(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
7. Januar 2010 (07.01.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/000229 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F01D 5/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000876

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Juni 2009 (24.06.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 031 781.0 4. Juli 2008 (04.07.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **MAN TURBO AG** [DE/DE]; Steinbrinkstrasse 1, 46145 Oberhausen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **NEUMANN, Günter** [DE/DE]; Schattbachstrasse 15, 44801 Bochum (DE). **GATZKE, Jörg** [DE/DE]; Dorstener Strasse 33, 46569 Hünxe (DE). **HARBECKE, Ulrich** [DE/DE]; Von-Trotha-Str. 30a, 46149 Oberhausen (DE). **SCHWARZ, Marc, Andre** [DE/DE]; Nelly-Sachs-Strasse 7, 46509 Xanten (DE).

(74) Anwalt: **SCHLOSSER, Stefan**; c/o MAN Diesel SE, Intellectual Property (GJP), Stadtbachstrasse 1, 86153 Augsburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BLADE CASCADE FOR A FLOW ENGINE AND FLOW ENGINE COMPRISING SAID BLADE CASCADE

(54) Bezeichnung: SCHAUFELGITTER FÜR EINE STRÖMUNGSMASCHINE UND STRÖMUNGSMASCHINE MIT EINEM SOLCHEN SCHAUFELGITTER

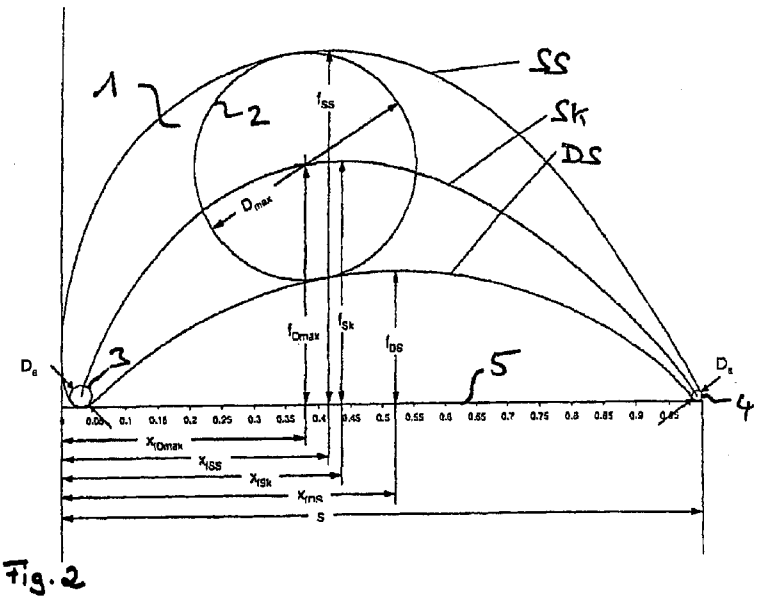


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a blade cascade for a flow engine, especially a steam turbine, comprising a plurality of profiled blades, especially profiled rotor blades (1), having an intake side (SS), a pressure side (DS), a median line (Sk) and a chord length (s) between a blade leading edge and a blade trailing edge. The invention is characterized in that a quotient of the chord length (s) for a maximum height (f_{SS}) of the intake side (SS) is between 0.53 and 0.55, a maximum height (f_{DS}) of the pressure side (DS) is between 0.19 and 0.21, a maximum height (f_{Sk}) of the median line (Sk) is between 0.36 and 0.38, a diameter (D_{max} / s) of a maximum circle extending between the intake and the pressure side is between 0.34 and 0.36, its distance between centers (x_{Dmax}/ s) is between 0.37 and 0.39, its height in the center (f_{xDmax} / s) is between 0.35 and 0.37, a diameter (D_e / s) of its leading edge circle (3) is between 0.025 and 0.045, a diameter (D_a / s) of a trailing edge circle (4) is between 0.01 and 0.02, a radius of curvature of the intake side (SS) at a distance ($X_{RkSS0.1}$) of 0.1 times the chord length (s) is between 0.39 and 0.41, a radius of curvature of the intake side (SS) at a distance ($X_{RkSS0.75}$) of 0.75 times the chord length (s) is between 0.83 and 0.85, a radius of curvature of the pressure side (DS) at a distance ($X_{RKD0.15}$) of 0.15 times the chord length (s) is between 0.74 and 0.76, and/or a radius of curvature of the pressure side (DS) at a distance ($X_{RkDS0.80}$) of 0.80 times the chord length (s) is between 0.55 and 0.57.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/000229 A2

SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Bei einem Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Dampfturbine, mit einer Mehrzahl von profilierten Schaufeln, insbesondere profilierten Laufschaufeln (1), mit einer Saugseite (SS), einer Druckseite (DS), einer Skelettlinie (Sk) und einer Sehnenlänge (s) zwischen einer Schaufelvorderkante und einer Schaufelhinterkante, liegt ein Quotient mit der Sehnenlänge (s) für - eine maximale Höhe (f_{SS}) der Saugseite (SS) zwischen 0,53 und 0,55, - eine maximale Höhe (f_{DS}) der Druckseite (DS) zwischen 0,19 und 0,21, - eine maximale Höhe (f_{Sk}) der Skelettlinie (Sk) zwischen 0,36 und 0,38, - einen Durchmesser (D_{max} / s) eines zwischen Saug- und Druckseite einbeschriebener maximalen Kreises zwischen 0,34 und 0,36, - seinen Mittelpunktsabstandes (x_{Dmax}/ s) zwischen 0,37 und 0,39, - seine Mittelpunktshöhe (f_{xDmax} / s) zwischen 0,35 und 0,37 - einen Durchmesser (D_e / s) eines Vorderkantenkreis (3) zwischen 0,025 und 0,045, - einen Durchmesser (D_a / s) eines Hinterkantenkreises (4) zwischen 0,01 und 0,02, - einen Krümmungsradius der Saugseite (SS) in einem Abstand ($X_{RkSS0.1}$) des 0,1-fachen der Sehnenlänge (s) zwischen 0,39 und 0,41, - einen Krümmungsradius der Saugseite (SS) in einem Abstand ($X_{RkSS0.75}$) des 0,75-fachen der Sehnenlänge (s) zwischen 0,83 und 0,85 - einen Krümmungsradius der Druckseite (DS) in einem Abstand ($X_{RKD0.15}$) des 0,15-fachen zwischen 0,74 und 0,76, und/oder - einen Krümmungsradius der Druckseite (DS) in einem Abstand ($X_{RkDS0.80}$) des 0,80-fachen der Sehnenlänge (s) zwischen 0,55 und 0,57.

Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine und Strömungsmaschine mit einem solchen Schaufelgitter

Die Erfindung betrifft ein Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Dampfturbine, mit einer Mehrzahl von profilierten Schaufeln, insbesondere profilierten Laufschaufeln, mit einer Saugseite, einer Druckseite, einer Skelettlinie, einer Schaufelvorderkante und einer Schaufelhinterkante, sowie eine Strömungsmaschine mit einem solchen Schaufelgitter.

In Strömungsmaschinen, beispielsweise Dampfturbinen, wird, insbesondere kompressibles, Fluid wie beispielsweise Dampf durch ein oder mehrere Schaufelgitter umgelenkt und übt dabei Kräfte auf das Schaufelgitter aus. Ist dieses beweglich, treiben das Fluid dieses Laufschaufelgitter an und verrichtet dabei Arbeit. Zur Umlenkung des Fluids, insbesondere auf stromabwärtige Laufschaufeln, können auch feststehende sogenannte Leitschaufelgitter vorgesehen sein.

Bei heutigen Schaufelgittern, insbesondere bei Laufschaufeln von Dampfturbinen, erfolgt in dem Strömungskanal, der zwischen einer Druckseite einer Schaufel und einer Saugseite einer in Umfangsrichtung benachbarten Schaufel definiert ist, eine signifikante Beschleunigung des Fluids, dessen statischer Druck dementsprechend hinter dem umlenkenden Schaufelgitter deutlich geringer ist, so dass das Fluid im Strömungskanal expandiert wird.

Derzeit eingesetzte Staffelungswinkel, i.e. die Winkel, die Tangenten an Schaufelvorder- und -hinterkante mit der Umfangsrichtung einschließen, liegen in einem Bereich zwischen 64° und 72°. Dabei werden Sehnenlängen zwischen Schaufelvorder- und -hinterkante bis zu 63 mm sowie Teilungsverhältnisse, i.e. Quotienten eines Abstandes in Umfangsrichtung zwischen achsparalleler Tangenten an Saugseiten benachbarter Schaufeln zu der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,85 und 1,1 erreicht. Hierfür optimale Anströmwinkel einer Anströmung der Schaufelvorderkante zu der Umfangsrichtung liegen je nach Einsatzbereich zwischen 37° und 47°, während Abströmwinkel von der Schaufelhinterkante in einem

Bereich zwischen 21° und 29° liegen, sich also von den Anströmwinkel signifikant unterscheiden.

Solche bekannten Schaufelgitter sind suboptimal.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Schaufelgitter mit den Merkmalen des Anspruchs 1, 5 bzw. 6 gelöst. Anspruch 10 stellt eine Strömungsmaschine mit einem solchen Schaufelgitter unter Schutz, die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

Ein Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine, beispielsweise eine Dampf- oder Gasturbine, ein Kompressor oder dergleichen, weist eine Mehrzahl von profilierten Schaufeln mit einer Saugseite, einer Druckseite, einer Skelettlinie und einer Sehnenlänge auf, die in Umfangsrichtung nebeneinander angeordnet sind.

Richtungsangaben wie „Umfangsrichtung", „radiale" und „axiale" Richtung beziehen sich dabei in fachüblicher Weise auf einen Rotor einer Strömungsmaschine. Als Skelettlinie oder auch (Profil-)Mittellinie bzw. Wölbungslinie wird in gebräuchlicher Weise die, vorzugsweise in axialer und/oder radialer Richtung gekrümmte, Linie bezeichnet, die von Saug- und Druckseite den gleichen Abstand aufweist, i.e. im Querschnitt genau zwischen der Druck- und Saugseite liegt. Die Profilkontur der Schaufel ist also um seine Skelettlinie symmetrisch. Mit anderen Worten ist die Skelettlinie die Verbindungslinie der in ein Profil einbeschriebenen Kreismittelpunkte. Saug- bzw. Druckseite sind durch die beiden in Umfangsrichtung beabstandeten Außenflächen eines Laufschaufelquerschnittes definiert, der normal zur radialen Richtung liegt.

Das Schaufelgitter kann beispielsweise als Laufschaufelgitter eine Stufe einer Dampfturbine bilden. In diesem Fall sind Saug- und Druckseite bevorzugt konvex in Drehrichtung des Turbinenrotors gekrümmt, wobei die Saugseite in Drehrichtung vor der Druckseite liegt, so dass das die Turbine durchströmende Fluid das Schaufelgitter und somit den Turbinenrotor, der dieses trägt, in Drehrichtung dreht, um Arbeit zu verrichten, beispielsweise einen mit dem Turbinenrotor gekoppelten Generator anzutreiben.

Die Sehne einer Schaufel, insbesondere eine Tangente an ihren Vorder- und Hinterkantenkreis, kann gegenüber der axialen Richtung geneigt sein. Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich Höhen- und Abstandsangaben daher auf ein Bitangentensystem, dessen eine Achse parallel zur Sehne der Schaufel und dessen andere Achse tangential zur Schaufelvorderkante ist, so dass beispielsweise eine Höhe im Querschnitt als Abstand von der Sehne definiert ist. Die Sehnenlänge bezeichnet dementsprechend den Abstand zwischen einer, in Strömungsrichtung des die Strömungsmaschine durchströmenden Fluides stromaufwärtigen, Schaufelvorderkante und einer stromabwärtigen Schaufelhinterkante längs der Sehne.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein Schaufelgitter verbessert werden kann, wenn das Verhältnis ganz bestimmter Schaufelhöhen, Schaufelkreise und/oder Schaufelkrümmungen zu dieser Sehnenlänge in bestimmten, vorgegebenen Bereichen liegt. Dabei ergeben sich bereits vorteilhafte Schaufelgitter, wenn eine oder mehrere Schaufelhöhen, eine oder mehrere Schaufelkreise oder eine oder mehrere Schaufelkrümmungen, bezogen auf die Sehnenlänge, in den nachfolgend angegebenen Bereichen liegen. Besonders vorteilhafte Schaufelgitter können dadurch realisiert werden, wenn eine oder mehrere Schaufelhöhen und Schaufelkreise, eine oder mehrere Schaufelhöhen und Schaufelkrümmungen, eine oder mehrere Schaufelkreise und Schaufelkrümmungen, und insbesondere eine oder mehrere Schaufelhöhen, Schaufelkreise und Schaufelkrümmungen in diesen Bereichen liegen.

Dabei beziehen sich Angaben auf Schaufelhöhen, Schaufelkreise bzw. Schaufelkrümmungen nachfolgend stets auf wenigstens einen Querschnitt normal zur radialen Richtung. Erstrecken sich die Druck- und Saugseiten der Schaufeln parallel zur radialen Richtung, geht also jeder Schaufelquerschnitt durch rein translatorische Verschiebung eines Querschnitts am radial innenliegenden Schaufelfuß entlag der radialen Richtung hervor, gelten die Angaben dementsprechend für alle Querschnitte. Gleichermaßen können die Druck- und/oder Saugseite jedoch auch in radialer Richtung gekrümmt sein, wobei dann in wenigstens einem Querschnitt, beispielsweise am Schaufelfuß, am Schaufelkopf und/oder in radialer Schaufelmitte eine oder mehrere Schaufelhöhen, Schaufelkreise und/oder Schaufelkrümmun-

gen, bezogen auf die Sehnenlänge, in den nachfolgend angegebenen Bereichen liegen sollten.

Dementsprechend wird nach einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass die Saugseite im Querschnitt eine maximale Höhe aufweist, deren Quotient mit der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,52 und 0,56, insbesondere zwischen 0,53 und 0,55 liegt. Zusätzlich oder alternativ weist die Druckseite im Querschnitt eine maximale Höhe auf, deren Quotient mit der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,18 und 0,22, insbesondere zwischen 0,19 und 0,21 liegt. Zusätzlich oder alternativ wird vorgeschlagen, dass die Skelettlinie im Querschnitt eine maximale Höhe aufweist, deren Quotient mit der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,35 und 0,39, insbesondere zwischen 0,36 und 0,38 liegt. Vorteilhaft liegen die maximalen Höhen von wenigstens zwei von der Saugseite, der Druckseite und der Skelettlinie jeweils in den angegebenen Bereichen, besonders bevorzugt von Saugseite, Druckseite und Skelettlinie.

Als Höhe wird dabei, wie vorstehend ausgeführt, insbesondere ein kürzester Abstand der Seite bzw. Skelettlinie von einer Verbindungsstrecke zwischen dem axialen Anfang und Ende der Skelettlinie, insbesondere von einer Tangente an einen Vorder- und –kantenkreis, im Querschnitt bezeichnet.

Bevorzugt erreicht die Saugseite ihre maximale Höhe in einem Bereich zwischen 0,39 und 0,43, insbesondere zwischen 0,40 und 0,42, gemessen von der Schaufelvorderkante im Bitangentensystem der Schaufel und bezogen auf die Sehnenlänge. Mit anderen Worten liegt eine größte Erstreckung im Querschnitt einer erfindungsgemäßen Schaufel vorzugsweise bei dem etwa 0,40- bis 0,42-fachen der Sehnenlänge, gemessen von dem axial vordersten Punkt der Schaufelkontur längs der Sehne.

In entsprechender Weise erreicht die Druckseite ihre maximale Höhe vorzugsweise in einem Bereich zwischen 0,50 und 0,54, insbesondere zwischen 0,51 und 0,53, gemessen von der Schaufelvorderkante im Bitangentensystem der Schaufel und bezogen auf die Sehnenlänge. Die Skelettlinie nimmt ihre maximale Höhe bevorzugt in einem Bereich zwischen 0,41 und 0,45, insbesondere zwischen 0,42

und 0,44, gemessen von der Schaufelvorderkante im Bitangentensystem der Schaufel und bezogen auf die Sehnenlänge ein.

Nach einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird zusätzlich oder alternativ zu dem vorstehend erläuterten ersten Aspekt vorgeschlagen, dass ein zwischen Saug- und Druckseite einbeschriebener maximaler Kreis, bezogen auf die Sehnenlänge, einen Durchmesser in einem Bereich zwischen 0,33 und 0,36, insbesondere zwischen 0,34 und 0,36, und/oder einen Mittelpunktsabstand, gemessen von der Schaufelvorderkante im Bitangentensystem der Schaufel, in einem Bereich zwischen 0,36 und 0,40, insbesondere zwischen 0,37 und 0,39 und/oder eine Höhe im Querschnitt, gemessen von der Sehne, in einem Bereich zwischen 0,34 und 0,38, insbesondere zwischen 0,35 und 0,37 aufweist, dass ein Vorderkantenkreis, bezogen auf die Sehnenlänge, einen Durchmesser in einem Bereich zwischen 0,024 und 0,046, insbesondere zwischen 0,025 und 0,045 aufweist, und/oder dass ein Hinterkantenkreis, bezogen auf die Sehnenlänge , einen Durchmesser in einem Bereich zwischen 0,099 und 0,021, insbesondere zwischen 0,01 und 0,02 aufweist.

Zwischen Druck- und Saugseite können Kreise einbeschrieben werden, deren Mittelpunkte auf der Skelettlinie liegen, und die die Druck- bzw. Saugseite von Innen berühren. Der größte dieser Kreise bildet den einbeschriebenen maximalen Kreis. Vorder- bzw. Hinterkantenkreis definieren vorzugsweise die Vorder- bzw. Hinterkante der Schaufel derart, dass die Schaufelkontur im Übergang von Druck- und Saugseite einen Krümmungsradius aufweist, der dem Radius des Vorder- bzw. Hinterkantenkreises entspricht.

Nach einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird zusätzlich oder alternativ zu dem vorstehend erläuterten ersten und/oder zweiten Aspekt vorgeschlagen, dass die Saugseite in einem Abstand des 0,1-fachen der Sehnenlänge, gemessen von der Schaufelvorderkante im Bitangentensystem der Schaufel, einen Krümmungsradius aufweist, dessen Quotient mit der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,38 und 0,42, insbesondere zwischen 0,39 und 0,41 liegt, und/oder in einem axialen Abstand des 0,75-fachen der Sehnenlänge einen Krümmungsradius aufweist, dessen Quotient mit der Sehnenlänge in einem Be-

reich zwischen 0,82 und 0,86, insbesondere zwischen 0,83 und 0,85 liegt, und/oder dass die Druckseite in einem axialen Abstand des 0,15-fachen der Sehnenlänge, gemessen von der Schaufelvorderkante im Bitangentensystem der Schaufel, einen Krümmungsradius aufweist, dessen Quotient mit der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,73 und 0,77, insbesondere zwischen 0,74 und 0,76 liegt, und/oder in einem axialen Abstand des 0,80-fachen der Sehnenlänge einen Krümmungsradius aufweist, dessen Quotient mit der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,54 und 0,58, insbesondere zwischen 0,55 und 0,57 liegt.

Bei einem Schaufelgitter nach dem ersten, zweiten und/oder dritten Aspekt wird vorteilhaft das Medium im Wesentlichen nur umgelenkt, ohne signifkant beschleunigt zu werden, so dass der Druck vor und nach dem Schaufelgitter sich nur in geringerem Maße reduziert. Vorteilhaft kann auch eine ablösungsarme Grenzschichtströmung entlang der Druck- und Saugseite und/oder eine größere Strömungsumlenkung erzielt, i.e. der von dem Fluid auf das Schaufelgitter übertragene Impuls vergrößert werden. Damit kann der Wirkungsgrad des Strömungsgitters erhöht werden. Insbesondere bei häufig nur teilbeaufschlagten Regelstufen von Dampfturbinen kann sich die Umlenkung ohne signifikante Druckreduzierung vorteilhaft auswirken. Ein weiterer Vorteil kann darin liegen, dass ein erfindungsgemäßes Schaufelgitter einfacher herstellbar, insbesondere ohne behindernde Umsetzvorgänge fräsbar ist.

Bevorzugt schließt die Sehne bzw. eine Tangente an Schaufelvorder- und -hinterkante mit der Umfangsrichtung einen sogenannten Staffelungswinkel ein, der in einem Bereich zwischen 73° und 83°, insbesondere zwischen 74° und 82° liegt, was sich im Gegensatz zu herkömmlichen Staffelungswinkeln ebenfalls vorteilhaft auf den Wirkungsgrad auswirkt.

Vorzugsweise kann bei einem Schaufelgitter nach der vorliegenden Erfindung ein Teilungsverhältnis eines Abstandes zur axialen Richtung paralleler Tangenten an Saugseiten in Umfangsrichtung benachbarter Schaufeln zu der Sehnenlänge in einem Bereich zwischen 0,70 und 0,79, insbesondere zwischen 0,71 und 0,78 liegen. Ist die Umfangserstreckung des Profils kleiner als die Teilung, sind keine rhomboidischen Fußformen oder Plattformen erforderlich, was sich bei Fertigung,

insbesondere hinsichtlich vorzuhaltendem Werkzeug- und Materialbestand vorteilhaft auswirkt.

Durch kleine Teilungsverhältnisse lassen sich höhere Schaufelzahlen bei gleicher Sehnenlänge, die bevorzugt höchstens 70 mm, insbesondere höchstens 63 mm beträgt, darstellen, was nicht nur vorteilhaft die Festigkeit verbessert, sondern aufgrund der verbesserten Festigkeit auch höhere Massenströme zulässt. In einer Ausführung der vorliegenden Erfindung kann so die Schaufelzahl bei gleicher Sehnenlänge um ungefähr 20% erhöht werden.

Bei einer Strömungsmaschine nach der vorliegenden Erfindung können vorteilhaft steilere Zu- bzw. Anströmwinkel einer Anströmung der Schaufelvorderkante zu der axialen Richtung realisiert werden, die insbesondere in einem Bereich zwischen 26° und 38°, vorzugsweise zwischen 27° und 37° liegen können. Somit können vorteilhaft Strömungen mit größerem Drall vor der Beschaufelung abgearbeitet werden. Mit einem erfindungsgemäßen Schaufelgitter können insbesondere die Druckspitzen im Vorderkantenbereich reduziert werden.

Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen und den Ausführungsbeispielen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert:

Fig. 1: eine Laufschaufel eines Schaufelgitters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in perspektivischer Ansicht;

Fig. 2: die Laufschaufel nach Fig. 1 in einem Querschnitt II-II normal zur radialen Richtung mit charakteristischen Schaufelhöhen und -kreisen im Bitangentensystem;

Fig. 3: die Laufschaufel nach Fig. 1 in Fig. 2 entsprechender Darstellung mit charakteristischen Schaufelkrümmungen; und

Fig. 4: zwei in Umfangsrichtung benachbarte Laufschaufeln des Schaufelgitters nach Fig. 1 in entsprechender Querschnittansicht.

Fig. 1 zeigt eine profilierte Laufschaufel 1 eines Schaufelgitters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung mit einem dreilappigen Steckfuß. Zur Orientie-

rung sind die radiale Richtung r, die Umfangsrichtung U und die axiale Richtung a eingezeichnet.

Fig. 2 zeigt diese Laufschaufel in einem Querschnitt II-II normal zur radialen Richtung r (vgl. Fig. 1) mit charakteristischen Schaufelhöhen und -kreisen im Bitangentensystem, dessen Achsen mit der axialen bzw. Umfangsrichtung jeweils den nachfolgend näher erläuterten Staffelungswinkel β_s einschließen. Dabei ist eine erste Achse (von links nach rechts in Fig. 2) des Bitangentensystems, auf das sich nachfolgende Dimensionsangaben beziehen, parallel zu einer Sehne 5 der Laufschaufel 1, i.e. tangential zu einem Vorder- und Hinterkantenkreis 3, 4, eine zweite Achse /von unten nach oben in Fig. 2) tangential zur Vorderkante. Die weiteren, nicht dargestellten Laufschaufeln sind in ihren Abmessungen identisch.

Die Laufschaufel 1 weist eine in Drehrichtung vordere Saugseite SS (oben in Fig. 1), eine in Drehrichtung hintere Druckseite DS und eine Skelettlinie Sk auf, die in jedem Punkt von Saug- und Druckseite den gleichen Abstand aufweist, i.e. im Querschnitt genau zwischen der Druck- und Saugseite liegt.

Eine Sehnenlänge s der Sehne 5 zwischen einer Schaufelvorderkante und einer Schaufelhinterkante beträgt 60 mm. Da die nachfolgend erläuterten ausgezeichneten Schaufelkreise, -höhen und –krümmungen erfindungsgemäß mit dieser Sehnenlänge vorgegebene Verhältnisse aufweisen, ist die Sehnenlänge s in Fig. 2 und 3 auf „1“ normiert.

Die Saugseite SS weist im Querschnitt eine maximale Höhe f_{SS} von der Sehne 5 aus auf, gemessen im Bitangentensystem, deren Quotient f_{SS} / s mit der Sehnenlänge s 0,54 beträgt. Die Druckseite DS weist im Querschnitt eine maximale Höhe f_{DS} auf, deren Quotient f_{DS} / s mit der Sehnenlänge s 0,20 beträgt. Die Skelettlinie Sk weist im Querschnitt eine maximale Höhe f_{Sk} auf, deren Quotient f_{Sk} / s mit der Sehnenlänge s 0,37 beträgt:

$$f_{SS} / s = 0{,}54,$$

$$f_{Sk} / s = 0{,}37,$$

$$f_{DS} / s = 0{,}20.$$

Die Saugseite SS weist ihre maximale Höhe f_{SS} in einer Position x_{fSS} auf, die, bezogen auf die Sehnenlänge s, 0,41 beträgt, gemessen längs der Sehne 5 im Bitangentensystem (von links nach rechts in Fig. 2) von der Schaufelvorderkante aus. Mit anderen Worten beträgt das Verhältnis x_{fSS} / s 0,41. Die Druckseite DS erreicht ihre maximale Höhe f_{DS} in einer axialen Position x_{fDS} auf, die, bezogen auf die Sehnenlänge s, 0,52 beträgt. Die Skelettlinie Sk weist ihre maximale Höhe f_{Sk} in einer axialen Position x_{fSk} auf, die, bezogen auf die Sehnenlänge s, 0,43 beträgt.

$$x_{fSS} / s\ 0{,}41,$$

$$x_{fSk} / s = 0{,}43,$$

$$x_{fDS} / s = 0{,}52.$$

Ein zwischen Saug- und Druckseite einbeschriebener maximaler Kreis 2 weist, wiederum bezogen auf die Sehnenlänge s, einen Durchmesser D_{max} / s von 0,35 auf, sein Mittelpunkt von der Schaufelvorderkante längs der Sehne 5 im Bitangentensystem einen Abstand x_{Dmax} / s von 0,38, von der Sehne 5 eine Höhe f_{xDmax} / s von 0,36. Der Vorderkantenkreis 3 weist, bezogen auf die Sehnenlänge s, der Durchmesser D_e / s 0,035 auf, ein Hinterkantenkreis 4 einen Durchmesser D_a / s von 0,015:

$$D_{max} / s = 0{,}35,; x_{Dmax} / s = 0{,}38; f_{xDmax} / s = 0{,}36,$$

$$D_e / s = 0{,}035,$$

$$D_a / s = 0{,}015.$$

Wie in Fig. 3 dargestellt, weist die Saugseite SS in einem axialen Abstand $x_{RkSS0,1}$ des 0,1-fachen der Sehnenlänge s, gemessen von der Schaufelvorderkante längs der Sehne 5, einen Krümmungsradius $R_{kSS0,1}$ auf, dessen Quotient $R_{kSS0,1}$ / s mit der Sehnenlänge s 0,40 beträgt. In einem Abstand $x_{RkSS0,75}$ des 0,75-fachen der Sehnenlänge s beträgt ein Quotient $R_{kSS0,75}$ / s mit der Sehnenlänge s eines Krümmungsradius $R_{kSS0,75}$ 0,84.

$$x_{RkSS0,1} /s = 0{,}1; R_{kSS0,1} / s = 0{,}40,$$

$x_{RkSS0,75}$ /s = 0,75; $R_{kSS0,75}$ / s = 0,84.

Auf der Druckseite beträgt der Quotient $R_{kDS0,15}$ / s, den einen Krümmungsradius $R_{kDS0,15}$ in einem Abstand $x_{RkDS0,15}$ des 0,15-fachen der Sehnenlänge s, gemessen von der Schaufelvorderkante längs der Sehne 5, mit der Sehnenlänge s bildet, 0,75, ein Quotient $R_{kDS0,80}$ / s eines Krümmungsradius' $R_{kDS0,80}$ in einem axialen Abstand $x_{RkDS0,80}$ des 0,80-fachen der Sehnenlänge s 0,56.

$x_{RDS0,15}$ /s = 0,15; $R_{kDS0,15}$ / s = 0,75,

$x_{RkDS0,80}$ /s = 0,80; $R_{kDS0,80}$ / s = 0,56.

Die Sehne 5 bzw. eine Tangente an Schaufelvorder- und -hinterkante schließt mit der Umfangsrichtung U einen Staffelungswinkel β_S ein, der in Fig. 4 eingetragen ist und 78° beträgt. Ein Teilungsverhältnis t/s eines Abstandes t (vgl. Fig. 4) achsparalleler Tangenten an Saugseiten SS in Umfangsrichtung benachbarter Schaufeln zu der Sehnenlänge s beträgt 0,74.

Ein Anströmwinkel β_1 einer in Fig. 4 durch einen Pfeil angedeuteten Anströmung der Schaufelvorderkante zur Umfangsrichtung beträgt 32°, ein entsprechender Abströmwinkel β_2 25°.

Bezugszeichenliste

1	Laufschaufel
2	maximaler einbeschriebener Kreis
3	Vorderkantenkreis
4	Hinterkantenkreis
5	Sehne
SS	Saugseite
DS	Druckseite
Sk	Skelettlinie

Patentansprüche

1. Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Dampfturbine, mit einer Mehrzahl von profilierten Schaufeln, insbesondere profilierten Laufschaufeln (1), mit einer Saugseite (SS), einer Druckseite (DS), einer Skelettlinie (Sk) und einer Sehnenlänge (s) zwischen einer Schaufelvorderkante und einer Schaufelhinterkante, dadurch gekennzeichnet, dass die Saugseite (SS) im Querschnitt eine maximale Höhe (f_{SS}) aufweist, deren Quotient (f_{SS} / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,52 und 0,56, insbesondere zwischen 0,53 und 0,55 liegt, und/oder dass die Druckseite (DS) im Querschnitt eine maximale Höhe (f_{DS}) aufweist, deren Quotient (f_{DS} / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,18 und 0,22, insbesondere zwischen 0,19 und 0,21 liegt, und/oder dass die Skelettlinie (Sk) im Querschnitt eine maximale Höhe (f_{Sk}) aufweist, deren Quotient (f_{Sk} / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,35 und 0,39, insbesondere zwischen 0,36 und 0,38 liegt.

2. Schaufelgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Saugseite (SS) ihre maximale Höhe (f_{SS}) in einem Bereich (x_{fSS} / s) zwischen 0,39 und 0,43, insbesondere zwischen 0,40 und 0,42, gemessen von der Schaufelvorderkante und bezogen auf die Sehnenlänge (s) aufweist.

3. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckseite (DS) ihre maximale Höhe (f_{DS}) in einem Bereich (x_{fDS} / s) zwischen 0,50 und 0,54, insbesondere zwischen 0,51 und 0,53, gemessen von der Schaufelvorderkante und bezogen auf die Sehnenlänge (s) aufweist.

4. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Skelettlinie (Sk) ihre maximale Höhe (f_{Sk}) in einem Bereich (x_{fSk} / s) zwischen 0,41 und 0,45, insbesondere zwischen 0,42 und 0,44, gemessen von der Schaufelvorderkante und bezogen auf die Sehnenlänge (s) aufweist.

5. Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Dampfturbine, mit einer Mehrzahl von profilierten Schaufeln, insbesondere profilierten Laufschaufeln (1), mit einer Saugseite (SS), einer Druckseite (DS), einer Skelettlinie (Sk) und einer Sehnenlänge (s) zwischen einer Schaufelvorderkante und einer Schaufelhinterkante, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein zwischen Saug- und Druckseite einbeschriebener maximaler Kreis, bezogen auf die Sehnenlänge (s), einen Durchmesser (D_{max} / s) in einem Bereich zwischen 0,33 und 0,36, insbesondere zwischen 0,34 und 0,36, und/oder einen Mittelpunktsabstand (x_{Dmax} / s), gemessen von der Schaufelvorderkante, in einem Bereich zwischen 0,36 und 0,40, insbesondere zwischen 0,37 und 0,39, und/oder eine Mittelpunktshöhe im Querschnitt (f_{xDmax} / s) in einem Bereich zwischen 0,34 und 0,38, insbesondere zwischen 0,35 und 0,37 aufweist, und/oder dass ein Vorderkantenkreis (3), bezogen auf die Sehnenlänge (s), einen Durchmesser (D_e / s) in einem Bereich zwischen 0,024 und 0,046, insbesondere zwischen 0,025 und 0,045 aufweist, und/oder dass ein Hinterkantenkreis (4), bezogen auf die Sehnenlänge (s), einen Durchmesser (D_a / s) in einem Bereich zwischen 0,099 und 0,021, insbesondere zwischen 0,01 und 0,02 aufweist.

6. Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Dampfturbine, mit einer Mehrzahl von profilierten Schaufeln, insbesondere profilierten Laufschaufeln (1), mit einer Saugseite (SS), einer Druckseite (DS), einer Skelettlinie (Sk) und einer Sehnenlänge (s) zwischen einer Schaufelvorderkante und einer Schaufelhinterkante, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Saugseite (SS) in einem Abstand ($x_{RkSS0,1}$) des 0,1-fachen der Sehnenlänge (s), gemessen von der Schaufelvorderkante, einen Krümmungsradius ($R_{kSS0,1}$) aufweist, dessen Quotient ($R_{kSS0,1}$ / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,38 und 0,42, insbesondere zwischen 0,39 und 0,41 liegt, und/oder in einem Abstand ($x_{RkSS0,75}$) des 0,75-fachen der Sehnenlänge (s), gemessen von der Schaufelvorderkante, einen Krümmungsradius ($R_{kSS0,75}$) aufweist, dessen Quotient ($R_{kSS0,75}$ / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,82 und 0,86, insbesondere zwischen 0,83 und 0,85 liegt, und/oder dass die Drucksei-

te (DS) in einem Abstand ($x_{RKD0,15}$) des 0,15-fachen der Sehnenlänge (s), gemessen von der Schaufelvorderkante, einen Krümmungsradius ($R_{kDS0,15}$) aufweist, dessen Quotient ($R_{kDS0,15}$ / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,73 und 0,77, insbesondere zwischen 0,74 und 0,76 liegt, und/oder in einem Abstand ($x_{RkDS0,80}$) des 0,80-fachen der Sehnenlänge (s), gemessen von der Schaufelvorderkante, einen Krümmungsradius ($R_{kDS0,80}$) aufweist, dessen Quotient ($R_{kDS0,80}$ / s) mit der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,54 und 0,58, insbesondere zwischen 0,55 und 0,57 liegt.

7. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Sehne (5) der Laufschaufeln (1) mit der Umfangsrichtung (U) einen Staffelungswinkel (β_S) einschließt, der in einem Bereich zwischen 73° und 83°, insbesondere zwischen 74° und 82° liegt.

8. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sehnenlänge (s) kleiner oder gleich 70 mm, insbesondere kleiner oder gleich 63 mm ist.

9. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Teilungsverhältnis (t/s) eines Abstandes (t) achsparalleler Tangenten an Saugseiten (SS) in Umfangsrichtung (U) benachbarter Schaufeln zu der Sehnenlänge (s) in einem Bereich zwischen 0,70 und 0,79, insbesondere zwischen 0,71 und 0,78 liegt.

10. Strömungsmaschine, insbesondere Dampfturbine, mit wenigstens einem Schaufelgitter nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche.

11. Strömungsmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Anströmwinkel (β_1) einer Anströmung der Schaufelvorderkante zu der Umfangsrichtung in einem Bereich zwischen 26° und 38°, insbesondere zwischen 27° und 37° liegt.

12. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abströmwinkel (β_2) einer Abströmung von der Schaufelhin-

terkante zu der Umfangsrichtung in einem Bereich zwischen 20° und 30°, insbesondere zwischen 21° und 29° liegt.

Fig. 1

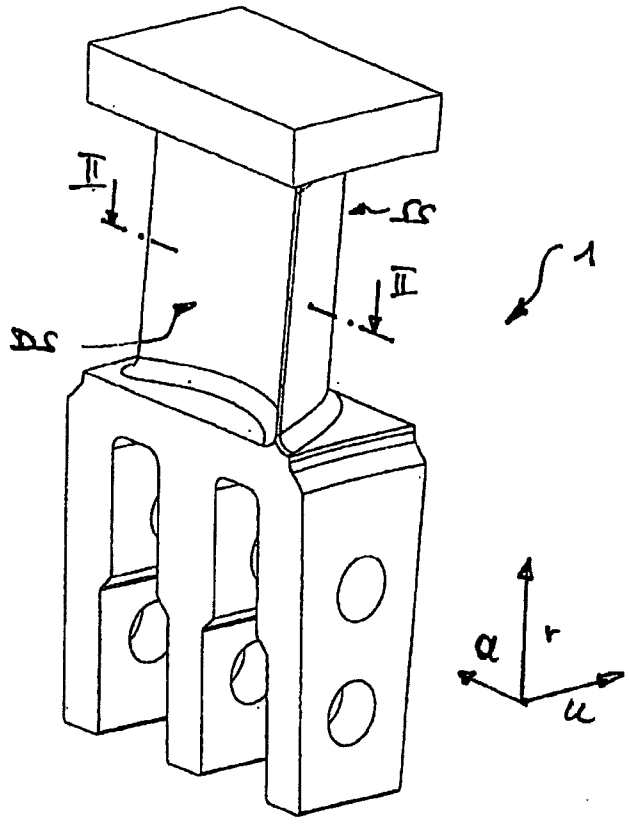
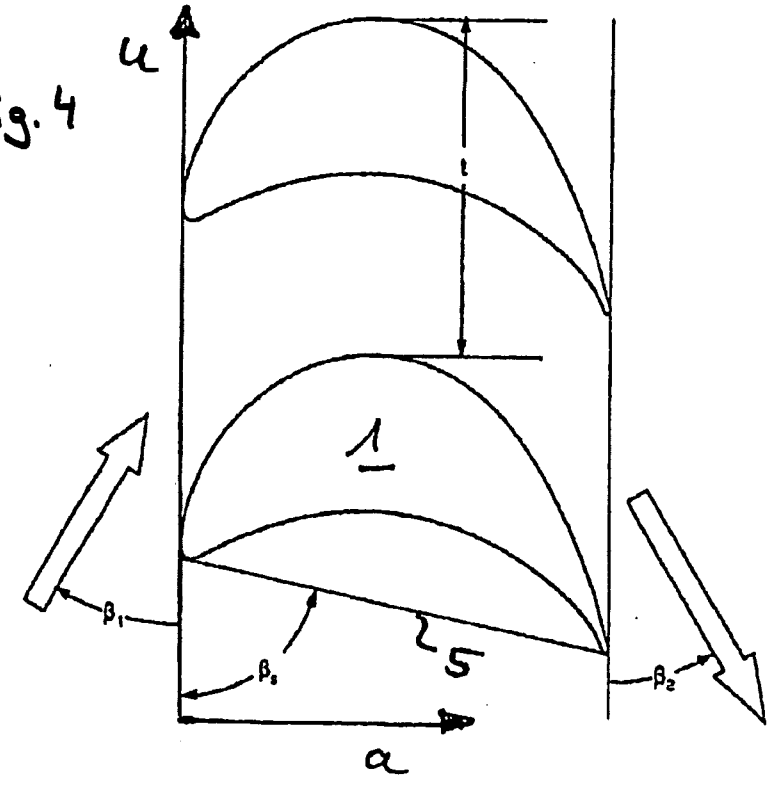


Fig. 4



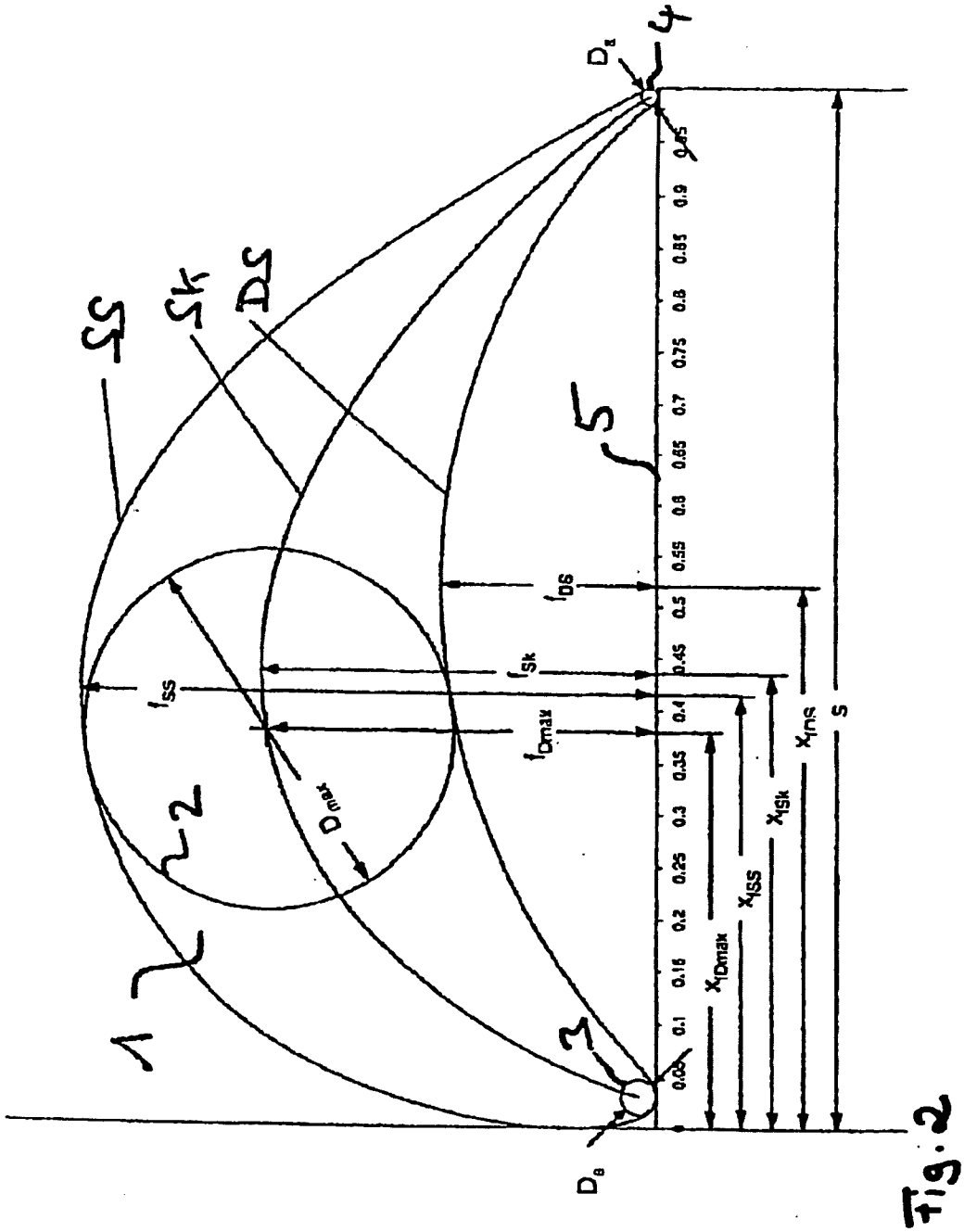

SS
SK
DS
1
2
3
4
5
D_a
D_e
D_{max}
l_{SS}
l_{SK}
l_{DS}
l_{Dmax}
x_{lDmax}
x_{lSS}
x_{lSK}
x_{lDS}
S
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
0.55
0.6
0.65
0.7
0.75
0.8
0.85
0.9
0.95

Fig. 2

3/3

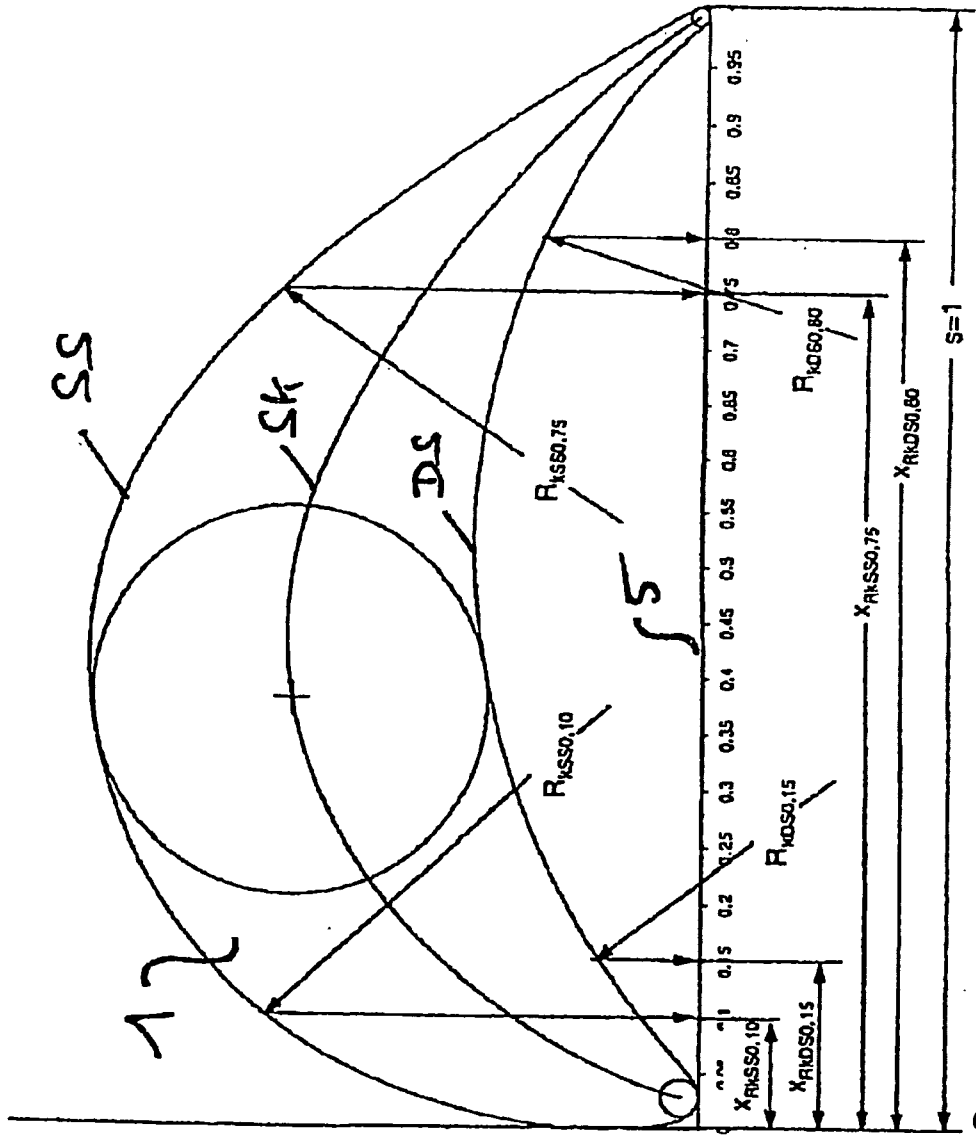

SS
Sk
DS
S
1
2
$R_{kSS0,75}$
$R_{kSS0,10}$
$R_{kDS0,80}$
$R_{kDS0,15}$
$X_{RkSS0,75}$
$X_{RkDS0,80}$
$X_{RkSS0,10}$
$X_{RkDS0,15}$
S=1

Fig. 3