



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**09.01.2019 Patentblatt 2019/02**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/00 (2006.01)** **F01D 5/30 (2006.01)**  
**F01D 5/34 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **17180253.1**

(22) Anmeldetag: **07.07.2017**

(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:  
**MA MD**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Becs, Balazs Janos**  
**47447 Moers (DE)**  
• **Nilsson, Ricardo**  
**40474 Düsseldorf (DE)**

(54) **TURBINENSCHAUFEL UND BEFESTIGUNGS-AUSNEHMUNG FÜR EINE STRÖMUNGSMASCHINE, SOWIE DEREN HERSTELLUNGSVERFAHREN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine, mit einem Schaufelbefestigungsabschnitt (4), der mindestens einen Verankerungszahn (10, 11, 12) aufweist, der zum Einbau in eine entsprechende Befestigungsausnehmung (32) ausgebildet ist, wobei der mindestens eine Verankerungszahn (10, 11, 12) mindestens eine Verankerungszahnflanke (15, 16) aufweist, deren Fläche von zwei sich in Füge­richtung erstreckenden Kanten (41, 42) und von einer Anfangskante (39) und von einer Endkante (40), deren Erstreckungsrichtung von der Füge­richtung abweichen, begrenzt ist, wobei eine der Verankerungszahnflanken (15, 16) mindestens eine Erhöhung (38) entlang der sich in Füge­richtung erstreckenden Kanten (41, 42) aufweist, wobei die Erhöhung (38) eine maximale Ausdehnung in einem Bereich der Verankerungszahnflanke (15, 16) hat, der von der Anfangskante (39) und von der Endkante (40) der Verankerungszahnflanke (15, 16) mindestens größer Null beabstandet ist.

**FIG 2**

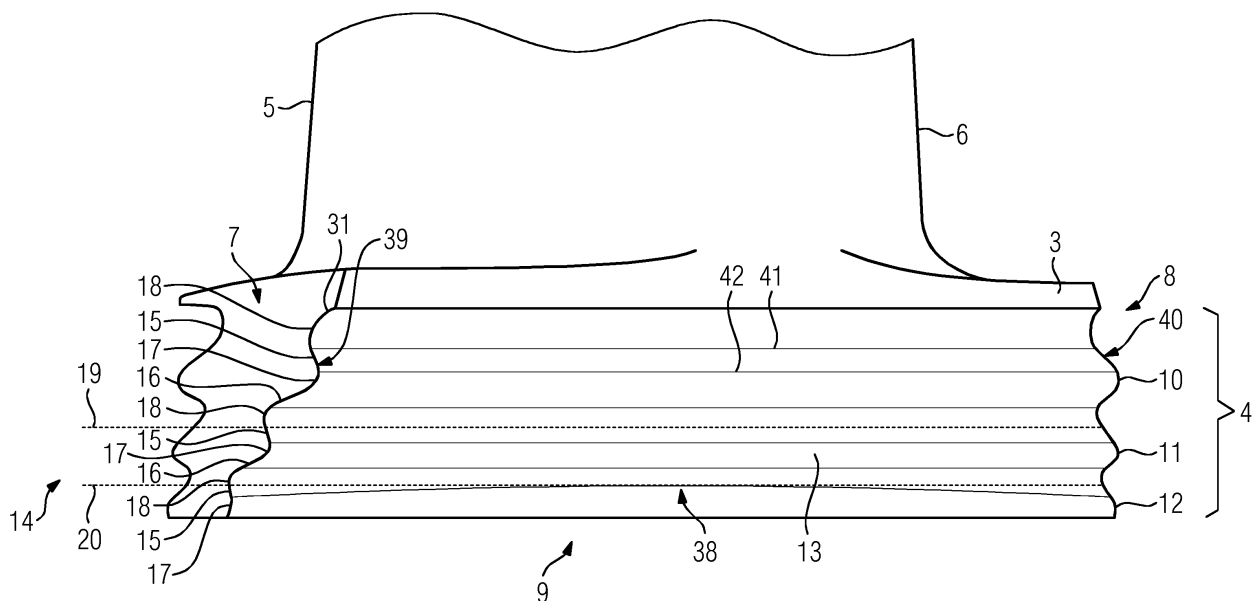
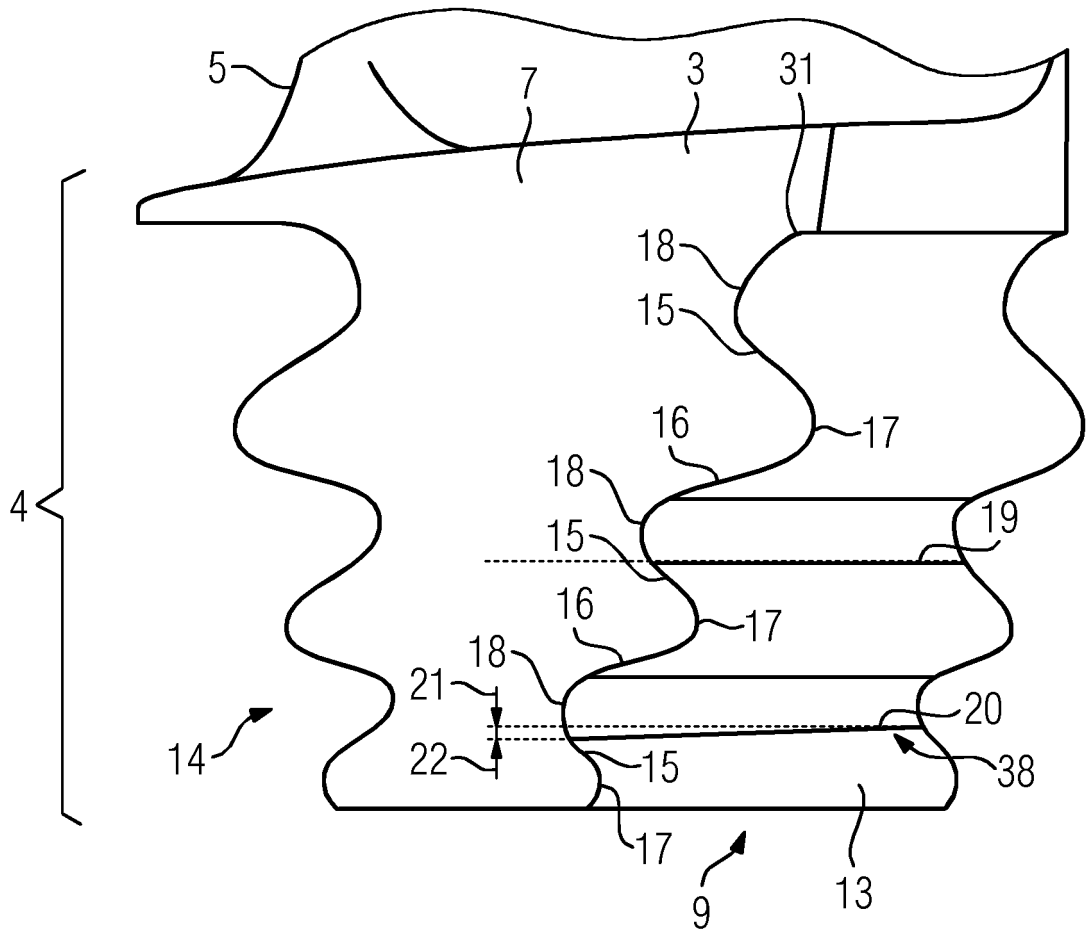


FIG 3



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine, eine Befestigungsausnehmung für eine Strömungsmaschine sowie Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel einer Strömungsmaschine und einer Befestigungsausnehmung einer Strömungsmaschine.

**[0002]** Eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine, wie beispielsweise einer Gasturbine, weist ein Schaufelblatt, eine Plattform und einen Schaufelbefestigungsabschnitt auf. Der Schaufelbefestigungsabschnitt dient dazu, dass die Turbinenschaufel in der für sie vorgesehenen Befestigungsausnehmung in allen Betriebsphasen befestigt ist. Die Betriebsphasen umfassen eine Volllast der Gasturbine, einen Stillstand der Gasturbine und alle Bereiche dazwischen. Die verschiedenen Betriebsphasen verursachen unterschiedliche Belastungen, die von dem Schaufelbefestigungsabschnitt und der Befestigungsausnehmung aufgenommen werden müssen. Hierzu weist der Schaufelbefestigungsabschnitt zu meist eine Profilform auf, die einen Formschluss mit der Befestigungsausnehmung formt, wodurch einer ungewollten Bewegung der Turbinenschaufel entgegen gewirkt wird. Unter Volllast erreichen moderne Gasturbinen eine sehr hohe Drehzahl, die zu einer sehr hohen nach außen gerichteten Zentrifugalkraft und einer sehr hohen nach innen gerichteten Zentripetalkraft, die auf die Turbinenschaufel wirken, führt. Aufgrund dieser hohen Kräfte sind insbesondere die Kontaktflächen, die den Formschluss zwischen dem Schaufelbefestigungsabschnitt und der Befestigungsausnehmung formen einer sehr hohen Belastung ausgesetzt.

**[0003]** Der Schaufelbefestigungsabschnitt weist in Füge richtung einen ersten Randbereich, der am Anfang des Schaufelbefestigungsabschnitts angeordnet ist, und einen zweiten Randbereich, der am Ende des Schaufelbefestigungsabschnitts angeordnet ist, auf. Diese Randbereiche sind unter hoher Last besonders hohen Belastungen, sogenannten Randspannungen, ausgesetzt. Diese Belastungen führen zu sehr hohen mechanischen Spannungen in diesen Randbereichen. Dadurch, dass die Randbereiche besonders hohen Spannungen ausgesetzt sind, können unter Volllast beispielsweise Spannungsspitzen entstehen, die die Werkstoffgrenzen des eingesetzten Werkstoffs übersteigen. Wenn die Spannungsspitzen die Werkstoffgrenzen übersteigen, können ungewollte Verformungen oder sogar Werkstoffbrüche auftreten, die den Schaufelbefestigungsabschnitt, die Turbinenschaufel und die gesamte Strömungsmaschine beschädigen können.

**[0004]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine, eine Befestigungsausnehmung für eine Strömungsmaschine sowie Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel einer Strömungsmaschine und einer Befestigungsausnehmung einer Strömungsmaschine zu schaffen, die in ihrem Schaufelbefestigungsabschnitt beziehungsweise in

der Befestigungsausnehmung ein Auftreten von Spannungsspitzen, die die Werkstoffgrenzen des eingesetzten Werkstoffs übersteigen, verhindern, wodurch die Turbinenschaufel und die Befestigungsausnehmung eine lange Lebensdauer haben.

**[0005]** Die Aufgabe wird gelöst mit den Merkmalen der Ansprüche 1, 8, 9, 10, 14 und 15. Bevorzugte Ausführungsformen dazu sind in den weiteren Ansprüchen angegeben.

**[0006]** Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine weist einen Schaufelbefestigungsabschnitt auf, der mindestens einen Verankerungszahn aufweist, der zum Einbau in eine entsprechende Befestigungsausnehmung ausgebildet ist, wobei der mindestens eine Verankerungszahn mindestens eine Verankerungszahnflanke aufweist, deren Fläche von zwei sich in Füge richtung erstreckenden Kanten und von einer Anfangskante und von einer Endkante, deren Erstreckungsrichtung von der Füge richtung abweichen, begrenzt ist, wobei eine der Verankerungszahnflanken mindestens eine Erhöhung entlang der sich in Füge richtung erstreckenden Kanten aufweist, wobei die Erhöhung eine maximale Ausdehnung in einem Bereich der Verankerungszahnflanke hat, der von der Anfangskante und von der Endkante der Verankerungszahnflanke mindestens größer Null beabstandet ist, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Verankerungszahnflanke anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung ausbildbar ist. Dadurch, dass mindestens eine der Verankerungszahnflanken eine Erhöhung entlang der sich in Füge richtung erstreckenden Kanten aufweist, bildet sich im Bereich der Erhöhung der definierte Eingriffspunkt oder der definierte Eingriffsbereich mit der anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung aus. Dadurch, dass die maximale Ausdehnung der Erhöhung in dem Bereich der Verankerungszahnflanke angeordnet ist, der von der Anfangskante und von der Endkante der Verankerungszahnflanke beabstandet ist, ist der Eingriffspunkt oder der Eingriffsbereich von Randbereichen des Schaufelbefestigungsabschnitts beabstandet, wodurch unter Last auftretende Spannungen in dem Eingriffspunkt oder dem Eingriffsbereich auftreten, der von der Anfangskante und von der Endkante beabstandet ist. Die Randbereiche sind Bereiche der Verankerungszahnflanke, die in der Nähe der Anfangskante oder der Endkante angeordnet sind. Dadurch, dass die auftretenden Spannungen nicht direkt an den Randbereichen des Schaufelbefestigungsabschnitts auftreten, bilden sich an diesen Bereichen keine oder nur geringere Spannungsspitzen aus, wodurch wiederum der eingesetzte Werkstoff einer geringeren Belastung ausgesetzt ist, weshalb die Lebensdauer des Schaufelbefestigungsabschnitts und der gesamten Turbinenschaufel verlängert wird. Eine Strömungsmaschine ist eine Fluidenergiemaschine, die eine Energieübertragung zwischen einem Fluid und einer Maschine mittels

Gesetzen der Fluidodynamik ermöglicht.

**[0007]** Der Schaufelbefestigungsabschnitt ist beispielsweise mit einem Profil ausgebildet, das an seinen beiden Profelseiten, einer ersten Profelseite und einer zweiten Profelseite, symmetrisch ausgebildet ist. Dabei kann der Schaufelbefestigungsabschnitt beispielhaft auf jeder der Profelseiten mehr als einen der Verankerungszähne aufweisen. Dadurch, dass jede der Profelseiten mehr als einen der Verankerungszähne aufweisen kann, weist jede der Profelseiten auch mehr als eine der Verankerungszahnflanken auf. Dadurch, dass jeder der Verankerungszähne zumeist zwei Verankerungszahnflanken aufweist, muss unterschieden werden in welche Richtung die Verankerungszahnflanken orientiert sind. Zumeist ist eine der Verankerungszahnflanken des Verankerungszahns im Wesentlichen radial nach außen hin orientiert und die andere der Verankerungszahnflanken des Verankerungszahns im Wesentlichen radial nach innen hin orientiert. Jene der Verankerungszahnflanken, die im Wesentlichen radial nach außen hin orientiert sind müssen unter Last viel höhere Spannungen aufnehmen als jene der Verankerungszahnflanken, die im Wesentlichen radial nach innen hin orientiert sind, da eine nach außen wirkende Zentrifugalkraft und eine nach innen wirkende Zentripetalkraft bei Rotation direkt an den radial nach außen hin orientierten Verankerungszahnflanken angreift. Aus diesem Grund ist es insbesondere vorteilhaft, wenn die nach außen hin orientierten Verankerungszahnflanken die Erhöhung aufweisen.

**[0008]** Dadurch, dass die Erhöhung in dem Bereich angeordnet ist, der von der Anfangskante und von der Endkante beabstandet ist, greifen die auftretenden Kräfte unter Last in einem Bereich der Verankerungszahnflanke an, der im Wesentlichen mittig entlang der sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten angeordnet ist. Die sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten verlaufen vorzugsweise in Strömungsmaschinenaxialrichtung, können aber beispielsweise auch davon abweichen und entlang einer Kurve verlaufen. Die sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten verlaufen vorzugsweise entlang dieser Kurve insofern die Befestigungsausnehmung, in der der Schaufelbefestigungsabschnitt eingefügt wird, entlang derselben Kurve beziehungsweise entlang derselben Kurven verläuft.

**[0009]** Die Anfangskante verbindet beispielhaft an einer vorderkantenseitigen Stirnseite des Schaufelbefestigungsabschnitts die beiden sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten und die Endkante verbindet an einer hinterkantenseitigen Stirnseite des Schaufelbefestigungsabschnitts die sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten. Somit bilden eine der Anfangskanten, eine der sich in Fügerichtung erstreckende Kanten, eine der Endkanten und eine der anderen sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten eine der Verankerungszahnflanken. Dabei können die sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten an verschiedenen Positionen auf dem Verankerungszahn angeordnet sein. Aufgrund einer zumeist stetig gekrümmt geformten Oberfläche der Verankerungs-

zähne sind die sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten nicht zwingend mittels zwei aneinanderstoßender Ebenen gebildet, sondern können beispielhaft frei auf der gekrümmten Oberfläche der Verankerungszähne von der einen Stirnseite bis hin zu der anderen Stirnseite angeordnet werden, um Verankerungszahnflankengrenzen zu definieren.

**[0010]** Dadurch, dass die Verankerungszahnflanke von den sie umgebenden Kanten gebildet ist, weist sie eine flächige geometrische Oberfläche auf, die von der geometrischen Form der Kanten gebildet ist. Somit muss die geometrische Oberfläche der Verankerungszahnflanken nicht eben sein, sondern kann beispielhaft gewölbt sein oder eine andere geometrische Form aufweisen. Die an einer gewölbten geometrischen Oberfläche angeordnete Erhöhung kann beispielhaft als eine etwas weiter nach außen gewölbten Oberfläche ausgebildet sein. Dadurch, dass die etwas weiter nach außen gewölbte Oberfläche eine Erhöhung bildet, bildet sich ein definierter Eingriffspunkt oder eine definierte Eingriffskante oder ein definierter Eingriffsbereich mit der anliegenden Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung aus. Die Befestigungsausnehmung weist hierzu beispielsweise eine nach innen gewölbte geometrische Oberfläche auf, die ein Negativ der nach außen gerichteten gewölbten geometrischen Oberfläche der Verankerungszahnflanke ohne der Erhöhung darstellt. Die Erhöhung kann beispielsweise auch nur eine sehr lokal positionierte Erhöhung oder eine wulstartig ausgeführte Aufdickung sein.

**[0011]** Es ist beispielhaft denkbar, dass sich die Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung unter Last elastisch verformt, wodurch sich die Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung an die anliegende Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung anschmiegt. Dadurch, dass sich die Verankerungszahnflanke an die Befestigungsausnehmung anschmiegt, erhöht sich die Fläche der Verankerungszahnflanke die die Spannungen aufnimmt, wodurch die Spannungen sich auf eine größere Fläche verteilen, weshalb sich lokale Spannungsspitzen verringern. Es ist beispielhaft denkbar, dass die gesamte Fläche der Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung nur unter einer relativ hohen Last an der Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung anliegt. Beispielhaft ist auch denkbar, dass die Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung nur unter Vollast der Strömungsmaschine auf der gesamten Fläche der Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung anliegt. Außerdem ist es denkbar, dass sich die Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung auch plastisch verformt, wodurch eine optimale Anschmiegung an die Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung für einen längeren Zeitraum realisiert werden kann.

**[0012]** Dadurch, dass die Verankerungszahnflanke mindestens eine Erhöhung aufweist, lassen sich die gesamten am Profil auftretenden Spannungen beeinflussen. Es ist beeinflussbar in welchen Bereichen die größten Spannungen und in welchen Bereichen die kleinsten Spannungen auftreten. Je nach Anforderungen

kann dadurch mittels der Positionierung mindestens einer Erhöhung die Spannungsverteilung beeinflusst werden, wodurch sich die Lebensdauer der Turbinenschaufel positiv beeinflussen lässt.

**[0013]** Fertigungsbedingt ist die Erhöhung mit dem Verankerungszahn zumeist materialeinheitlich ausgebildet, es ist jedoch auch denkbar, dass die Erhöhung aus einem anderen Material ausgebildet sein kann. Ferner kann die Erhöhung mit dem Verankerungszahn einstückig ausgebildet sein.

**[0014]** Bevorzugt weist der Schaufelbefestigungsabschnitt der Turbinenschaufel zwei oder mehrere Verankerungszähne auf, die jeweils die Erhöhung aufweisen. Dadurch, dass der Schaufelbefestigungsabschnitt zwei oder mehrere Verankerungszähne aufweist, die jeweils die Erhöhung aufweisen, bildet sich an jedem der Verankerungszähne der definierte Eingriffspunkt oder der definierte Eingriffsbereich mit der an der jeweiligen Verankerungszahnflanke anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung aus. Weist der Schaufelbefestigungsabschnitt beispielhaft an jeder der Profیلseiten drei Verankerungszähne mit jeweils zwei Verankerungszahnflanken auf, kann es vorteilhaft sein die zwei nach außen hin orientierten Verankerungszahnflanken der beiden radial weiter innen angeordneten Verankerungszähne der beiden Profیلseiten jeweils mit der Erhöhung auszustatten. Dadurch, dass nicht nur einer der Verankerungszahnflanken die Erhöhung aufweist, sondern mehrere oder alle der Verankerungszahnflanken die Erhöhung aufweisen können an mehreren oder an allen der Verankerungszahnflanken die Spannungsspitzen an den Randbereichen der Verankerungszahnflanken und/oder an den Verankerungszahntälern auftretende Kerbspannungen gesenkt oder sogar vermieden werden. Somit treten die größten Spannungen entlang der Verankerungszahnflanken und/oder die größten Kerbspannungen über den gesamten Schaufelbefestigungsabschnitt nur in dem Bereich auf, der von den Anfangskanten und von den Endkanten der Verankerungszahnflanken beabstandet ist. Dadurch, dass dieser Bereich die größten Spannungen aufnimmt, und nicht die Randbereiche erhöht sich die Lebensdauer des Schaufelbefestigungsabschnitts.

**[0015]** Bevorzugt weist die Verankerungszahnflanke einen Verankerungszahnflankenmittelpunkt auf, wobei die Erhöhung der Verankerungszahnflanke ihre maximale Ausdehnung in einem Bereich des Verankerungszahnflankenmittelpunkts hat. Der Verankerungszahnflankenmittelpunkt ist beispielsweise der geometrische Mittelpunkt der Fläche der Verankerungszahnflanke. Dadurch, dass die Erhöhung ihre maximale Ausdehnung in einem Bereich des Verankerungszahnflankenmittelpunkts hat, bildet sich der definierte Eingriffspunkt oder der definierte Eingriffsbereich mit der an der Verankerungszahnflanke anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung an dem Bereich des Verankerungszahnflankenmittelpunkts aus, wodurch die unter Last auftretenden Kräfte zuerst

in dem Bereich des Verankerungszahnflankenmittelpunkts angreifen und bei steigender Last aufgrund der elastischen und/oder der plastischen Verformung der Verankerungszahnflanke oder der Befestigungsausnehmung sich der Bereich vom Verankerungszahnflankenmittelpunkt ausgehend bis hin zu den Randbereichen der Verankerungszahnflanke erweitert, wodurch die Randbereiche beispielsweise nur unter Volllast relativ geringe Kräfte aufnehmen müssen. Dadurch, dass die Randbereiche nur unter Volllast relativ geringe Kräfte aufnehmen müssen entstehen in den Randbereichen relativ niedrige Spannungen, die wiederum zu relativ niedrigen Randspannungen führen, weshalb der erfindungsgemäße Schaufelbefestigungsabschnitt die längere Lebensdauer aufweist.

**[0016]** Bevorzugt weist die Erhöhung ein Erhöhungsprofil auf, das sich von der Anfangskante bis zu der Endkante erstreckt oder sich in einem Bereichsabschnitt zwischen der Anfangskante und der Endkante erstreckt. Das Erhöhungsprofil ist beispielhaft im Wesentlichen den sich in Füge-richtung erstreckenden Kanten folgend ausgebildet. Dabei kann sich die Erhöhung beispielhaft entlang der gesamten Verankerungszahnflanke, von der Anfangskante bis hin zu der Endkante erstrecken oder sich nur in einem Bereichsabschnitt zwischen der Anfangskante und der Endkante erstrecken. Dadurch, dass sich das Erhöhungsprofil vollständig oder nur bereichsweise entlang der gesamten Verankerungszahnflanke erstrecken kann, ist es möglich je nach Anforderungen die Erhöhung an der gewünschten Position entlang der Verankerungszahnflanke zu positionieren. Das Erhöhungsprofil kann dabei stetig oder unstetig oder bereichsweise stetig und/oder bereichsweise unstetig sein.

**[0017]** Bevorzugt ist das Erhöhungsprofil mindestens bereichsweise mindestens einer Kurve höherer Ordnung, einer sinusförmigen Kurve oder mindestens einem Kurvenabschnitt höherer Ordnung, einem sinusförmigen Kurvenabschnitt oder einem Geradenabschnitt folgend ausgebildet. Dadurch, dass das Erhöhungsprofil entlang den sich in Füge-richtung erstreckenden Kanten der sinusförmigen Kurve oder einer Kurve höherer Ordnung oder des sinusförmigen Kurvenabschnitts oder des Kurvenabschnitts höherer Ordnung folgend ausgebildet ist, kann ein besonders vorteilhaftes Anschmiegen der Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung an die Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung realisiert werden. Dabei ist es beispielhaft auch denkbar, dass sich mehrere maximale Ausdehnungen der Erhöhung entlang der Verankerungszahnflanke ausbilden. Dadurch, dass das Erhöhungsprofil entlang den sich in Füge-richtung erstreckenden Kanten beispielsweise entlang des Geradenabschnitts folgend ausgebildet ist, ist eine relativ einfache Herstellung der Erhöhung möglich.

**[0018]** Denkbar ist beispielhaft, dass sich das Erhöhungsprofil entlang den sich in Füge-richtung erstreckenden Kanten aus dem Geradenabschnitt, dem Kurvenabschnitt höherer Ordnung und dem sinusförmigen Kurvenabschnitt zusammensetzt. Außerdem ist es auch denk-

bar, dass das Erhöhungsprofil mehrere der maximalen Ausdehnungen und mehrere minimale Ausdehnungen aufweist. Das Erhöhungsprofil sollte den Anforderungen entsprechend gewählt werden und dient im Wesentlichen dazu eine optimale Kräfteübertragung von der Verankerungszahnflanke auf eine Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung zu ermöglichen. Außerdem ist es denkbar, dass mehrere der Verankerungszahnflanken oder jede der Verankerungszahnflanken ein unterschiedliches Erhöhungsprofil aufweisen.

**[0019]** Denkbar ist beispielhaft auch, dass sich das Erhöhungsprofil entlang der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten ändert und sich entlang der Anfangskante und/oder der Endkante ändert. Das Erhöhungsprofil ist dadurch je nach Anforderungen frei gestaltbar.

**[0020]** Bevorzugt ist die maximale Ausdehnung der Erhöhung in einem Bereich der Verankerungszahnflanke angeordnet, der von mindestens einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten der Verankerungszahnflanke beabstandet ist. Dadurch, dass die maximale Ausdehnung der Erhöhung in einem Bereich der Verankerungszahnflanke angeordnet ist, der von mindestens einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten der Verankerungszahnflanke beabstandet ist, ist der definierte Eingriffspunkt oder der definierte Eingriffsbereich der Verankerungszahnflanke mit der anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung von mindestens einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten beabstandet. Die Erhöhung kann somit auch ein entsprechendes Erhöhungsprofil entlang der Anfangskante und/oder entlang der Endkante aufweisen. Dieses Erhöhungsprofil entlang der Anfangskante und/oder entlang der Endkante kann aus denselben Kurvenabschnitten aufgebaut sein, wie das Erhöhungsprofil entlang einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten. Auch ist es möglich, dass sich das Erhöhungsprofil entlang der Anfangskante und/oder entlang der Endkante entlang der gesamten Anfangskante und/oder entlang der gesamten Endkante, von der einen sich in Füge- richtung erstreckenden Kante bis zu der anderen sich in Füge- richtung erstreckenden Kante erstreckt oder nur bereichsweise dazwischen ausgebildet ist. Ebenso kann das Erhöhungsprofil entlang der Anfangskante und/oder entlang der Endkante entlang einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten variieren.

**[0021]** Die Oberfläche der Erhöhung ist somit in Füge- richtung aus dem Erhöhungsprofil der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten und von der Füge- richtung abweichend aus dem Erhöhungsprofil der Anfangskante und/oder Endkante gebildet. Die Oberfläche der Erhöhung kann dadurch beispielhaft wellig oder bereichsweise wellig, glatt oder bereichsweise glatt, gekrümmt oder bereichsweise gekrümmt, stetig oder bereichsweise stetig, unstetig oder bereichsweise unstetig und eben oder bereichsweise eben sein.

**[0022]** Denkbar ist auch, dass der Schaufelbefestigungsabschnitt als ein Tannenbaumschaukelbefestigungsabschnitt ausgebildet ist. Dadurch, dass der

Schaukelbefestigungsabschnitt als ein Tannenbaumschaukelbefestigungsabschnitt ausgebildet ist, weist der Schaufelbefestigungsabschnitt mindestens zwei Verankerungszähne pro Profilseite auf, wobei der radial weiter innen angeordnete Verankerungszahn vorzugsweise die kleinere Verankerungszahnflanke aufweist als der radial weiter außen angeordnete Verankerungszahn. Außerdem weist der Tannenbaumschaukelbefestigungsabschnitt vorzugsweise eine V-Form, die von außen nach innen hin im Wesentlichen spitz zuläuft, auf. Dadurch, dass der radial weiter innen angeordnete Verankerungszahn vorzugsweise die kleinere Verankerungszahnflanke aufweist als der radial weiter außen angeordnete Verankerungszahn und aufgrund der V-Form des Tannenbaumschaukelbefestigungsabschnitts kann es vorteilhaft sein, dass die Erhöhung an dem radial weiter innen angeordneten Verankerungszahns angeordnet ist. Aufgrund der V-Form und der kleineren Fläche der radial weiter innen angeordneten Verankerungszahnflanke ist diese Verankerungszahnflanke leichter elastisch verformbar, weshalb sie sich vorteilhaft an die Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung anschmiegt und dadurch die auftretenden Kräfte vorteilhaft überträgt. Weshalb der Schaufelbefestigungsabschnitt die längere Lebensdauer aufweist.

**[0023]** Bevorzugt weist mindestens eine der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten und/oder die Anfangskante und/oder die Endkante eine Krümmung auf. Denkbar ist beispielhaft, dass die Befestigungsausnehmung, in die der Schaufelbefestigungsabschnitt eingebracht werden muss, eine Krümmung aufweist, somit ist für einen Formschluss erforderlich, dass auch der Schaufelbefestigungsabschnitt dieselbe Krümmung aufweist. Dadurch, dass der Schaufelbefestigungsabschnitt die Krümmung aufweist, weisen zumeist auch die sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten der Verankerungszahnflanke diese Krümmung auf. Dadurch, dass der Verankerungszahn beispielhaft einer anderen Krümmung folgen kann, können auch die Anfangskante und/oder die Endkante dieser anderen Krümmung folgen. Außerdem kann die Verankerungszahnflanke entlang der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten via eine weitere Krümmung in einen anderen Bereich des Verankerungszahns wie beispielsweise in ein Verankerungszahntal oder in eine Verankerungszahnspitze übergehen.

**[0024]** Denkbar ist, dass die Erhöhung eine maximale Ausdehnung von 0,2mm hat. Die maximale Ausdehnung der Erhöhung ist die Differenz zwischen dem Eingriffspunkt oder dem Eingriffsbereich mit der an der Verankerungszahnflanke anliegenden Eingriffsfläche der Befestigungsausnehmung und der Verankerungsflanke ohne Erhöhung.

**[0025]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaukel weist folgende Schritte auf:

- a) Bereitstellen einer Turbinenschaukel, die einen Schaufelbefestigungsabschnitt mit mindestens ei-

nem Verankerungszahn aufweist, der zum Einbau in eine entsprechende Befestigungsausnehmung ausgebildet wird, wobei der Verankerungszahn mindestens eine Verankerungszahnflanke aufweist; b) Unregelmäßiges Abtragen von Material von der Verankerungszahnflanke des Verankerungszahns entlang einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten, wodurch mindestens eine Erhöhung auf der Verankerungszahnflanke im Vergleich zu der un- bearbeiteten Verankerungszahnflanke ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Verankerungszahnflanke an- liegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung ausgebildet wird. Das unregelmäßige Abtragen von Material der Ver- ankerungszahnflanke führt dazu, dass eine oder mehrere Erhöhungen auf der Verankerungszahn- flanke im Vergleich zu der unbearbeiteten Veran- kerungszahnflanke ausgebildet werden. Die Erhöhung kann verschiedene geometrische Eigenschaften aufweisen, die bereits genannt wurden. Die Erhö- hung wird durch das Abtragen von Material an be- stimmten Bereichen der Verankerungszahnflanke realisiert. Bevorzugte Bereiche, in denen Material abgetragen wird, können beispielhaft Randbereiche der Verankerungszahnflanke sein.

**[0026]** Es ist denkbar, dass das Abtragen von Material mittels einer spanenden Bearbeitung erfolgt. Dadurch, dass das Abtragen von Material mittels einer spanenden Bearbeitung erfolgt, ist eine relativ genaue Gestaltung der Verankerungszahnflanke mit der Erhöhung ermög- licht. Die spanende Bearbeitung kann beispielhaft ein Fräsen, ein Schleifen, ein Hobeln oder andere spanende Verfahren umfassen.

**[0027]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Her- stellen einer Turbinenschaufel weist folgende Schritte auf: a) Bereitstellen einer Turbinenschaufel, die einen Schaufelbefestigungsabschnitt mit mindestens einem Verankerungszahn, der zum Einbau in eine entspre- chende Befestigungsausnehmung ausgebildet ist, auf- weist, wobei der Verankerungszahn mindestens eine Verankerungszahnflanke aufweist; b) Unregelmäßiges Aufbringen von Material auf die Verankerungszahnflan- ke des Verankerungszahns entlang einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten, wodurch mindestens eine Erhöhung auf der Verankerungszahnflanke im Ver- gleich zu der unbearbeiteten Verankerungszahnflanke ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Verankerungszahnflanke anlie- genden Befestigungsausnehmungszahnflanke der Be- festigungsausnehmung ausgebildet wird. Denkbar ist beispielhaft, dass das unregelmäßige Aufbringen von Material auf die Verankerungszahnflanke mittels Metho- den der additiven Fertigung realisiert wird. Auch ist es denkbar, dass die gesamte Turbinenschaufel oder Teile

der Turbinenschaufel wie beispielsweise der Schaufel- befestigungsabschnitt mittels Methoden der additiven Fertigung hergestellt werden. Wird der Schaufelbefesti- gungsabschnitt mittels Methoden der additiven Fertigung hergestellt, ist ein Versehen einer der Verankerungs- zahnflanken mit der Erhöhung besonders vorteilhaft re- alisierbar.

**[0028]** Denkbar ist beispielhaft, dass das Aufbringen von Material mittels eines Auftragsschweißens erfolgt. Dadurch, dass das Aufbringen von Material mittels eines Auftragsschweißens erfolgt, können beispielsweise auch bestehende Turbinenschaufeln mit der Erhöhung nachgerüstet werden.

**[0029]** Denkbar ist beispielhaft, dass vor dem Aufbrin- gen von Material zusätzliche Bearbeitungsschritte, wie beispielsweise ein Abtragen von Material, erfolgen kön- nen.

**[0030]** Erfindungsgemäß weist eine Befestigungsaus- nemung für eine Strömungsmaschine mindestens einen Befestigungsausnehmungszahn auf, der zur Auf- nahme eines Schaufelbefestigungsabschnitts einer Tur- binenschaufel ausgebildet ist, wobei der mindestens eine Befestigungsausnehmungszahn mindestens eine Befestigungsausnehmungszahnflanke aufweist, die mindestens eine Erhöhung entlang einer sich in Füge- richtung erstreckenden Kante aufweist, wobei die Erhö- hung eine maximale Ausdehnung in einem Bereich der Befestigungsausnehmungszahnflanke hat, der von einer Anfangskante und von einer Endkante der Befestigungs- ausnehmungszahnflanke mindestens größer Null beab- standet ist, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Befestigungsausnehmungszahnflanke an- liegenden Verankerungszahnflanke des Schaufelbefesti- gungsabschnitts ausbildbar ist. Denkbar ist beispielhaft auch, dass die Erhöhung nicht an dem Schaufelbefesti- gungsabschnitt, sondern an der Befestigungsausneh- mung angeordnet ist. Die Befestigungsausnehmung weist als Profil ein Negativ des Schaufelbefestigungsab- schnitts auf und weist somit auch mindestens eine Be- festigungsausnehmungszahnflanke auf, die eine Erhö- hung aufweisen könnte. Dabei ist allerdings zu beachten, dass es vorteilhaft sein kann die Erhöhung an einer der Befestigungsausnehmungszahnflanken der Befesti- gungsausnehmung anzuordnen, die im Wesentlichen ra- dial nach innen hin orientiert sind.

**[0031]** Dadurch, dass die Erhöhung an einer der Befestigungsausnehmungszahnflanken angeordnet sind, die im Wesentlichen radial nach innen hin orientiert sind greifen die auftretenden Kräfte unter Last zuerst an jenen Bereichen der Befestigungsausnehmungszahn- flanken der Befestigungsausnehmung an, an denen die Erhöhung ihre maximale Ausdehnung hat. Dadurch, dass die auftretenden Kräfte zuerst an jenen Bereichen angreifen an denen die Erhöhung ihre maximale Aus- dehnung hat, ergeben sich dieselben Vorteile wie wenn die Erhöhung an einer der Verankerungszahnflanken des Schaufelbefestigungsabschnitts angeordnet wäre.

**[0032]** Bevorzugt weist die Befestigungsausnehmung zwei oder mehrere Befestigungsausnehmungszähne auf, die jeweils die Erhöhung an mindestens einer ihrer Befestigungsausnehmungszahnflanken aufweisen. Es ist weiter auch denkbar, dass die Befestigungsausnehmung an mehreren oder an allen der Befestigungsausnehmungszahnflanken die Erhöhung aufweist.

**[0033]** Bevorzugt weist die Erhöhung ein Erhöhungsprofil auf, das sich entlang der gesamten Befestigungsausnehmungszahnflanke in Füge- richtung erstreckt oder sich in einem Bereichsabschnitt der Befestigungsausnehmungszahnflanke in Füge- richtung erstreckt.

**[0034]** Bevorzugt ist das Erhöhungsprofil mindestens bereichsweise mindestens einer Kurve höherer Ordnung, einer sinusförmigen Kurve oder mindestens einem Kurvenabschnitt höherer Ordnung, einem sinusförmigen Kurvenabschnitts oder einem Geradenabschnitts folgend ausgebildet.

**[0035]** Denkbar ist, dass das Erhöhungsprofil der Befestigungsausnehmungszahnflanke der Befestigungsausnehmung dieselben geometrischen Oberflächenformen aufweisen kann, wie die Erhöhung der Verankerungszahnflanken des Schaufelbefestigungsabschnitts.

**[0036]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen einer Befestigungsausnehmung weist folgende Schritte auf: a) Bereitstellen einer Befestigungsausnehmung mit mindestens einem Befestigungsausnehmungszahn, der zur Aufnahme eines Schaufelbefestigungsabschnitts einer Turbinenschaufel ausgebildet ist, wobei der Befestigungsausnehmungszahn mindestens eine Befestigungsausnehmungszahnflanke aufweist; b) Unregelmäßiges Abtragen von Material von der Befestigungsausnehmungszahnflanke des Befestigungsausnehmungszahns, wodurch mindestens eine Erhöhung auf der Befestigungsausnehmungszahnflanke im Vergleich zu der unbearbeiteten Befestigungsausnehmungszahnflanke ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Befestigungsausnehmungszahnflanke anliegenden Verankerungszahnflanke des Schaufelbefestigungsabschnitts ausgebildet wird. Es ist denkbar, dass das Abtragen von Material mittels einer spanenden Bearbeitung erfolgt. Dadurch, dass das Abtragen von Material mittels einer spanenden Bearbeitung erfolgt, ist eine relativ genaue Gestaltung der Befestigungsausnehmungszahnflanke mit der Erhöhung ermöglicht. Die spanende Bearbeitung kann beispielhaft ein Fräsen, ein Schleifen, ein Hobeln oder andere spanende Verfahren umfassen.

**[0037]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen einer Befestigungsausnehmung weist folgende Schritte auf: a) Bereitstellen einer Befestigungsausnehmung mit mindestens einem Befestigungsausnehmungszahn, der zur Aufnahme eines Schaufelbefestigungsabschnitts einer Turbinenschaufel ausgebildet ist, wobei der Befestigungsausnehmungszahn mindestens eine Befestigungsausnehmungszahnflanke aufweist; b) Unregelmäßiges Aufbringen von Material von der Befes-

tigungsausnehmungszahnflanke des Befestigungsausnehmungszahns, wodurch mindestens eine Erhöhung auf der Befestigungsausnehmungszahnflanke im Vergleich zu der unbearbeiteten Befestigungsausnehmungszahnflanke ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Befestigungsausnehmungszahnflanke anliegenden Verankerungszahnflanke des Schaufelbefestigungsabschnitts ausgebildet wird.

**[0038]** Denkbar ist beispielhaft, dass das Aufbringen von Material mittels eines Auftragsschweißens erfolgt. Dadurch, dass das Aufbringen von Material mittels des Auftragsschweißens erfolgt, können beispielsweise auch bestehende Befestigungsausnehmungen mit der Erhöhung nachgerüstet werden. Auch ist es denkbar, dass neue Befestigungsausnehmungen mittels Methoden der additiven Fertigung hergestellt werden, wodurch es relativ einfach realisierbar ist, dass die Befestigungsausnehmungszahnflanke die Erhöhung aufweist.

**[0039]** Bevorzugt weist eine Strömungsmaschine eine derartige Turbinenschaufel und/oder einen derartigen Schaufelbefestigungsabschnitt auf. Denkbar ist beispielhaft, dass der Schaufelbefestigungsabschnitt und die Befestigungsausnehmung die gleiche, eine ähnliche oder eine andere Erhöhung aufweisen. Dadurch kann der gewünschte Effekt beispielsweise besonders verstärkt werden.

**[0040]** Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel einer Strömungsmaschine anhand schematischer Zeichnungen dargestellt.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Turbinenschaufel.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Schaufelbefestigungsabschnitts.

Figur 3 zeigt eine Detailansicht des in Figur 2 dargestellten Schaufelbefestigungsabschnitts.

Figur 4 zeigt ein Diagramm von auftretenden Spannungen entlang eines Verankerungszahntals.

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung einer Befestigungsausnehmung.

**[0041]** Die Figur 1 zeigt eine Turbinenschaufel 1 für eine Strömungsmaschine, die ein Schaufelblatt 2, eine Plattform 3 und einen Schaufelbefestigungsabschnitt 4 aufweist. Das Schaufelblatt 2 weist eine Vorderkante 5 und eine Hinterkante 6 auf, wobei die Vorderkante 5 in Bezug zur Hinterkante 6 stromaufwärts angeordnet ist.

**[0042]** Die Figur 2 zeigt den Schaufelbefestigungsabschnitt 4 der in Figur 1 gezeigten Schaufel 1.

**[0043]** Der Schaufelbefestigungsabschnitt 4 weist eine vorderkantenseitige Stirnseite 7, eine hinterkanten-

seitige Stirnseite 8, eine Unterseite 9, eine erste Profilseite 13 und eine zweite Profilseite 14 auf. Die vorderkantenseitige Stirnseite 7 ist im Wesentlichen auf derselben Seite angeordnet, wie die Vorderkante 5 und die hinterkantenseitige Stirnseite 8 ist im Wesentlichen auf derselben Seite angeordnet, wie die Hinterkante 6. Die Unterseite 9 ist im Wesentlichen radial nach innen hin orientiert, die erste Profilseite 13 ist im Bezug zur Schaufel 1 im Wesentlichen druckseitig angeordnet und die zweite Profilseite 14 ist im Bezug zur Schaufel 1 im Wesentlichen saugseitig angeordnet. Der Schaufelbefestigungsabschnitt 4 ist als symmetrisches Tannenbaumprofil ausgebildet. Im Folgenden wird die erste Profilseite 13 erläutert. Aufgrund der Symmetrie weist die zweite Profilseite 14 sämtliche Merkmale der ersten Profilseite 13 auf.

**[0044]** Die erste Profilseite 13 weist ausgehend von der Plattform 3 einen ersten Verankerungszahn 10, einen zweiten Verankerungszahn 11 und einen dritten Verankerungszahn 12 auf. Diese drei Verankerungszähne 10, 11, 12 bilden zusammen mit einer Plattformflanke 31 und der Unterseite 9 die erste Profilseite 13 des Schaufelbefestigungsabschnitts 4. Der Verankerungszahn 10 und der Verankerungszahn 11 weisen ein Verankerungszahntal 18, eine erste Verankerungszahnflanke 15, eine Verankerungszahnspitze 17 und eine zweite Verankerungszahnflanke 16 auf. Der dritte Verankerungszahn 12 wird mittels dem Verankerungszahntal 18, der ersten Verankerungszahnflanke 15, der Verankerungszahnspitze 17 und der Unterseite 9 gebildet. Die Verankerungszähne 10, 11, 12 erstrecken sich von der vorderkantenseitigen Stirnseite 7 bis hin zu der hinterkantenseitigen Stirnseite 8.

**[0045]** In der vorliegenden Ausführungsform weist nur der dritte Verankerungszahn 12 eine Erhöhung 38 auf seiner ersten Verankerungszahnflanke 15 auf. Der erste Verankerungszahn 10 und der zweite Verankerungszahn 11 weisen auf keiner ihrer Verankerungszahnflanken 15, 16 die Erhöhung 38 auf. Es ist jedoch beispielhaft auch denkbar, dass die anderen Verankerungszähne 10, 11 auch die Erhöhung 38 aufweisen. Die maximale Ausdehnung der Erhöhung 38 auf dem dritten Verankerungszahn 12, ist mittig auf seiner ersten Verankerungszahnflanke 15 angeordnet.

**[0046]** Es wird nun zusätzlich auf die Figur 3 Bezug genommen.

**[0047]** In der Figur 2 und auf der Figur 3 sind eine erste Hilfsebene 19 und eine zweite Hilfsebene 20 eingezeichnet. Die erste Hilfsebene 19 ist entlang einer gedachten sich in Fügerichtung erstreckenden Kante der ersten Verankerungszahnflanke 15 des zweiten Verankerungszahns 11 eingezeichnet. Dabei schneidet die erste Hilfsebene 19 entlang der gesamten ersten Verankerungszahnflanke 15 des zweiten Verankerungszahns 11 diese gedachte Kante. Die zweite Hilfsebene 20 ist parallel zu der ersten Hilfsebene 19 angeordnet und schneidet eine gedachte sich im Wesentlichen in Fügerichtung erstreckende Kante der ersten Verankerungszahnflanke

15 des dritten Verankerungszahns 12 nur im Bereich der maximalen Ausdehnung der Erhöhung 38 des dritten Verankerungszahns 12. Je näher die gedachte Kante der vorderkantenseitigen Stirnseite 7 oder der hinterkantenseitigen Stirnseite 8 kommt, desto größer wird der Abstand zwischen der gedachten Kante und der zweiten Hilfsebene 20. Mittels der zu der ersten Hilfsebene 19 parallelen Hilfsebene 20 lässt sich die Erhöhung 38 mit einer relativ geringen maximalen Ausdehnung gut darstellen. Die in Figur 3 dargestellte Detailansicht zeigt mittels eines ersten Pfeils 21 und eines zweiten Pfeils 22 die maximale Ausdehnung der Erhöhung 38 des dritten Verankerungszahns 12.

**[0048]** In der vorliegenden Ausführungsform ist das Profil der Erhöhung 38 entlang einer sinusförmigen Kurve ausgebildet und erstreckt sich entlang der gesamten ersten Verankerungszahnflanke 15 des dritten Verankerungszahns 12. Es ist beispielhaft auch denkbar, dass das Profil einem anderen Kurvenabschnitt und/oder einem Geradenabschnitt folgende ausgebildet ist und sich nur über einen Bereich der ersten Verankerungszahnflanke 15 erstreckt.

**[0049]** Die Figur 4 zeigt ein Diagramm von auftretenden mechanischen Kerbspannungen entlang des Verankerungszahntals 18 des dritten Verankerungszahns 12. Dabei weist das Diagramm eine Abszisse 23, eine Ordinate 24 eine erste Hilfslinie 28, eine zweite Hilfslinie 29 und einen Pfeil 27 auf. Die Abszisse 23 stellt die Erstreckung des Verankerungszahntals 18 des dritten Verankerungszahns 12 beginnend bei der vorderkantenseitigen Stirnseite 7 bis hin zu der hinterkantenseitigen Stirnseite 8 dar. Die Ordinate 24 stellt die auftretenden Kerbspannungen unter Last dar. Somit sind in dem Diagramm der Figur 4 die auftretenden Kerbspannungen unter Last über die Erstreckung der ersten Verankerungszahnflanke 15 des dritten Verankerungszahns 12 dargestellt. Dabei zeigt eine erste Kurve 25 die auftretenden Kerbspannungen des Verankerungszahntals 18 des dritten Verankerungszahns 12, die die Erhöhung 38 aufweist und eine zweite Kurve 26 die auftretenden Kerbspannungen desselben Verankerungszahntals 18, die die Erhöhung 38 nicht aufweist. In Figur 4 ist deutlich erkennbar, dass sich die auftretenden Kerbspannungen im Bereich der maximalen Ausdehnung der Erhöhung 38 nur unwesentlich unterscheiden aber, dass die in den Randbereichen des Verankerungszahntals 18 auftretenden Kerbspannungen, die die Erhöhung 38 aufweist, geringer sind als die auftretenden Kerbspannungen desselben Verankerungszahntals 18, die die Erhöhung 38 nicht aufweisen. Die Spannungsspitzen der im oberen rechten Bereich des Diagramms dargestellten Kerbspannungen unterscheiden sich um rund 25 Prozent. Die Hilfslinie 28, die Hilfslinie 29 und der Pfeil 27 stellen die Differenz zwischen den Spannungsspitzen der Kerbspannungen zwischen der ersten Kurve 25 und der zweiten Kurve 26 dar.

**[0050]** Die Figur 5 zeigt eine Befestigungsausnehmung 32, in die der Schaufelbefestigungsabschnitt 4 ein-

geführt wird, wodurch ein Formschluss zwischen den beiden Komponenten, der die auftretenden Kräfte aufnehmen kann, entsteht. Die Befestigungsausnehmung 32 weist einen ersten Befestigungsausnehmungszahn 33, einen zweiten Befestigungsausnehmungszahn 34 und einen dritten Befestigungsausnehmungszahn 35 auf. Jeder der Befestigungsausnehmungszähne 33, 34, 35 weist eine im Wesentlichen radial nach außen hin orientierte erste Befestigungsausnehmungszahnflanke 36 und einen im Wesentlichen radial nach innen hin orientierte zweite Befestigungsausnehmungszahnflanke 37 auf. Die Befestigungsausnehmungszähne 33, 34, 35 bilden mit den Verankerungszähnen 10, 11, 12 den Formschluss und ermöglichen dadurch ein vorteilhaftes Übertragen der auftretenden Kräfte. Aufgrund des Formschlusses ist es prinzipiell egal ob die Erhöhung 38 auf der im Wesentlichen nach außen hin orientierten Verankerungszahnflanke 15 des Befestigungsabschnitts 4 angeordnet ist oder auf der im Wesentlichen nach innen hin orientierten zweite Befestigungsausnehmungszahnflanke 37 der Befestigungsausnehmung 32 angeordnet ist. Dadurch, dass die Erhöhung 38 auf einer diesen beiden Flanken angeordnet ist greifen die auftretenden Kräfte zuerst in jenem Bereich an, an dem die Erhöhung 38 ihre maximale Ausdehnung hat und verteilen sich mit zunehmender Last auf weitere Bereiche der Flanken, bis hin zu Randbereichen der Befestigungsausnehmungszahnflanke 37.

**[0051]** Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

### Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für eine Strömungsmaschine, mit einem Schaufelbefestigungsabschnitt (4), der mindestens einen Verankerungszahn (10, 11, 12) aufweist, der zum Einbau in eine entsprechende Befestigungsausnehmung (32) ausgebildet ist, wobei der mindestens eine Verankerungszahn (10, 11, 12) mindestens eine Verankerungszahnflanke (15, 16) aufweist, deren Fläche von zwei sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten (41, 42) und von einer Anfangskante (39) und von einer Endkante (40), deren Erstreckungsrichtung von der Füge- richtung abweichen, begrenzt ist, wobei eine der Ver- ankerungszahnflanken (15, 16) mindestens eine Erhö- hung (38) entlang der sich in Füge- richtung erstre- ckenden Kanten (41, 42) aufweist, wobei die Erhö- hung (38) eine maximale Ausdehnung in einem Be- reich der Verankerungszahnflanke (15, 16) hat, der von der Anfangskante (39) und von der Endkante (40) der Verankerungszahnflanke (15, 16) mindes- tens größer Null beabstandet ist, wodurch mindes- tens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Ver- ankerungszahnflanke (15, 16) anliegenden Befesti- gungsausnehmungszahnflanke (36, 37) der Befes- tigungsausnehmung (32) ausbildbar ist.
2. Turbinenschaufel (1) gemäß Anspruch 1, wobei der Schaufelbefestigungsabschnitt (4) zwei oder mehrere Verankerungszähne (10, 11, 12) auf- weist, die jeweils die Erhöhung (38) aufweisen.
3. Turbinenschaufel (1) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Verankerungszahnflanke (15, 16) einen Verankerungszahnflankenmittelpunkt (38) aufweist und die Erhöhung (38) der Verankerungszahnflanke (15, 16) ihre maximale Ausdehnung in einem Be- reich des Verankerungszahnflankenmittelpunkts (38) hat.
4. Turbinenschaufel (1) gemäß einem der vorangehen- den Ansprüche 1 bis 3, wobei die Erhöhung (38) ein Erhöhungsprofil, auf- weist, das sich von der Anfangskante (39) bis zu der Endkante (40) erstreckt oder sich in einem Bereichs- abschnitt zwischen der Anfangskante (39) und der Endkante (40) erstreckt.
5. Turbinenschaufel (1) gemäß einem der vorangehen- den Ansprüche 1 bis 4, wobei das Erhöhungsprofil mindestens bereichswei- se mindestens einer Kurve höherer Ordnung, einer sinusförmigen Kurve oder mindestens einem Kurve- nabschnitt höherer Ordnung, einem sinusförmigen Kurvenabschnitt oder einem Geradenabschnitt fol- gend ausgebildet ist.
6. Turbinenschaufeln (1) gemäß einem der vorange- henden Ansprüche 1 bis 5, wobei die maximale Ausdehnung der Erhöhung (38) in einem Bereich der Verankerungszahnflanke (15, 16) angeordnet ist, der von mindestens einer der sich in Füge- richtung erstreckenden Kanten (41, 42) der Verankerungszahnflanke (15, 16) beabstandet ist.
7. Turbinenschaufel (1) gemäß einem der vorangehen- den Ansprüche 1 bis 6, wobei mindestens eine der sich in Füge- richtung er- streckenden Kanten (41, 42) und/oder die Anfangs- kante (39) und/oder die Endkante (40) eine Krüm- mung aufweist.
8. Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel (1) mit den Schritten:
  - a) Bereitstellen einer Turbinenschaufel (1), die einen Schaufelbefestigungsabschnitt (4) mit mindestens einem Verankerungszahn (10, 11,

- 12) aufweist, der zum Einbau in eine entsprechende Befestigungsausnehmung (32) ausgebildet wird, wobei der Verankerungszahn (10, 11, 12) mindestens eine Verankerungszahnflanke (15, 16) aufweist;
- b) Unregelmäßiges Abtragen von Material von der Verankerungszahnflanke (15, 16) des Verankerungszahns (10, 11, 12) entlang einer der sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten (41, 42), wodurch mindestens eine Erhöhung (38) auf der Verankerungszahnflanke (15, 16) im Vergleich zu der unbearbeiteten Verankerungszahnflanke (15, 16) ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Verankerungszahnflanke (15, 16) anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) der Befestigungsausnehmung (32) ausgebildet wird.
- 9.** Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel (1) mit den Schritten:
- a) Bereitstellen einer Turbinenschaufel (1), die einen Schaufelbefestigungsabschnitt (4) mit mindestens einem Verankerungszahn (10, 11, 12), der zum Einbau in eine entsprechende Befestigungsausnehmung (32) ausgebildet ist, aufweist, wobei der Verankerungszahn (10, 11, 12) mindestens eine Verankerungszahnflanke (15, 16) aufweist;
- b) Unregelmäßiges Aufbringen von Material auf die Verankerungszahnflanke (15, 16) des Verankerungszahns (10, 11, 12) entlang einer der sich in Fügerichtung erstreckenden Kanten (41, 42), wodurch mindestens eine Erhöhung (38) auf der Verankerungszahnflanke (15, 16) im Vergleich zu der unbearbeiteten Verankerungszahnflanke (15, 16) ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Verankerungszahnflanke (15, 16) anliegenden Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) der Befestigungsausnehmung (32) ausgebildet wird.
- 10.** Befestigungsausnehmung (32) für eine Strömungsmaschine, mit mindestens einem Befestigungsausnehmungszahn (33, 34, 35), der zur Aufnahme eines Schaufelbefestigungsabschnitts (4) einer Turbinenschaufel (1) ausgebildet ist, wobei der mindestens eine Befestigungsausnehmungszahn (33, 34, 35) mindestens eine Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) aufweist, die mindestens eine Erhöhung (38) entlang einer sich in Fügerichtung erstreckenden Kante aufweist, wobei die Erhöhung (38) eine maximale Ausdehnung in einem Bereich der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) hat, der von einer Anfangskante und von einer Endkante der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) mindestens größer Null beabstandet ist, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) anliegenden Verankerungszahnflanke (15, 16) des Schaufelbefestigungsabschnitts (4) ausbildbar ist.
- 11.** Befestigungsausnehmung (32) gemäß Anspruch 10, wobei die Befestigungsausnehmung (32) zwei oder mehrere Befestigungsausnehmungszähne (33, 34, 35) aufweist, die jeweils die Erhöhung (38) an mindestens einer ihren Befestigungsausnehmungszahnflanken (36, 37) aufweisen.
- 12.** Befestigungsausnehmung (32) gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei die Erhöhung (38) ein Erhöhungsprofil aufweist, das sich entlang der gesamten Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) in Fügerichtung erstreckt oder sich in einem Bereichsabschnitt der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) in Fügerichtung erstreckt.
- 13.** Befestigungsausnehmung (32) gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei das Erhöhungsprofil mindestens bereichsweise mindestens einer Kurve höherer Ordnung, einer sinusförmigen Kurve oder mindestens einem Kurvenabschnitt höherer Ordnung, einem sinusförmigen Kurvenabschnitts oder einem Geradenabschnitts folgend ausgebildet ist.
- 14.** Verfahren zum Herstellen einer Befestigungsausnehmung (32) mit den Schritten:
- a) Bereitstellen einer Befestigungsausnehmung (32) mit mindestens einem Befestigungsausnehmungszahn (33, 34, 35), der zur Aufnahme eines Schaufelbefestigungsabschnitts (4) einer Turbinenschaufel (1) ausgebildet ist, wobei der Befestigungsausnehmungszahn (33, 34, 35) mindestens eine Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) aufweist;
- b) Unregelmäßiges Abtragen von Material von der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) des Befestigungsausnehmungszahns (33, 34, 35), wodurch mindestens eine Erhöhung (38) auf der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) im Vergleich zu der unbearbeiteten Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) anliegenden Verankerungszahnflanke (15, 16)

des Schaufelbefestigungsabschnitts (4) ausgebildet wird.

15. Verfahren zum Herstellen einer Befestigungsausnehmung (32) mit den Schritten: 5
- a) Bereitstellen einer Befestigungsausnehmung (32) mit mindestens einem Befestigungsausnehmungszahn (33, 34, 35), der zur Aufnahme eines Schaufelbefestigungsabschnitts (4) einer Turbinenschaufel (1) ausgebildet ist, wobei der Befestigungsausnehmungszahn (33, 34, 35) mindestens eine Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) aufweist; 10
- b) Unregelmäßiges Aufbringen von Material von der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) des Befestigungsausnehmungszahns (33, 34, 35), wodurch mindestens eine Erhöhung (38) auf der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) im Vergleich zu der unbearbeiteten Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) ausgebildet wird, wodurch mindestens ein definierter Eingriffspunkt oder mindestens ein definierter Eingriffsbereich mit einer an der Befestigungsausnehmungszahnflanke (36, 37) anliegenden Verankerungszahnflanke (15, 16) des Schaufelbefestigungsabschnitts (4) ausgebildet wird. 15 20 25
16. Strömungsmaschine gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, 30  
mit einer Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und/oder einer Befestigungsausnehmung (32) nach einem der Ansprüche 10 bis 13. 35

40

45

50

55

FIG 1

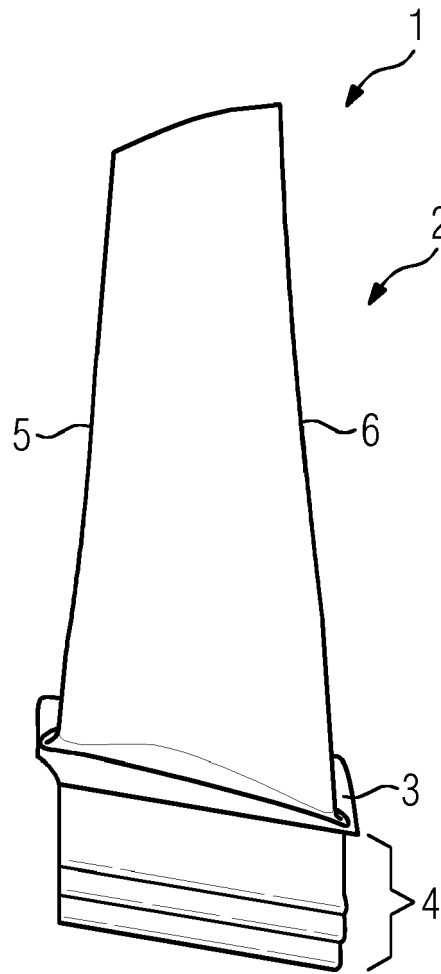
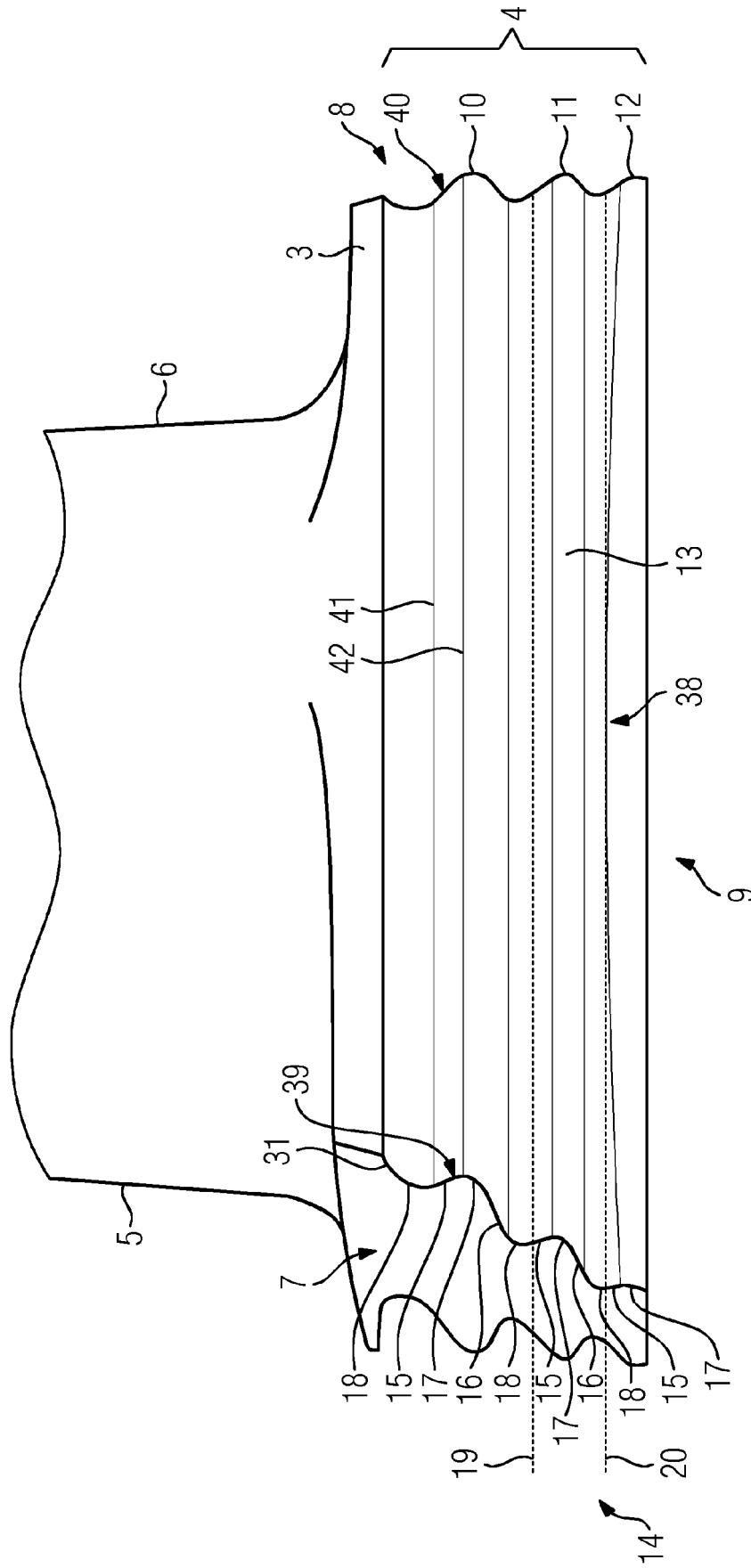


FIG 2





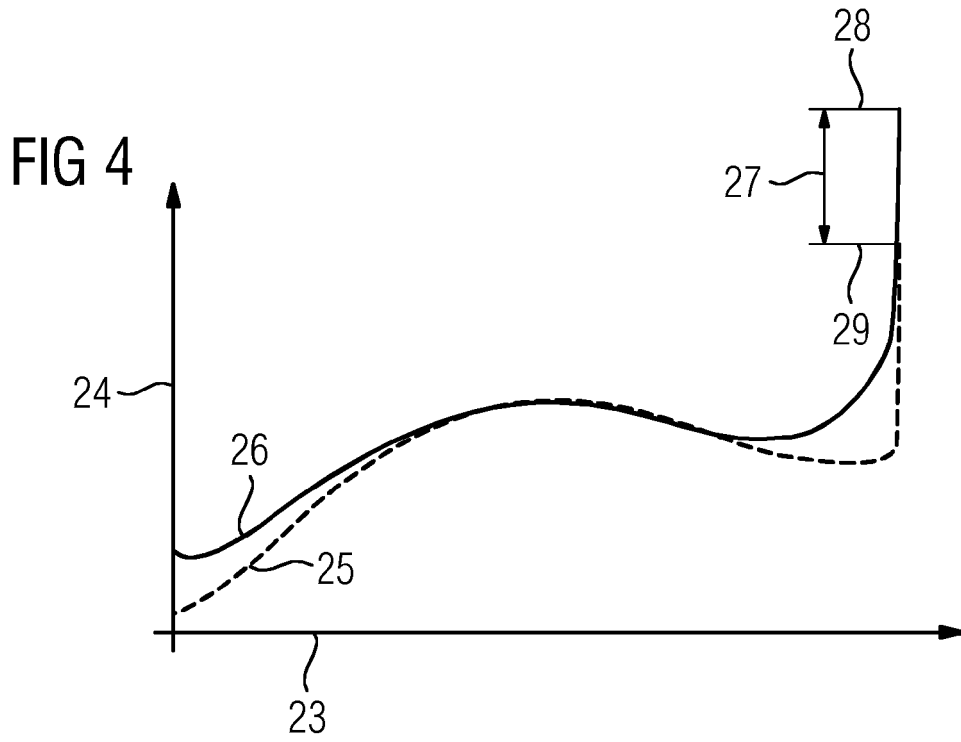
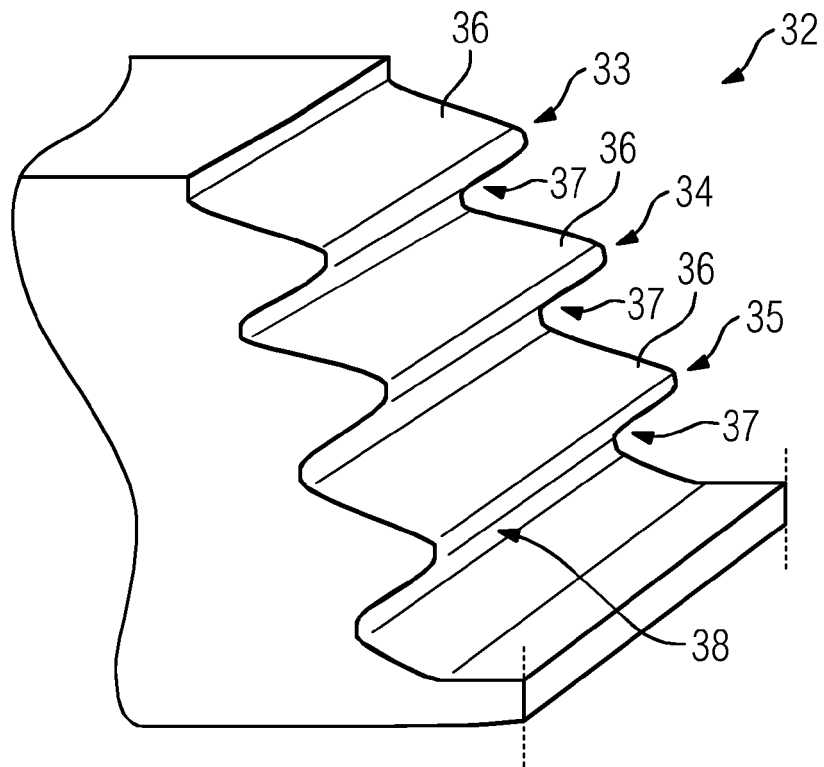


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 18 0253

5

10

15

20

25

30

35

40

45

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 626 516 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 14. August 2013 (2013-08-14) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-5, 7-13; Abbildungen 1, 3-5 * * Absatz [0009] * * Absatz [0010] * * Absatz [0012] - Absatz [0015] * -----	1-16	INV. F01D5/00 F01D5/30 F01D5/34
X	EP 3 098 388 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30. November 2016 (2016-11-30) * Zusammenfassung; Ansprüche 1, 3-13; Abbildungen 1-3 * * Absatz [0010] - Absatz [0011] * * Absatz [0022] - Absatz [0024] * * Absatz [0027] - Absatz [0028] * * Absatz [0036] * -----	1-16	
X	JP S63 97803 A (HITACHI LTD) 28. April 1988 (1988-04-28) * das ganze Dokument * -----	1-16	
X	US 2013/195669 A1 (MURDOCK JAMES R [US] ET AL) 1. August 2013 (2013-08-01) * Abbildungen 1-6B * * Absatz [0011] * * Absatz [0015] * * Absatz [0058] - Absatz [0059] * * Absatz [0061] - Absatz [0062] * * Absatz [0063] - Absatz [0064] * * Absatz [0068] * * Absatz [0072] * -----	1-8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D
X	DE 10 2007 051838 A1 (ROLLS-ROYCE DEUT LTD & CO KG) 7. Mai 2009 (2009-05-07) * Abbildungen 1-5 * * Absatz [0011] * * Absatz [0018] - Absatz [0020] * ----- -/--	1-8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 14. Dezember 2017	Prüfer Alaguero, Daniel
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 Patentdokument, 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)

50

55



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 18 0253

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)
A	EP 2 546 465 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16. Januar 2013 (2013-01-16) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2, 5-8 * -----	1-16	
A	WO 2006/124615 A1 (GEN ELECTRIC [US]; SNOOK DANIEL DAVID [US]; DIMMICK JOHN HERBERT III [ ]) 23. November 2006 (2006-11-23) * Abbildungen 1-7 * * Absatz [0029] - Absatz [0031] * -----	1-16	
A	EP 0 431 766 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 12. Juni 1991 (1991-06-12) * Abbildungen 1-3 * * Spalte 3, Zeile 8 - Spalte 4, Zeile 25 * -----	1-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>14. Dezember 2017</b>	Prüfer <b>Alaguero, Daniel</b>
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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 17 18 0253

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.

14-12-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 2626516 A1	14-08-2013	CN 103244198 A EP 2626516 A1 JP 2013164068 A RU 2013105207 A US 2013209253 A1	14-08-2013 14-08-2013 22-08-2013 20-08-2014 15-08-2013
20	EP 3098388 A1	30-11-2016	EP 3098388 A1 WO 2016188697 A1	30-11-2016 01-12-2016
25	JP S6397803 A	28-04-1988	KEINE	
30	US 2013195669 A1	01-08-2013	EP 2809578 A2 SG 11201403113Y A US 2013195669 A1 WO 2013158176 A2	10-12-2014 30-10-2014 01-08-2013 24-10-2013
35	DE 102007051838 A1	07-05-2009	DE 102007051838 A1 US 2009185910 A1	07-05-2009 23-07-2009
40	EP 2546465 A1	16-01-2013	CN 103649467 A EP 2546465 A1 EP 2670953 A1 ES 2537006 T3 RU 2014105457 A US 2014140852 A1 WO 2013007587 A1	19-03-2014 16-01-2013 11-12-2013 01-06-2015 20-08-2015 22-05-2014 17-01-2013
45	WO 2006124615 A1	23-11-2006	US 2008260534 A1 WO 2006124615 A1	23-10-2008 23-11-2006
50	EP 0431766 A1	12-06-1991	DE 69025456 D1 DE 69025456 T2 EP 0431766 A1 GB 2238581 A JP H03182603 A US 5110262 A	28-03-1996 01-08-1996 12-06-1991 05-06-1991 08-08-1991 05-05-1992
55				

EPO FORM P0461

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