird.

Eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung stellt eine trägheits- und spannungsoptimierte Geometrie dar und weist
20 zumindest auf einer Seitenfläche der Laufradschaufel, vorzugsweise jedoch auf beiden Seiten (Druckseite und Saugseite), einen konkaven Verlauf der Seitenflächenkontur, also der Seitenflächenkrümmung der Laufradschaufel in Radialrichtung nach außen auf, sodass die Schaufeldicke über die Schaufelhöhe
25 nach radial außen hin schwächer werdend abnimmt.

Der Auslauf der Seitenflächenkrümmung in Richtung des radialen Schaufelrandes kann dabei so gestaltet sein, dass der konkav gewölbte Verlauf der Seitenflächenkontur der jeweiligen
30 Laufradschaufel, in Richtung auf den radialen Schaufelrand zu, kontinuierlich weitergeführt wird oder in einen geraden, auf eine gedachte Mittellinie des Laufradschaufelquerschnitts zu geneigten oder zu dieser Mittellinie parallelen Verlauf übergeht, so dass sich ein Übergangsbereich ergibt, der im Querschnitt der
35 Laufradschaufel eine trapezförmige Verjüngung nach radial außen hin oder eine gleichbleibende Dicke aufweist.

Der Auslauf im Schaufelfußbereich kann sich aus der Krümmung der Schaufelseitenwand ergeben oder mit einer zusätzlichen

Fußverrundung ausgeführt sein. So ergibt sich, im Querschnitt gesehen, eine Seitenflächenkrümmung der Laufradschaufel, die der Konturlinie des Eiffelturmes ähnlich ist und deshalb hier so benannt wird.

5

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Laufrades mit den oben angegebenen Merkmalen werden im Folgenden anhand der Figurenbeschreibung erläutert.

10 Die Vorteile eines erfindungsgemäßen Laufrades bestehen insbesondere darin, dass das Laufrad im Hinblick auf die von ihm im Betrieb geforderten Eigenschaften, insbesondere im Hinblick auf dessen Steifigkeit, Trägheit und Festigkeit, optimiert ist. Die beanspruchte Schaufeldickenverteilung kann für gegossene,
15 erodierte und auch für gefräste Radial-, Radial-Axial- und Axial-Turbinen bzw. -Verdichter verwendet werden. Des Weiteren begünstigt die Erfindung die fertigungstechnischen Randbedingungen beim Gießen hinsichtlich minimaler Abstände zwischen einander benachbarten Schaufeln.

20

Bei einer Herstellung im Gussverfahren besteht die Möglichkeit, die Schaufeldickenverteilung sowohl über die Schaufelhöhe als auch über die Schaufellänge beliebig einzustellen. Diese Möglichkeit wird bei der vorliegenden Erfindung dahingehend
25 genutzt, dass eine trägheitsoptimierte Dickenverteilung in Bereichen der Laufradschaufeln, die für die Schaufelsteifigkeit von untergeordneter Bedeutung sind, sowie eine steifigkeitsoptimierte Dickenverteilung in Bereichen der Laufradschaufeln, die schwingungsgefährdet sind, vorgenommen wird. Bei den Bereichen geringer Bedeutung für die gesamte Schaufelsteifigkeit
30 handelt es sich um die Bereiche mit geringer Schaufelhöhe in Radialrichtung. Bei den Bereichen mit großem Einfluss auf die Schaufelsteifigkeit handelt es sich um die Bereiche mit großer Schaufelhöhe in Radialrichtung.

35

Die erfindungsgemäße Dickenverteilungsstrategie basiert auf einer Kombination der zwei grundsätzlich unterschiedlichen Schaufeldickenverteilungen, nämlich beispielsweise einer

eiffelturmförmigen Schaufeldickenverteilung und einer flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung derart, dass die Laufradschaufeln entlang ihrer Erstreckung von der Fluideintrittskante bis zur Fluidaustrittskante mindestens einen

Übergang zwischen einer steifigkeitsorientierten Schaufeldickenverteilung und einer trägheits- und spannungsorientierten Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe aufweisen. Dabei ist die Eiffelturmform trägheits- und spannungsoptimiert, während die Flaschenform steifigkeitsoptimiert ist.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele für die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigt:

Figur 1 einen skizzierten Teilschnitt durch ein Laufrad eines Abgasturboladers (in Richtung der Laufraddrehachse) zur Veranschaulichung der Laufradschaufeln in Seitenansicht;

Figur 2 drei Beispiele für unterschiedliche Schaufeldickenverteilungen über die Schaufelhöhe in Schnittdarstellung einer Laufradschaufel (in einer senkrecht zur Laufraddrehachse verlaufenden Schnittebene);

Figur 3 eine Veranschaulichung der Schaufeldickenverteilungen bei flaschenförmiger und eiffelturmförmiger Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe einer Laufradschaufel, in Schnittdarstellung gemäß Figur 2;

Figur 4 zwei Beispiele zur Veranschaulichung von Schaufeldickenverteilungen über die Schaufelhöhe und die Erstreckung einer Laufradschaufel in axialer Richtung, in Meridionalansicht der Laufradschaufeln;

Figur 5 ein Beispiel zur Veranschaulichung eines Ausführungsbeispiels mit jeweils gerade verlaufenden Abschnitten einer Seitenflächenkontur,

Figur 6 Beispiele zur Veranschaulichung unterschiedlicher Ausführungen asymmetrischer Schaufeldickenverteilungen, in Schnittdarstellung gemäß Figur 2 und

- 5 Figur 7 eine überlagerte Darstellung zur Veranschaulichung von verschiedenen Schaufeldickenverteilungen, in Schnittdarstellung gemäß Figur 2.

10 Funktions- und Benennungsgleiche Gegenstände sind in den Figuren durchgehend mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet.

Die Figur 1 zeigt eine Skizze zur Veranschaulichung eines Laufrades eines Abgasturboladers, bei dem es sich beim gezeigten Ausführungsbeispiel zum Beispiel um ein Turbinenlaufrad eines Abgasturboladers handelt. Wenn es sich um ein Turbinenlaufrad handelt, so ist dieses zwischen dem Turbinengehäuse 6 und dem Lagergehäuse 7 des Abgasturboladers angeordnet und dreht sich im Betrieb des Abgasturboladers um eine Laufraddrehachse 10. Das Laufrad 1 ist mittels seiner Laufradnabe 2 mit einer Läuferwelle 11 drehfest verbunden. Auf der Laufradnabe 2 sind in Umfangsrichtung des Laufrades äquidistant Laufradschaufeln 3 angeordnet, die mittels ihres Schaufelfußes B1 an der Laufradnabe 2 befestigt sind. Beispielsweise sind die Laufradnabe 2 und die Laufradschaufeln 3 in einem Schritt gefertigt und stoffschlüssig miteinander verbunden.

Die Laufradschaufeln 3 weisen jeweils eine Fluideintrittskante 4, 5' und eine Fluidaustrittskante 5, 4' auf. Da sich ein Turbinenlaufrad und ein Verdichterlaufrad in der schematischen Darstellung kaum unterscheiden, sind in Figur 1 beide Ausführungen in einer Darstellung zusammengefasst. Der Hauptunterschied in der schematischen Darstellung besteht dabei in der Strömungsrichtung des Fluidstromes.

Das Turbinenlaufrad, das mit Abgasen eines Verbrennungsmotors beaufschlagt wird, weist eine Abgaseintrittskante 4 und eine Abgasaustrittskante 5 auf. Die Strömungsrichtung des Abgases ist in der Figur 1 mit Pfeilen angedeutet und mit der Bezugsziffer 8 bezeichnet.

Das Verdichterlaufrad, das mit Frischluft beaufschlagt wird, weist eine Frischlufteintrittskante 5' und eine Frischluftaustrittskante 4' auf. Die Strömungsrichtung der Frischluft ist in der Figur 1 mit Pfeilen angedeutet die mit der Bezugsziffer 8' bezeichnet sind.

Bei der vorliegenden Erfindung weisen die Laufradschaufeln über ihre Erstreckung von der Fluideintrittskante 4, 5' bis zu der Fluidaustrittskante 5, 4', also jeweils in Strömungsrichtung des Fluidstromes eine spezielle Schaufeldickenverteilung auf, durch welche erreicht wird, dass die Laufradschaufeln im Betrieb bezüglich ihrer Steifigkeit, ihrer Trägheit und ihrer Festigkeit optimiert sind.

Die Figur 2 zeigt drei Beispiele für Schaufeldickenverteilungen über die Schaufelhöhe 9 einer Laufradschaufel 3 in einer Schnittdarstellung mit einer senkrecht zur Laufraddrehachse 10 verlaufenden Schnittebene. Dabei ist in der linken Darstellung in Figur 2 eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung, in der mittleren Darstellung von Figur 2 eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung und in der rechten Darstellung von Figur 2 eine trapezförmige Schaufeldickenverteilung veranschaulicht. Die jeweilige Schaufeldickenverteilung ist hier beispielhaft symmetrisch zu einer gedachten Schaufelmittellinie 13 des jeweiligen Laufradschaufelquerschnitts ausgebildet. Gemeinsam ist diesen Schaufeldickenverteilungen, dass in ihrem jeweiligen Fußbereich, also im Bereich der Anbindung an die Laufradnabe (nicht dargestellt), die Dicke der jeweiligen Laufradschaufel am größten ist und in ihrem radialen Schaufelrandbereich, der dem Fußbereich entgegengesetzt angeordnet ist, die Dicke der jeweiligen Laufradschaufel am kleinsten ist. Im Fußbereich ist jeweils eine Fußverrundung 12 angedeutet, die den Übergang zur Laufradnabe darstellt.

Im Falle einer Herstellung der Laufradschaufeln im Gussverfahren besteht die Möglichkeit, die Schaufeldickenverteilung beliebig einzustellen. Diese Möglichkeit wird bei der Erfindung dazu ausgenutzt, in Schaufelbereichen, die für die Schaufelsteif-

igkeit von untergeordneter Bedeutung sind, eine trägheitsoptimale Dickenverteilung vorzunehmen, und in Schaufelbereichen, die schwingungsgefährdet sind, eine steifigkeitsoptimale Dickenverteilung vorzunehmen.

5

Diejenigen Bereiche, die von geringer Bedeutung für die gesamte Schaufelsteifigkeit sind, sind die Schaufelbereiche mit geringer Schaufelhöhe. Diejenigen Bereiche, die große Bedeutung bzw. großen Einfluss auf die Schaufelsteifigkeit haben, sind die Schaufelbereiche mit großer Schaufelhöhe.

10

Bei der Erfindung erfolgt eine Schaufeldickenverteilung derart, dass zwei grundsätzlich unterschiedliche Schaufeldickenverteilungen, wie zum Beispiel die Eiffelturmform und die Flaschenform, in bestimmter Weise miteinander abwechseln bzw. kombiniert werden. Die Eiffelturmform ist trägheits- und spannungsoptimal. Die Flaschenform ist steifigkeitsoptimal.

15

Die Eiffelturmform ist insbesondere durch einen vom Fußbereich ausgehenden, nach radial außen hin zunächst nach innen, auf die gedachte Mittellinie 13 zu, gewölbten Verlauf der Seitenflächenkontur gekennzeichnet, wobei die Schaufeldicke in Radialrichtung nach außen schwächer werdend abnimmt. In Richtung auf den radialen Schaufelrand zu kann die Seitenflächenkontur in Weiterführung der Eiffelturmform auslaufen, wie es aus der mittleren Darstellung von Figur 2 ersichtlich ist, oder kann auch in einen geraden, auf eine gedachte Mittellinie der Laufradschaufel zu geneigten oder zu dieser Mittellinie parallelen Verlauf übergehen, so dass sich ein Übergangsbereich ergibt, dessen Querschnittsfläche eine trapezförmige Verjüngung nach radial außen hin oder eine gleichbleibende Dicke aufweist. Dabei kann sich der Fußbereich aus der Krümmung der Seitenschaufelwand ergeben. Alternativ dazu kann der Fußbereich auch mit einer zusätzlichen Fußverrundung 12 ausgeführt sein.

25

30

35

Die Flaschenform, die in der linken Darstellung von Figur 2 veranschaulicht ist, ist im Unterschied dazu insbesondere durch einen Krümmungswechselbereich gekennzeichnet, in welchem die

Seitenflächenkontur der Laufradschaufel von radial innen nach radial außen von einer konvexen Krümmung in eine konkave Krümmung übergeht.

5 Die trapezförmige Schaufeldickenverteilung, wie sie in der rechten Darstellung von Figur 2 gezeigt ist, kommt bei bekannten Schaufeldickenverteilungen gemäß dem Stand der Technik zum Einsatz und liegt dabei in Strömungsrichtung zwischen der

10 Fluideintritts- und der Fluidaustrittskante kontinuierlich vor.

Die Figur 3 zeigt je ein Beispiel für eine steifigkeitsoptimierte Schaufeldickenverteilung, die als Flaschenform bezeichnet wird und eine trägheits- und spannungsoptimierte Schaufeldickenverteilung, die als Eiffelturmform bezeichnet wird in einer

15 Schnittdarstellung gemäß einer Schnittebene senkrecht zur Laufraddrehachse 10. Zur einfacheren Erläuterung ist die jeweilige Schaufeldickenverteilung in Figur 3 bei der Flaschenform in Bereiche B1 bis B5 und bei der Eiffelturmform in die Bereiche B1, C2, B4 und B5 unterteilt, wobei in beiden Fällen B1 der

20 Schaufelfußbereich und B5 der radial außenliegende Schaufelrandbereich ist.

Weiterhin sind bei der Flaschenform ein erster Übergangsbereich B2 (Flaschenbauch), ein Krümmungswechselbereich B3 (Flaschenschulter) und ein zweiter Übergangsbereich B4 (Flaschenhals) vorgegeben. Bei der Eiffelturmform ist zwischen dem

25 Schaufelfuß B1 und dem Schaufelrandbereich B5 ein Konkavbereich C2 und ebenfalls ein Übergangsbereich B4 vorgegeben.

Der Fußbereich oder Schaufelfuß B1, in welchem die Laufschaufel

30 3 mit der Nabe verbunden ist, hat jeweils die größte Dicke und geht vorzugsweise mit einer Fußverrundung 12 in die Laufradnabe 2 über. Der radial außenliegende Schaufelrand schließt die Seitenflächenkontur mit einer definierten Kante ab und ist jeweils vorzugsweise leicht abgerundet ausgebildet, wobei die

35 Rundung dem jeweiligen Umfangskreis des Laufrades folgt bzw. sich daraus ergibt.

Bei der Flaschenform kann die Seitenflächenkontur der Laufradschaufel in dem zwischen dem Fußbereich B1 und dem Krümmungswechselbereich B3 vorgesehenen ersten Übergangsbereich B2 gerade oder vorzugsweise leicht konvex gekrümmt ausgebildet
5 sein. Im Krümmungswechselbereich B3 erfolgt – wie bereits oben ausgeführt wurde – ein Übergang der Seitenflächenkontur von einer konvexen Krümmung in eine konkave Krümmung.

Die Eiffelturmform ist insbesondere durch den an den Fußbereich
10 anschließenden Konkavbereich C2 gekennzeichnet, in dem die Seitenflächenkontur in Radialrichtung R nach außen hin einen auf die gedachte Mittellinie 13 zu, konkav gewölbten Verlauf aufweist, wobei die Schaufeldicke in Radialrichtung nach außen schwächer werdend abnimmt.

15 In dem zwischen dem Krümmungswechselbereich B3 oder dem Konkavbereich C2 und dem radial außenliegenden Schaufelendbereich B5 vorgesehenen Übergangsbereich B4 kann in beiden Fällen die Seitenflächenkontur wiederum leicht konkav gekrümmt weiter
20 verlaufen oder in einen auf eine gedachte Mittellinie des Laufradschaufelquerschnitts zu geneigten oder zu dieser Mittellinie parallelen Verlauf übergehen, so dass sich ein Übergangsbereich ergibt, dessen Querschnittsfläche eine trapezförmige Verjüngung nach radial außen hin oder eine
25 gleichbleibende Dicke aufweist.

Die sich in Radialrichtung R erstreckenden Abschnitte der einzelnen Bereiche B1 bis B5 und C2 können in ihrer Ausdehnung und ihrem Verhältnis zueinander in Abhängigkeit vom jeweils
30 konkreten Anwendungsfall optimiert werden, wobei die Aufteilung der Abschnitte der einzelnen Bereiche B1 bis B5 auch in Abhängigkeit von der Position entlang der Erstreckung der Laufradschaufel zwischen Fluideintrittskante und Fluidaustrittskante und der dort vorliegenden Schaufelhöhe erfolgt. Auch
35 der Gradient des Verlaufs der Seitenflächenkontur im Krümmungswechselbereich B3 kann in Abhängigkeit vom jeweiligen Anwendungsfall optimiert werden, um den bestmöglichen Kompromiss aus Steifigkeit und Trägheit zu erzielen.

Zwei Beispiele zur Veranschaulichung von Schaufeldickenverteilungen gemäß der Erfindung sind schematisch in der Figur 4 in Meridionalansicht der Laufradschaufeln gezeigt. Dabei bezieht sich die linke Darstellung auf ein Radial-Axial-Laufrad und die
5 rechte Darstellung auf ein Radial-Laufrad. Die im Folgenden beschriebenen Ausführungen können sowohl bei Turbinenlaufrädern als auch bei Verdichterlaufrädern zur Anwendung kommen. Im Falle eines Turbinenlaufrades ist die Fluideintrittskante 4 der Bereich kleiner Schaufelhöhe (jeweils linker Bereich der
10 Darstellung) und die Fluidaustrittskante 5 der Bereich großer Schaufelhöhe (jeweils rechter Bereich der Darstellung). Im Falle eines Verdichterlaufrades ist die Fluideintrittskante 5' im Bereich großer Schaufelhöhe (jeweils rechter Bereich der Darstellung) und die Fluidaustrittskante 4' der Bereich kleiner
15 Schaufelhöhe (jeweils linker Bereich der Darstellung).

In beiden Darstellungen sind die Fußbereiche der Übersichtlichkeit wegen nicht gezeichnet. Da die dargestellte Meridionalansicht eine Projektion der dreidimensionalen
20 Laufradschaufel auf eine zweidimensionale Ebene darstellt, ist der Umlenkungswinkel der Schaufel in den Darstellungen nicht erfasst. Durch den real vorliegenden Umlenkungswinkel und die Betrachtung der Dickenverteilungen in einer senkrecht zur Laufraddrehachse liegenden Schnittebene, sind, im Gegensatz zu
25 der Darstellung, die realen Konturverläufe der Seitenflächenkonturen in dieser Schnittebene auf beiden Seiten der Laufradschaufeln in den in der Figur 4 gezeigten Schnittebenen A bis D im Allgemeinen nicht vollkommen symmetrisch, wenn sie auch prinzipiell den gleichen Konturverlauf aufweisen. In Abhän-
30 gigkeit von dem Umlenkungswinkel der Schaufel ergeben sich in Realität beidseitig leicht abweichende Konturverläufe.

Die Schnittdarstellungen A bis D gemäß der Figur 4 sind somit als Schaufeldickenverteilung senkrecht zur Skelettfläche (die näherungsweise durch eine gedachte Mittellinie des Profils im
35 Verlauf über die Schaufellänge gegeben ist und im jeweiligen Schnitt als Mittellinie erscheint) des Schaufelprofils zu verstehen.

Die in der rechten Darstellung (Radial-Laufrad) veranschaulichte Dickenverteilung weist im Bereich kleiner radialer Schaufelhöhe und gleichzeitig größerem Abstand zur Laufraddrehachse, Schnitt A-A, eine eiffelturmformige Schaufeldickenverteilung auf und
5 geht in axialer Richtung (in der Darstellung nach rechts), wie aus den Schnitten B-B und C-C ersichtlich wird, kontinuierlich in eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung im Bereich großer radialer Schaufelhöhe bei gleichzeitig kleinerem Abstand zur Laufraddrehachse 10, Schnitt D-D, über.

10 Eine solche Verteilung entspricht der Regel, dass bei großer Schaufelhöhe insbesondere eine steifigkeitsorientierte Schaufeldickenverteilung vorteilhaft ist, wogegen bei kleiner Schaufelhöhe eine trägheits- und spannungsorientierten Schaufeldickenverteilung zu bevorzugen ist. Gleichzeitig jedoch
15 hat diese Verteilung den zusätzlichen Effekt, dass die für die Steifigkeit erforderlichen größeren Massenanordnungen, in Form des „Flaschenbauches“ der flaschenförmige Schaufeldickenverteilung näher bei der Laufraddrehachse angeordnet sind und somit weniger negativ Einfluss nehmen auf die Massenträgheit des
20 Laufrades und somit auf das transiente Verhalten des Turboladers.

In der linken Darstellung, Axial-Radial-Laufrad, geht die eiffelturmformige Schaufeldickenverteilung in Schnitt A-A zunächst Richtung größerer Schaufelhöhe (in der Darstellung nach
25 rechts) in die flaschenförmige Schaufeldickenverteilung, Schnitt C-C über. Zu der Fluidaus-/Fluideintrittskante 5, 5' hin findet dann ein erneuter Übergang zu der eiffelturmformigen Schaufeldickenverteilung statt. Dieser zusätzliche Übergang und die so an der Fluidaus-/Fluideintrittskante 5, 5' vorliegende
30 eiffelturmformige Schaufeldickenverteilung kann optional verwendet werden, einerseits um kritische Spannungen im Nabenbereich der Fluidaus-/Fluideintrittskante 5, 5' zu reduzieren und andererseits um aerodynamische Vorteile durch Reduzierung der Dicke der Fluidaus-/Fluideintrittskante 5, 5' bzw. des
35 entsprechenden Kantenradius zu erzielen.

Die in Axialrichtung vorliegenden Übergangsbereiche zwischen unterschiedlichen Schaufeldickenverteilungen weisen

Querschnittsformen auf, die einer Kombination aus einer eiffelturmförmigen Schaufeldickenverteilung und einer flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung entsprechen.

5 Die Figur 5 zeigt ein Beispiel zur Veranschaulichung einer speziellen Ausführung der Erfindung. Gemäß dieser Ausführung weist der jeweilige Verlauf der Seitenflächenkontur der Laufradschaufel 3, hier dargestellt am Beispiel der flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung, jedoch in gleicher
10 Weise auf eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung übertragbar, in Radialrichtung nach außen jeweils eine Mehrzahl von jeweils gerade verlaufenden Konturabschnitten G1 bis G7 auf. In Aneinanderreihung der einzelnen gerade verlaufenden Konturabschnitte ergibt sich jedoch daraus wiederum als überge-
15 ordnete Geometrie eine flaschen- oder eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung.

Diese Ausführung weist den Vorteil auf, dass eine Fertigung der Laufradschaufeln im gezeigten Fräsverfahren ermöglicht wird.

20 Die Figur 6 zeigt Beispiele zur Veranschaulichung weiterer Ausführungen der Erfindung.

Bei den anhand der vorherigen Figuren beschriebenen Dickenverteilungen liegt auf beiden Seiten der Laufradschaufeln, der
25 Saug- und der Druckseite, jeweils ein im Wesentlichen symmetrischer Verlauf der Seitenflächenkontur der Laufradschaufel, gezeigt in Schnittdarstellung, vor.

Im Unterschied dazu zeigt die Figur 6 Beispiele für eine unterschiedliche, asymmetrische Schaufeldickenverteilung auf der
30 Saugseite S und der Druckseite P der Laufradschaufeln 3, wobei die beiden Außenkonturen in Bezug auf eine gedachte Mittellinie unterschiedliche Konturverläufe aufweisen. Die Bezeichnung der Saugseite und der Druckseite der Laufradschaufeln sind hier frei
35 gewählt und dienen hier lediglich zur Unterscheidung der beiden Schaufelseiten.

Darstellung 6.1 der Figur 6 zeigt beispielsweise eine trapezförmig gerade nach radial außen abnehmende Schaufeldi-

ckenverteilung auf der Saugseite S und eine eiffelturmförmige
Schaufeldickenverteilung auf der Druckseite P der Laufrad-
schaufel 3. Darstellung 6.2 dagegen zeigt eine eiffelturmförmige
Schaufeldickenverteilung auf der Saugseite S und eine fla-
schenförmige Schaufeldickenverteilung auf der Druckseite P.
Darstellung 6.3 wiederum zeigt eine flaschenförmige Schau-
feldickenverteilung auf der Saugseite S und eine konische
Schaufeldickenverteilung auf der Druckseite P. Dabei sind
durchaus auch weitere, hier nicht gezeigte Kombinationen un-
terschiedlicher Schaufeldickenverteilungen realisierbar.
Durch solche asymmetrischen Schaufeldickenverteilungen auf der
Saug- und der Druckseite S, P kann thermisch bedingten Spannungen
im Schaufelmaterial, Eigenspannungen des Schaufelmaterials und
im Betrieb auftretenden aerodynamischen Kräften entgegengewirkt
werden. Alternativ oder zusätzlich dazu kann dies auch dadurch
geschehen, dass die Schaufel nicht mehr exakt an Radialstrahlen
ausgerichtet wird, sondern leicht in Umfangsrichtung geneigt
oder gekrümmt wird.

Die Figur 7 zeigt eine überlagerte Darstellung von Schnitt-
ansichten zur Veranschaulichung von verschiedenen Schaufel-
dickenverteilungen. Bei diesen Schaufeldickenverteilungen
handelt es sich um die bereits oben in der Figur 2 gezeigten
Ausführungen.

Aus der Überlagerung wird jedoch ersichtlich, dass die maximale
Dicke im Schaufelfußbereich bei flaschenförmiger Schaufeldi-
ckenverteilung bei gleicher erzielter Steifigkeit und Festigkeit
niedriger ist als bei einer konischen Schaufeldickenverteilung.

Die niedrigste herstelltechnisch umsetzbare Schaufeldicke
erstreckt sich sowohl bei der flaschenförmigen Schaufeldi-
ckenverteilung als auch bei der eiffelturmförmigen Schaufel-
dickenverteilung über größere Schaufelhöhenanteile der Lauf-
radschaufel als bei einer konischen Schaufeldickenverteilung.
Durch diese Konfiguration wird bei der erfindungsgemäßen
Schaufeldickenverteilung eine Trägheitsverringerung erzielt.
Gleichzeitig kann aber die Steifigkeit im Vergleich zur konischen

Schaufeldickenverteilung beibehalten werden, da nahezu die maximale Dicke im Schaufelfußbereich über größere Schaufelhöhenanteile verwendet wird.

- 5 Des Weiteren besteht fertigungstechnisch bedingt die Notwendigkeit, einen minimalen Schaufelabstand im Bereich des Schaufelfußes sowie eine minimale Verrundung einzuhalten. Dieses Kriterium ist bei einem erfindungsgemäßen Laufrad ver-
- 10 gleichsweise einfach zu erfüllen, da die maximale Schaufeldicke im Vergleich zu einer konischen Schaufeldickenverteilung geringer ist. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Schaufelanzahl zu erhöhen, was sich vorteilhaft auf den thermodynamischen Wirkungsgrad auswirkt.
- 15 Das Vorliegen einer konstanten Schaufeldicke im Bereich großer Durchmesser, also im Übergangsbereich B4 in der Nähe des radialen Schaufelrandes B5, verbessert die CAD-Erstellbarkeit von gießbaren Rohteilen aus dem Fertigteil. Für die Aufmaßerstellung kann eine Flächenextrapolation verwendet werden, da die Dicke im
- 20 radialen Schaufelendbereich bei einem erfindungsgemäßen Laufrad konstant bleibt. Des Weiteren kann beim Konturdrehen eine Trimm-anpassung eines Basisdesigns vorgenommen werden, ohne dass sich die Dicke des radialen Schaufelendbereiches ändert.
- 25 Das Dickenmaximum an der Nabe kann in Strömungsrichtung an eine nahezu beliebige Position gelegt werden. Liegt es in idealer Position senkrecht zur Schwingachse der niedrigsten Eigenform, dann kann die maximale Schaufeldicke minimiert werden, weil die Steifigkeit optimiert ist. Dies kommt der Trägheit des Tur-
- 30 boladers zugute.

Wird die aerodynamische Güte der Schaufeldickenverteilung in die Optimierung einbezogen, dann kann beispielsweise auch der Keilwinkel der Fluidaustrittskante durch eine Positionierung des

35 Dickenmaximums an der Nabe hin zu spitzeren Austrittswinkeln optimiert werden. Dabei wird im Falle eines Turbinenlaufrades die radiale Schaufeldickenverteilung der Fluidaustrittskante 5 wiederum in Eiffelturmform gestaltet, wie es in der linken

Darstellung von Figur 4 beim Schnitt D-D gezeigt ist. Im Vergleich zu einer durchgehend konischen Schaufeldickenverteilung ist durch die erfindungsgemäße Schaufeldickenverteilung ein flacherer Keilwinkel an der Fluidaustrittskante 5 von Turbinenlaufradschaufeln möglich. Der Gegenstand der Erfindung kann in vorteilhafter Weise auch dazu genutzt werden, um durch eine verbesserte Steifigkeit der Turbinenbeschaufelung den sogenannten Cut-Back zu reduzieren.

Patentansprüche

1. Laufrad (1) eines Abgasturboladers, welches eine Laufradnabe (2) und auf der Laufradnabe angeordnete Laufradschaufeln (3) aufweist, die jeweils eine Fluideintrittskante (4), eine Fluidaustrittskante (5), einen Schaufelfuß (B1), einen radialen Schaufelrand (B5) und eine Schaufelhöhe (9) sowie eine Schaufeldickenverteilung aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufeldickenverteilung derart gewählt ist, dass die Laufradschaufeln (3) entlang ihrer Erstreckung von der Fluideintrittskante (4) bis zur Fluidaustrittskante (5) mindestens einen Übergang zwischen einer steifigkeitsorientierten Schaufeldickenverteilung und einer trägheits- und spannungsorientierten Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe aufweisen.

2. Laufrad (1) eines Abgasturboladers gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die steifigkeitsorientierte Schaufeldickenverteilung eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe und die trägheits- und spannungsorientierte Schaufeldickenverteilung eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe ist.

3. Laufrad (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Seitenflächenkontur der jeweiligen Laufradschaufel (3) im Bereich der flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung zwischen ihrem Schaufelfuß (B1) und ihrem radialen Schaufelrand (B5) jeweils einen Krümmungswechselbereich (B3) aufweist.

4. Laufrad (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Seitenflächenkontur der jeweiligen Laufradschaufel (3) zwischen ihrem Schaufelfuß (B1) und ihrem Krümmungswechselbereich (B3) jeweils einen geraden oder einen gekrümmten ersten Übergangsbereich (B2) aufweist.

5. Laufrad nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Seitenflächenkontur der jeweiligen Laufradschaufel (3) zwischen ihrem radialen Schaufelrand (B5) und ihrem Krümmungswechsel-

bereich (B3) jeweils einen geraden oder einen gekrümmten zweiten Übergangsbereich (B4) aufweist.

6. Laufrad (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine
5 Seitenflächenkontur der jeweiligen Laufradschaufel (3) im Bereich der eiffelturmförmigen Schaufeldickenverteilung zwischen ihrem Schaufelfuß (B1) und ihrem radialen Schaufelrand (B5) einen derart konkav gewölbten Verlauf aufweist, dass die Schaufeldicke über die Schaufelhöhe (9), nach radial außen hin
10 schwächer werdend abnimmt.

7. Laufrad (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der konkav gewölbte Verlauf der Seitenflächenkontur der jeweiligen Laufradschaufel (3), in Richtung auf den radialen Schaufelrand
15 (B5) zu, in einen auf eine gedachte Mittellinie (13) der Laufradschaufel (3) zu geneigten oder zu dieser Mittellinie (13) parallelen Verlauf übergeht, so dass sich ein Übergangsbereich (B4) ergibt, der im Querschnitt der Laufradschaufel eine trapezförmige Verjüngung nach radial außen hin oder eine
20 gleichbleibende Dicke aufweist.

8. Laufrad (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Laufrad (1) ein Turbinenlaufrad ist und dass die Laufradschaufeln (3) im Bereich ihrer Fluideintrittskante (4) jeweils eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe und im Bereich ihrer Fluidaustrittskante (5) jeweils eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe aufweisen.

9. Laufrad (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Laufrad (1) ein Turbinenlaufrad ist und dass die Laufradschaufeln (3) im Bereich ihrer Fluideintrittskante (4) und im Bereich ihrer Fluidaustrittskante (5) jeweils eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung über
35 die Schaufelhöhe aufweisen und zwischen dem Bereich ihrer Fluideintrittskante (4) und dem Bereich ihrer Fluidaustrittskante (5) jeweils einen Bereich mit einer flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe (9) aufweisen.

10. Laufrad (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass es ein Verdichterlaufrad ist und dass die Laufradschaufeln (3) im Bereich ihrer Fluideintrittskante (5') jeweils eine flaschenförmige Schaufeldickenverteilung aufweisen und im Bereich ihrer Fluidaustrittskante (4') jeweils eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung aufweisen.

11. Laufrad (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass es ein Verdichterlaufrad ist und dass die Laufradschaufeln (3) im Bereich ihrer Fluideintrittskante (5') und im Bereich ihrer Fluidaustrittskante (4') jeweils eine eiffelturmförmige Schaufeldickenverteilung über die Schaufelhöhe aufweisen und zwischen dem Bereich ihrer Fluideintrittskante (5') und dem Bereich ihrer Fluidaustrittskante (4') jeweils einen Bereich mit einer flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung aufweisen.

12. Laufrad nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Seitenflächenkontur der Laufradschaufeln (3) im Bereich der flaschenförmigen Schaufeldickenverteilung und im Bereich der eiffelturmförmigen Schaufeldickenverteilung in Radialrichtung nach außen jeweils eine Mehrzahl von gerade verlaufenden Konturabschnitten aufweisen.

13. Laufrad (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufradschaufeln (3) jeweils eine Saugseite (S) und eine Druckseite (P) mit einer jeweiligen Seitenflächenkontur und gleichen Schaufeldickenverteilungen auf der Saugseite (S) und der Druckseite (P) aufweisen, sodass die beiden Seitenflächenkonturen der jeweiligen Laufradschaufel in Bezug auf eine gedachte Mittellinie symmetrisch zueinander verlaufen.

14. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufradschaufeln (3) jeweils eine Saugseite (S) und eine Druckseite (P) mit einer jeweiligen Seitenflächenkontur und unterschiedlichen Schaufeldickenverteilungen auf der Saugseite (S) und der Druckseite (P) aufweisen,

sodass die beiden Seitenflächenkonturen in Bezug auf eine gedachte Mittellinie unterschiedliche Konturverläufe aufweisen.

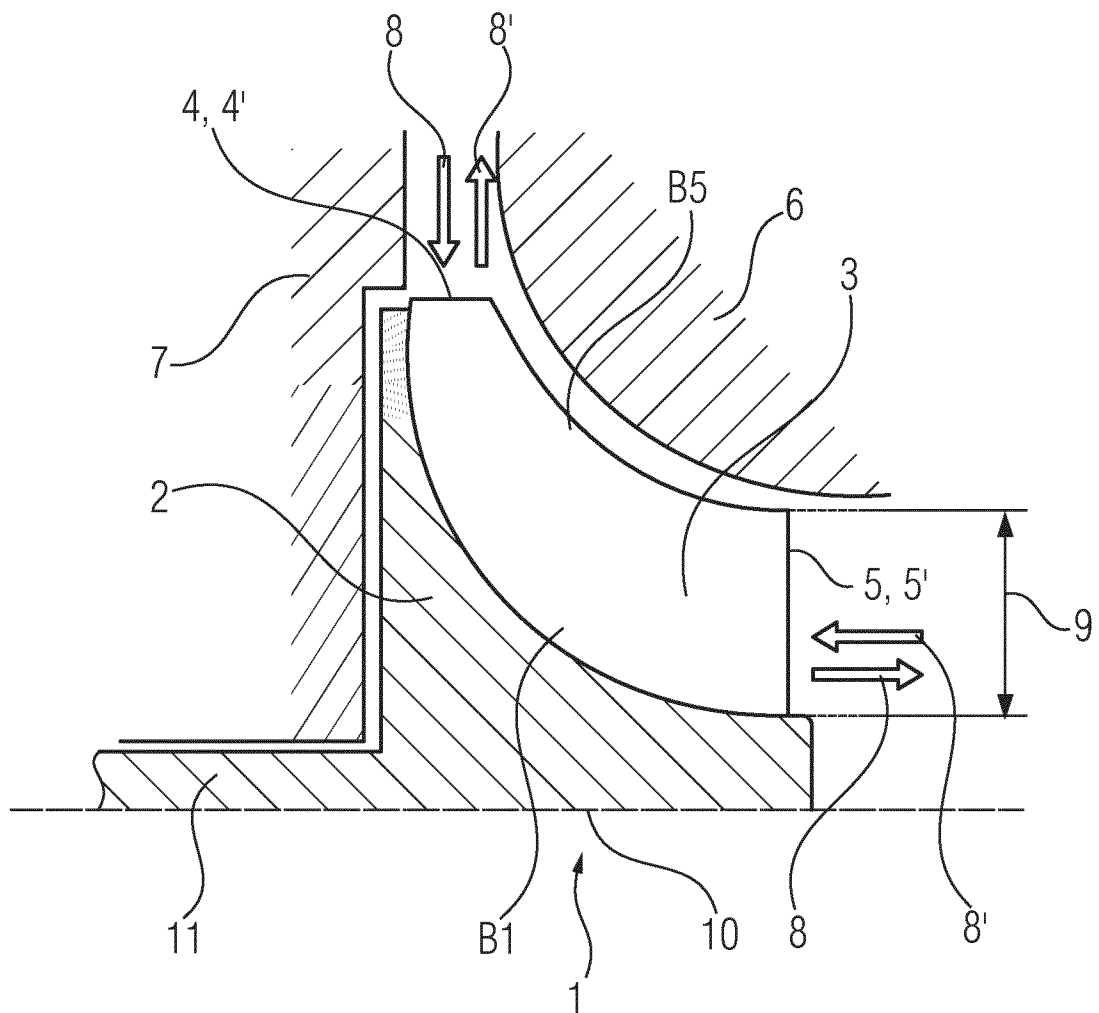


FIG 1

2/4

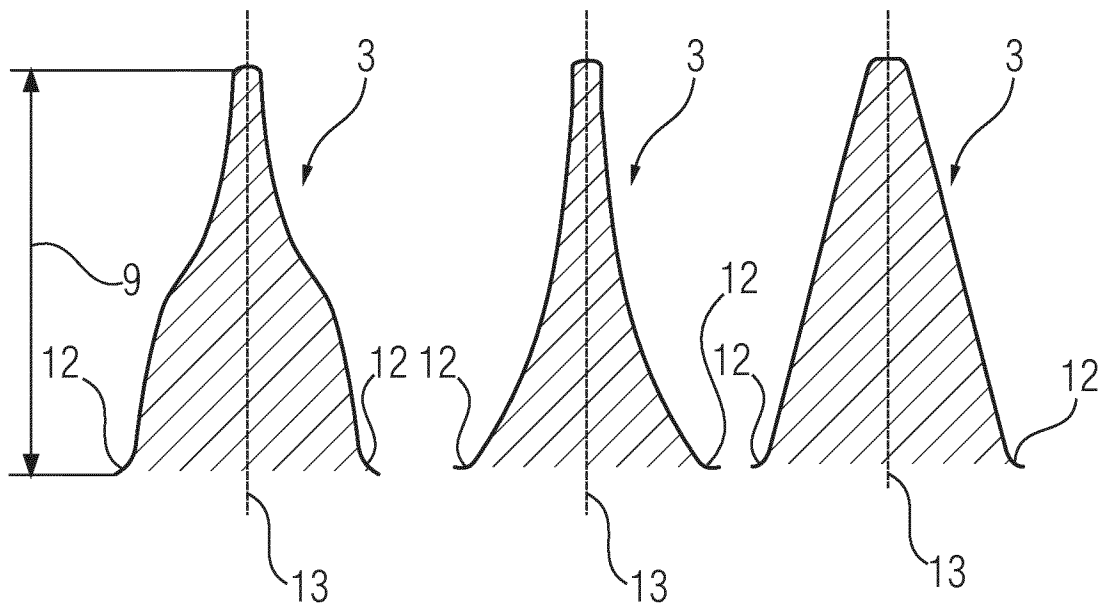


FIG 2

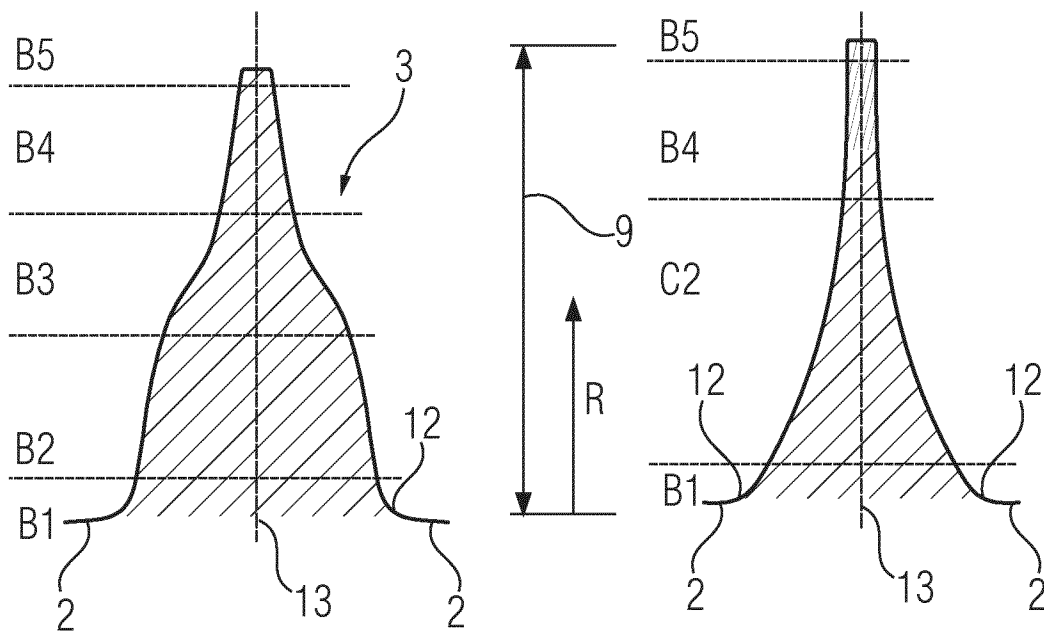


FIG 3

3/4

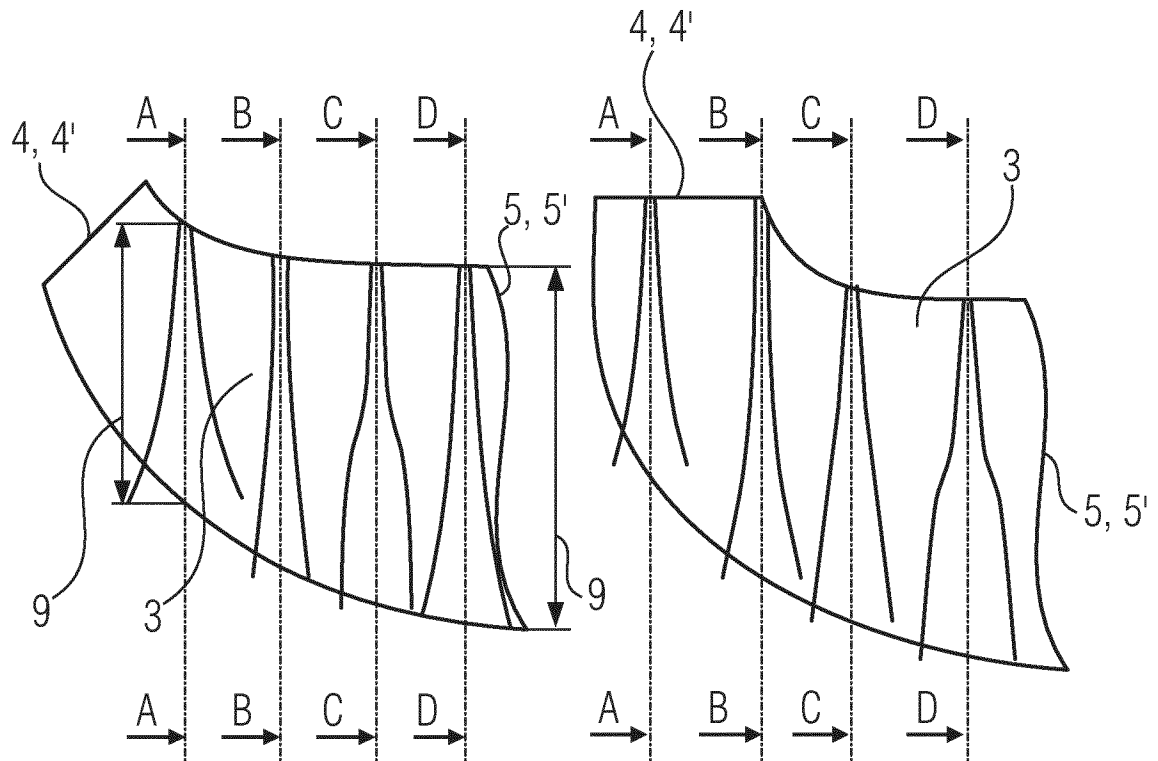


FIG 4

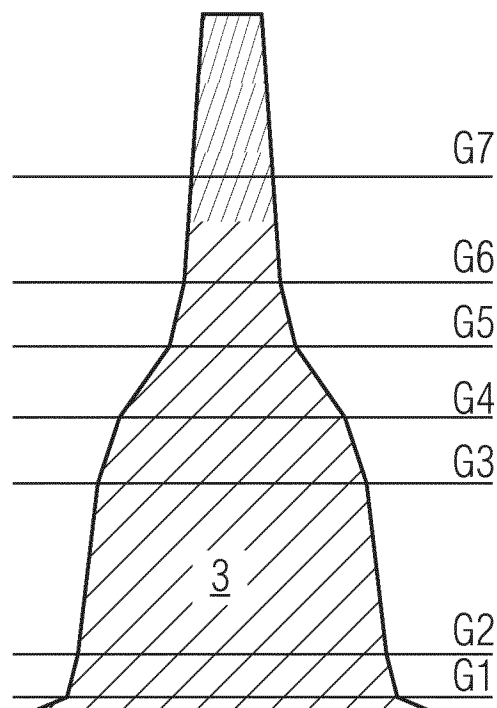


FIG 5

4/4

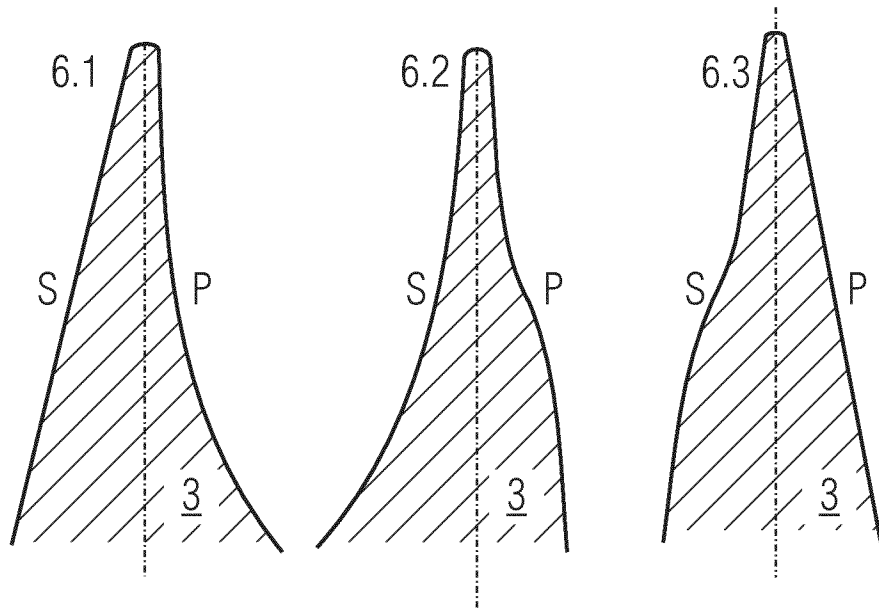


FIG 6

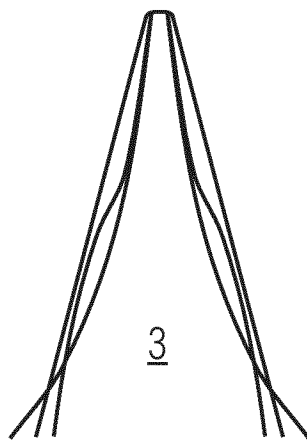


FIG 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/063958

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01D5/14 F04D29/28
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F01D F04D F02C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EP0-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/260074 A1 (HIGASHIMORI HIROTAKE [JP]) 24 November 2005 (2005-11-24)	1,2,8-14
Y	page 2, paragraph 42 - page 3, paragraph 44; figures 1-3	6
X	US 2 469 458 A (DUNNELLS NORMAN A ET AL) 10 May 1949 (1949-05-10)	1,2,13
X	US 2010/278633 A1 (DUONG LOC Q [US] ET AL) 4 November 2010 (2010-11-04)	1-5,13
Y	WO 2009/065030 A2 (BORGWARNER INC [US]; DECKER DAVID [US]; ROBY STEPHEN [US]) 22 May 2009 (2009-05-22)	6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 October 2013

Date of mailing of the international search report

24/10/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rau, Guido

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/063958

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005260074 A1	24-11-2005	EP 1741935 A1	10-01-2007
		JP 4545009 B2	15-09-2010
		JP 2005307967 A	04-11-2005
		KR 20060039396 A	08-05-2006
		US 2005260074 A1	24-11-2005
		WO 2005090794 A1	29-09-2005

US 2469458 A	10-05-1949	NONE	

US 2010278633 A1	04-11-2010	NONE	

WO 2009065030 A2	22-05-2009	DE 112008002864 T5	14-07-2011
		US 2010263373 A1	21-10-2010
		WO 2009065030 A2	22-05-2009

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/063958

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01D5/14 F04D29/28
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01D F04D F02C

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/260074 A1 (HIGASHIMORI HIROTAKE [JP]) 24. November 2005 (2005-11-24)	1,2,8-14
Y	Seite 2, Absatz 42 - Seite 3, Absatz 44; Abbildungen 1-3	6
X	US 2 469 458 A (DUNNELLS NORMAN A ET AL) 10. Mai 1949 (1949-05-10) Spalte 3, Zeile 27 - Spalte 3, Zeile 60; Abbildungen 5-9	1,2,13
X	US 2010/278633 A1 (DUONG LOC Q [US] ET AL) 4. November 2010 (2010-11-04) Seite 3, Absatz 26 - Seite 3, Absatz 28; Abbildung 6	1-5,13
Y	WO 2009/065030 A2 (BORGWARNER INC [US]; DECKER DAVID [US]; ROBY STEPHEN [US]) 22. Mai 2009 (2009-05-22) Abbildungen 7a,7b,8a,8b	6

☐

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Oktober 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/10/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Rau, Guido

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/063958

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005260074	A1	24-11-2005	EP 1741935 A1 10-01-2007
			JP 4545009 B2 15-09-2010
			JP 2005307967 A 04-11-2005
			KR 20060039396 A 08-05-2006
			US 2005260074 A1 24-11-2005
			WO 2005090794 A1 29-09-2005

US 2469458	A	10-05-1949	KEINE

US 2010278633	A1	04-11-2010	KEINE

WO 2009065030	A2	22-05-2009	DE 112008002864 T5 14-07-2011
			US 2010263373 A1 21-10-2010
			WO 2009065030 A2 22-05-2009
