

(19)



(11)

**EP 3 205 885 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:

**16.08.2017 Patentblatt 2017/33**

(51) Int Cl.:

**F04D 19/00** (2006.01)**F04D 21/00** (2006.01)**F04D 29/32** (2006.01)**F04D 29/68** (2006.01)(21) Anmeldenummer: **16155063.7**(22) Anmeldetag: **10.02.2016**

(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)**

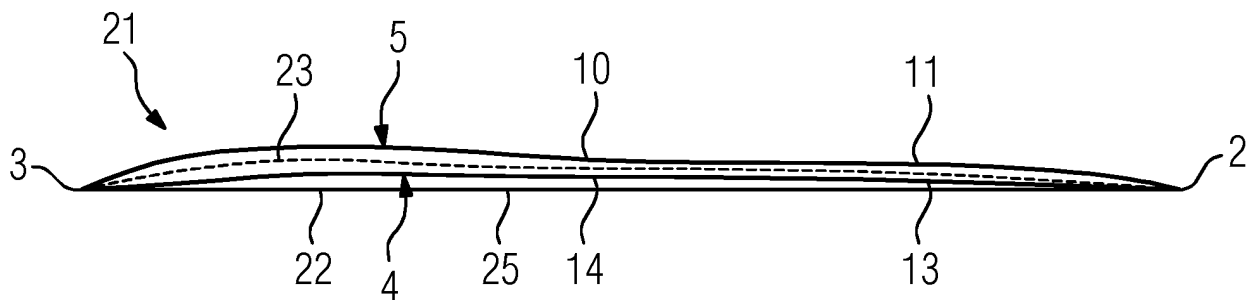
(72) Erfinder:

- **Cornelius, Christian  
45549 Sprockhövel (DE)**
- **Starke, Christoph  
14057 Berlin (DE)**

(54) **VERDICHTERLAUFSCHAUFEL UND VERFAHREN ZUM PROFILIEREN DER  
VERDICHTERLAUFSCHAUFEL**

(57) Die Erfindung betrifft eine Verdichterlaufschaufel für einen Verdichter in Axialbauweise, mit einem Schaufelprofil, das einen transsonischen Abschnitt aufweist, und einem sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckenden Profilschnitt (21) des Schaufelprofils, der an seiner Saugseite (5) einen konkaven Saugseitenbereich (10) aufweist, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes (18) angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei einer Nennbetriebsbedingung

des Verdichters einstellende Strömung aufweist, wodurch der Verdichtungsstoß (18) stromab eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei einer herkömmlichen Verdichterlaufschaufel, die sich von der Verdichterlaufschaufel (1) lediglich darin unterscheidet, dass sie an ihrer Saugseite (5) ausschließlich konvex ausgebildet ist, und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.

**FIG 3****EP 3 205 885 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Verdichterlaufschaufel und ein Verfahren zum Profilieren der Verdichterlaufschaufel.

**[0002]** Ein Verdichter in Axialbauweise weist zur Verdichtung eines Arbeitsmediums mindestens einen Laufschaukelkranz mit einer Mehrzahl an Verdichterlaufschaufeln auf. Die Verdichterlaufschaufel weist einen radial innen liegenden subsonischen Abschnitt auf, in dem die Verdichtung mittels einer Umlenkung der Strömung des Arbeitsmediums erfolgt. Weiterhin weist die Verdichterlaufschaufel einen transsonischen Abschnitt auf, in dem die Verdichtung zum überwiegenden Teil mittels eines Verdichtungsstoßes erfolgt, bei dem das Arbeitsmedium von Überschallgeschwindigkeit auf Unterschallgeschwindigkeit verzögert wird.

**[0003]** Verluste in der Strömung des Arbeitsmediums in dem transsonischen Abschnitt entstehen beispielsweise in dem Verdichtungsstoß und durch Ablösungen der Grenzschicht an der Verdichterlaufschaufel im Bereich des Verdichtungsstoßes. Die Verluste bewirken eine Verminderung des Wirkungsgrades des Verdichters.

**[0004]** Aufgabe der Erfindung ist es daher eine Verdichterlaufschaufel und ein Verfahren zum Profilieren der Verdichterlaufschaufel zu schaffen, mit denen eine Erhöhung des Wirkungsgrades eines die Verdichterlaufschaufel aufweisenden Verdichters erreichbar ist.

**[0005]** Die erfindungsgemäße Verdichterlaufschaufel für einen Verdichter in Axialbauweise weist ein Schaufelprofil, das einen transsonischen Abschnitt aufweist, und ein sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckenden Profilschnitt des Schaufelprofils auf, der an seiner Saugseite einen konkaven Saugseitenbereich aufweist, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei einer Nennbetriebsbedingung des Verdichters einstellende Strömung aufweist, wodurch der Verdichtungsstoß stromab eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei einer herkömmlichen Verdichterlaufschaufel und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.

**[0006]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Profilieren einer Verdichterlaufschaufel für einen Verdichter in Axialbauweise, wobei die Verdichterlaufschaufel ein Schaufelprofil mit einem transsonischen Abschnitt aufweist, weist die Schritte auf: Bereitstellen eines geometrischen Modells des Schaufelprofils, wobei das Schaufelprofil einen Profilschnitt aufweist, der sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckt; Festlegen von Randbedingungen für eine die Schaufel umströmende Strömung, die bei einer Nennbetriebsbedingung des Verdichters auftritt; Verändern des Profilschnitts derart, dass die Saugseite einen konkaven Saugseitenbereich aufweist, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei den Randbedingungen einstellende Strömung aufweist, wodurch der Verdichtungsstoß stromab

eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei dem geometrischen Modell vor dem Verändern des Profilschnitts und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.

**[0007]** Es wurde gefunden, dass der Verdichter mit der erfindungsgemäßen Verdichterlaufschaufel und/oder mit der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren profilierten Verdichterlaufschaufel einen höheren Wirkungsgrad bei mindestens gleichem Betriebsbereich hat als ein Verdichter mit der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. Zudem sind die Machzahlen an der Saugseite der erfindungsgemäßen Verdichterlaufschaufel vor dem Verdichtungsstoß geringer als an der Saugseite der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. Damit sind Ablösungen der Strömung an der Saugseite der erfindungsgemäßen Verdichterlaufschaufel weniger wahrscheinlich als bei der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. Zudem kann die erfindungsgemäße Verdichterlaufschaufel mit einer kürzeren Länge ihrer Profilsehne ausgeführt werden als es bei der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel der Fall ist, ohne dadurch Einbußen des Wirkungsgrades oder eine Verkleinerung des Arbeitsbereichs hinzunehmen.

**[0008]** Es ist bevorzugt, dass der Profilschnitt der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel an dessen Druckseite ausschließlich konkav ausgebildet ist und/oder an dessen Saugseite ausschließlich konvex ausgebildet ist.

**[0009]** Es ist bevorzugt, dass in dem konkaven Saugseitenbereich der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne einen Minimalwert hat, der von -1,2 bis -0,5 ist. Der Profilschnitt weist bevorzugt an seiner Saugseite einen konvexen Saugseitenbereich auf, der stromab des konkaven Saugseitenbereichs angeordnet ist. Es ist bevorzugt, dass in dem konvexen Saugseitenbereich der Verlauf der Krümmung des konvexen Saugseitenbereichs einen Maximalwert hat, der größer ist als der Maximalwert des Verlaufs der Krümmung im entsprechenden Bereich der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. In dem konvexen Saugseitenbereich hat der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne bevorzugt einen Maximalwert, der von 2 bis 4 ist. Es ist bevorzugt, dass der Punkt des konkaven Saugseitenbereichs mit der minimalen Krümmung bei senkrechter Projektion auf die Profilsehne des Profilschnitts auf dieser einen Projektionspunkt vorgibt, der von der Vorderkante des Profilschnitts von 40 % bis 80 % der Länge der Profilsehne entfernt ist. Der Profilschnitt weist bevorzugt an seiner Druckseite einen konvexen Druckseitenbereich auf, der in einem Bereich angeordnet ist, der dem konkaven Saugseitenbereich gegenüberliegend angeordnet ist. Durch jede der genannten Maßnahmen lässt sich der Wirkungsgrad des Verdichters weiter steigern.

**[0010]** Es ist bevorzugt, dass der Profilschnitt auf einer Zylinderfläche, deren Achse mit der Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer Kegelfläche, deren Achse mit der Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer S<sub>1</sub>-Strömungsfläche des Verdichters oder in einer tan-

gentialen Ebene des Verdichters liegt. Die  $S_1$ -Strömungsfläche erstreckt sich in Umfangsrichtung und in Axialrichtung der Axialströmungsmaschine und beschreibt eine Fläche, der eine idealisierte Strömung folgt.

**[0011]** Beim Verändern des Profilschnitts wird bevorzugt dessen Skelettlinie verschoben, insbesondere wird nur die Skelettlinie verschoben. Dadurch wird vorteilhaft erreicht, dass die Breite des Kanals zwischen zwei in einem Laufschaufelkranz benachbart angeordneten Verdichterlaufschaufeln unverändert bleibt. Es ist bevorzugt, dass das geometrische Modell vor dem Verändern des Profilschnitts an dessen Druckseite ausschließlich konkav ausgebildet und/oder an dessen Saugseite ausschließlich konvex ausgebildet ist.

**[0012]** Es ist bevorzugt, dass der Profilschnitt derart verändert wird, dass in dem konkaven Saugseitenbereich der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne einen Minimalwert hat, der von -1,2 bis -0,5 ist. Der Profilschnitt wird bevorzugt derart verändert, dass der Profilschnitt an seiner Saugseite einen konvexen Saugseitenbereich aufweist, der stromab des konkaven Saugseitenbereichs angeordnet ist. Es ist bevorzugt, dass der Profilschnitt derart verändert wird, dass in dem konvexen Saugseitenbereich der Verlauf der Krümmung einen Maximalwert hat, der größer ist als der Maximalwert des Verlaufs der Krümmung im entsprechenden Bereich der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. Der Profilschnitt wird bevorzugt derart verändert, dass in dem konvexen Saugseitenbereich der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne einen Maximalwert hat, der von 2 bis 4 ist. Es ist bevorzugt, dass der Profilschnitt derart verändert wird, dass der Punkt des konkaven Saugseitenbereichs mit der minimalen Krümmung bei senkrechter Projektion auf die Profilsehne des Profilschnitts auf dieser einen Projektionspunkt vorgibt, der von der Vorderkante des Profilschnitts von 40 % bis 80 % der Länge der Profilsehne entfernt ist. Durch jede der genannten Maßnahmen lässt sich der Wirkungsgrad des Verdichters weiter steigern.

**[0013]** Im Folgenden wird anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen und rechnerisch bestimmten Daten die Erfindung näher erläutert. Es zeigen

Figur 1 die erfindungsgemäße Verdichterlaufschaufel mit einem rechnerisch bestimmten Strömungsfeld,

Figur 2 Machzahlverläufe an der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel und an der erfindungsgemäßen Verdichterlaufschaufel,

Figur 3 einen Profilschnitt der erfindungsgemäßen Verdichterlaufschaufel und

Figur 4 Krümmungsverläufe an der erfindungsgemäßen Verdichterlaufschaufel.

**[0014]** Wie es aus Figuren 1 und 3 ersichtlich ist, weist

eine Verdichterlaufschaufel 1 für einen Verdichter in Axialbauweise ein Schaufelprofil auf. Das Schaufelprofil weist einen radial innen liegenden subsonischen Abschnitt und einen radial außen liegenden transsonischen Abschnitt auf, wobei in Figuren 1 und 3 nur der transsonische Abschnitt dargestellt ist. Das Schaufelprofil weist einen Profilschnitt 21 auf, der sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckt. Beispielsweise liegt der Profilschnitt 21 auf einer Zylinderfläche, deren Achse mit Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer Kegelfläche, deren Achse mit der Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer  $S_1$ -Strömungsfläche des Verdichters oder in einer tangentialen Ebene des Verdichters.

**[0015]** Der Profilschnitt 21 weist eine Vorderkante 2, eine Hinterkante 3, eine Druckseite 4 und eine Saugseite 5 auf. In Figur 3 ist zudem eine Profilsehne 22 eingezeichnet, die sich als gerade Linie von der Vorderkante 2 bis zu der Hinterkante 3 erstreckt. Weiterhin zeigt Figur 3 eine Skelettlinie 23, die sich von der Vorderkante 2 bis zu der Hinterkante 3 erstreckt und sich in einer Richtung senkrecht zu der Profilsehne 22 stets mittig zwischen der Druckseite 4 und der Saugseite 5 befindet.

**[0016]** Figur 1 zeigt eine zweidimensionale Strömungsverteilung eines in dem Verdichter strömenden Arbeitsmediums in einem Bereich des Verdichters. In Figur 1 ist eine Laufschaufelreihe 15 mit den Verdichterlaufschaufeln 1, eine der Laufschaufelreihe 15 stromabwärtige Leitschaufelreihe 16 und eine der Laufschaufelreihe 15 stromaufwärtige Leitschaufelreihe 17 dargestellt. Der Profilschnitt 21 weist an seiner Saugseite 5 einen konkaven Saugseitenbereich 10 auf, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes 18 angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei einer Nennbetriebsbedingung des Verdichters einstellende Strömung aufweist. Der Verdichtungsstoß 18 ist in Figur 1 in den Bereichen der Strömung angeordnet, in denen die Machzahl sich von höher als 1 auf niedriger als 1 vermindert.

**[0017]** Durch den konkaven Saugseitenbereich ist der Verdichtungsstoß 18 stromab eines Verdichtungsstoßes angeordnet, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei einer herkömmlichen Verdichterlaufschaufel, die sich von der Verdichterlaufschaufel 1 darin unterscheiden kann, dass sie an ihrer Saugseite 5 ausschließlich konvex ausgebildet ist, und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.

**[0018]** Figur 2 zeigt einen Vergleich der Machzahlverläufe an der Verdichterlaufschaufel 1 und der Machzahlverläufe an der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. Über der Horizontalachse 19 ist ein Punkt auf der Profilsehne 22 des Profilschnitts 21 und über der Vertikalachse 20 ist die Machzahl aufgetragen. Mit dem Bezugszeichen 6 ist der Machzahlverlauf an der Druckseite der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel bezeichnet, mit dem Bezugszeichen 7 ist der Machzahlverlauf an der Saugseite der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel bezeichnet, mit dem Bezugszeichen 8 ist der Machzahlverlauf an der Druckseite 4 der Verdichterlaufschaufel 1

und mit dem Bezugszeichen 9 ist der Machzahlverlauf an der Saugseite 5 der Verdichterlaufschaukel 1 bezeichnet.

**[0019]** Aus Figur 2 ist ersichtlich, dass der Machzahlverlauf 9 an der Saugseite 5 der Verdichterlaufschaukel 1 unmittelbar stromauf des Verdichtungsstoßes 18 niedrigere supersonische Machzahlen hat als der Machzahlverlauf 7 an der Saugseite der herkömmlichen Verdichterlaufschaukel unmittelbar stromauf des Verdichtungsstoßes. Diese niedrigeren supersonischen Machzahlen werden über eine längere Erstreckung entlang der Profilsehne 22 als bei der herkömmlichen Verdichterlaufschaukel gehalten. Durch die niedrigeren supersonischen Machzahlen vor dem Verdichtungsstoß 18 werden Verluste vermindert. Dadurch, dass die supersonischen Machzahlen über die längere Erstreckung gehalten werden, ist die gesamte Profilbelastung, die mit der Differenz der Machzahlen an der Druckseite 4 und der Saugseite 5 korreliert, in dem subsonischen Bereich stromab des Verdichtungsstoßes 18 vergleichbar hoch wie bei der herkömmlichen Verdichterlaufschaukel. Zudem ist aus Figur 1 ersichtlich, dass der Verdichtungsstoß 18 schräg angeordnet ist, was bedeutet, dass mit zunehmendem Abstand von der Saugseite 5 sich der Verdichtungsstoß 18 stromaufwärts bewegt. Dies führt ebenfalls zu einer Verminderung von Verlusten. Des Weiteren kann der Figur 2 entnommen werden, dass die Profilbelastung bei der Verdichterlaufschaukel 1 nach dem Verdichtungsstoß 18 deutlich höher ist als bei der herkömmlichen Verdichterlaufschaukel. Durch die verminderten Verluste und durch höhere Profilbelastung in dem subsonischen Bereich ist mit der Verdichterlaufschaukel 1 ein höherer Wirkungsgrad als mit der herkömmlichen Verdichterlaufschaukel erzielbar. Durch den höheren Wirkungsgrad kann die Verdichterlaufschaukel 1, wie es in Figur 2 dargestellt ist, kürzer als die herkömmliche Verdichterlaufschaukel ausgeführt werden, wodurch Verluste durch Reibung des Arbeitsmediums an der Verdichterlaufschaukel 1 vermindert werden können.

**[0020]** Figur 4 zeigt einen Krümmungsverlauf 27 entlang der Druckseite 4 und einen Krümmungsverlauf 28 entlang der Saugseite 5. Über die Horizontalachse 25 die Länge der Profilsehne 22 und über die Vertikalachse 26 ist die Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne 1 aufgetragen. Die Krümmung  $k$  ist definiert als

$$k = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta s} = \frac{d\alpha}{ds},$$

wobei  $\Delta s$  die Länge eines Kreisbogens und  $\Delta \alpha$  der Differenzwinkel zwischen den Tangenten an den Endpunkten des Kreisbogens ist.

**[0021]** Konkave Saugseitenbereiche und konvexe Druckseitenbereiche zeichnen sich durch ein negatives Vorzeichen der Krümmung aus. Konvexe Saugseitenbereiche und konkave Druckseitenbereiche zeichnen sich durch ein positives Vorzeichen der Krümmung aus.

**[0022]** In dem konkaven Saugseitenbereich 10 hat der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne 22 einen Minimalwert, der von -1,2 bis -0,5 ist. Der Profilschnitt 21 weist an seiner Saugseite 5 einen ersten konvexen Saugseitenbereich 11 auf, der stromab des konkaven Saugseitenbereichs 10 angeordnet ist. Der Profilschnitt 21 weist an seiner Saugseite 5 einen zweiten konvexen Saugseitenbereich 12 auf, der stromauf des konkaven Saugseitenbereichs 10 angeordnet ist. In dem konvexen Saugseitenbereich 11 hat der Verlauf der Krümmung einen Maximalwert, der größer ist als der Maximalwert des Verlaufs der Krümmung im entsprechenden Bereich der herkömmlichen Verdichterlaufschaukel, insbesondere hat in dem konvexen Saugseitenbereich 11 der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne 22 einen Maximalwert, der von 2 bis 4 ist.

**[0023]** Der Punkt des konkaven Saugseitenbereichs 10 mit der minimalen Krümmung bei senkrechter Projektion auf die Profilsehne 22 des Profilschnitts 21 gibt auf dieser einen Projektionspunkt 24 vor, der von der Vorderkante des Profilschnitts 21 von 40 % bis 80 % der Länge der Profilsehne 22 entfernt ist. Der Punkt des konvexen Saugseitenbereichs 11 mit der maximalen Krümmung bei senkrechter Projektion auf die Profilsehne 22 des Profilschnitts 21 gibt auf dieser einen Projektionspunkt 24 vor, der von der Vorderkante des 21 von 80 % bis 100% der Länge der Profilsehne 22 entfernt ist. Der Profilschnitt 21 weist an seiner Druckseite 4 einen konvexen Druckseitenbereich 14 auf, der in einem Bereich angeordnet ist, der dem konkaven Saugseitenbereich 10 gegenüberliegend angeordnet ist.

**[0024]** Die Verdichterlaufschaukel 1 ist beispielhaft wie folgt zu profilieren: Bereitstellen eines geometrischen Modells des Schaufelprofils, das an seiner Saugseite ausschließlich konvex und an seiner Druckseite ausschließlich konkav ausgebildet ist, wobei das Schaufelprofil einen Profilschnitt 21 aufweist, der sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckt und auf einer Zylinderfläche, deren Achse mit Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer Kegelfläche, deren Achse mit der Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer  $S_1$ -Strömungsfläche des Verdichters oder in einer tangentialen Ebene des Verdichters liegt; Festlegen von Randbedingungen für eine die Schaufel 14, 15 umströmende Strömung, die bei einer Nennbetriebsbedingung des Verdichters auftritt; Verändern des Profilschnitts 21 derart, dass lediglich die Skelettlinie verschoben wird und die Saugseite 5 einen konkaven Saugseitenbereich 10 aufweist, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes 18 angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei den Randbedingungen einstellende Strömung aufweist, wodurch der Verdichtungsstoß 18 stromab eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei dem geometrischen Modell vor dem Verändern des Profilschnitts und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.

**[0025]** Ob sich der Verdichtungsstoß 18 durch das Ver-

ändern des Profilschnitts stromab verschiebt, kann rechnerisch, insbesondere durch eine Finite Volumen Methode, oder experimentell bestimmt werden.

**[0026]** Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel 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 Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Verdichterlaufschaufel für einen Verdichter in Axialbauweise, mit einem Schaufelprofil, das einen transsonischen Abschnitt aufweist, und einem sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckenden Profilschnitt (21) des Schaufelprofils, der an seiner Saugseite (5) einen konkaven Saugseitenbereich (10) aufweist, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes (18) angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei einer Nennbetriebsbedingung des Verdichters einstellende Strömung aufweist, wodurch der Verdichtungsstoß (18) stromab eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei einer herkömmlichen Verdichterlaufschaufel und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.
2. Verdichterlaufschaufel gemäß Anspruch 1, wobei in dem konkaven Saugseitenbereich (10) der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilschne (22) einen Minimalwert hat, der von -1,2 bis -0,5 ist.
3. Verdichterlaufschaufel gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Profilschnitt (21) an seiner Saugseite (5) einen konvexen Saugseitenbereich (11) aufweist, der stromab des konkaven Saugseitenbereichs (10) angeordnet ist.
4. Verdichterlaufschaufel gemäß Anspruch 3, wobei in dem konvexen Saugseitenbereich (11) der Verlauf der Krümmung einen Maximalwert hat, der größer ist als der Maximalwert des Verlaufs der Krümmung im entsprechenden Bereich der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel.
5. Verdichterlaufschaufel gemäß Anspruch 3 oder 4, wobei in dem konvexen Saugseitenbereich (11) der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilschne (22) einen Maximalwert hat, der von 2 bis 4 ist.
6. Verdichterlaufschaufel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Punkt des konkaven Saugseitenbereichs (10) mit der minimalen Krümmung bei senkrechter Projektion auf die Profilschne (22) des Pro-

figlschnitts (21) auf dieser einen Projektionspunkt (24) vorgibt, der von der Vorderkante des Profilschnitts (21) von 40 % bis 80 % der Länge der Profilschne (22) entfernt ist.

7. Verdichterlaufschaufel gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Profilschnitt (21) an seiner Druckseite (4) einen konvexen Druckseitenbereich (14) aufweist, der in einem Bereich angeordnet ist, der dem konkaven Saugseitenbereich (10) gegenüberliegend angeordnet ist.
8. Verfahren zum Profilieren einer Verdichterlaufschaufel (1) für einen Verdichter in Axialbauweise, wobei die Verdichterlaufschaufel (1) ein Schaufelprofil mit einem transsonischen Abschnitt aufweist und das Verfahren die Schritte aufweist:
  - Bereitstellen eines geometrischen Modells des Schaufelprofils, wobei das Schaufelprofil einen Profilschnitt (21) aufweist, der sich in dem transsonischen Abschnitt erstreckt;
  - Festlegen von Randbedingungen für eine die Schaufel (14, 15) umströmende Strömung, die bei einer Nennbetriebsbedingung des Verdichters auftritt;
  - Verändern des Profilschnitts (21) derart, dass die Saugseite (5) einen konkaven Saugseitenbereich (10) aufweist, der zumindest teilweise stromauf eines Verdichtungsstoßes (18) angeordnet ist, den eine sich in dem Verdichter bei den Randbedingungen einstellende Strömung aufweist, wodurch der Verdichtungsstoß (18) stromab eines Verdichtungsstoßes angeordnet ist, den eine Strömung aufweisen würde, die sich bei dem geometrischen Modell vor dem Verändern des Profilschnitts und bei der Nennbetriebsbedingung einstellen würde.
9. Verfahren gemäß Anspruch 8, wobei der Profilschnitt (21) auf einer Zylinderfläche, deren Achse mit der Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer Kegelfläche, deren Achse mit der Achse des Verdichters zusammenfällt, auf einer  $S_1$ -Strömungsfläche des Verdichters oder in einer tangentialen Ebene des Verdichters liegt.
10. Verfahren gemäß Anspruch 8 oder 9, wobei beim Verändern des Profilschnitts (21) dessen Skelettlinie (23) verschoben wird, insbesondere wird nur die Skelettlinie (23) verschoben.
11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei das geometrische Modell vor dem Verändern des Profilschnitts (21) an dessen Druckseite (4) ausschließlich konkav ausgebildet ist und/oder an dessen Saugseite (5) ausschließlich konvex ausgebildet ist.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei der Profilschnitt derart verändert wird, dass in dem konkaven Saugseitenbereich (10) der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne (22) einen Minimalwert hat, der von -1,2 bis -0,5 ist. 5
13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei der Profilschnitt (21) derart verändert wird, dass der Profilschnitt (21) an seiner Saugseite (5) einen konvexen Saugseitenbereich (11) aufweist, der stromab des konkaven Saugseitenbereichs (10) angeordnet ist. 10
14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei der Profilschnitt (21) derart verändert wird, dass in dem konvexen Saugseitenbereich (11) der Verlauf der Krümmung einen Maximalwert hat, der größer ist als der Maximalwert des Verlaufs der Krümmung im entsprechenden Bereich der herkömmlichen Verdichterlaufschaufel. 15 20
15. Verfahren gemäß Anspruch 13 oder 14, wobei der Profilschnitt derart verändert wird, dass in dem konvexen Saugseitenbereich (11) der Verlauf der Krümmung multipliziert mit der Länge der Profilsehne (22) einen Maximalwert hat, der von 2 bis 4 ist. 25
16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 15, wobei der Profilschnitt (21) derart verändert wird, dass der Punkt des konkaven Saugseitenbereichs (10) mit der minimalen Krümmung bei senkrechter Projektion auf die Profilsehne des Profilschnitts auf dieser einen Projektionspunkt (24) vorgibt, der von der Vorderkante des Profilschnitts von 40 % bis 80 % der Länge der Profilsehne (22) entfernt ist. 30 35

40

45

50

55

FIG 1

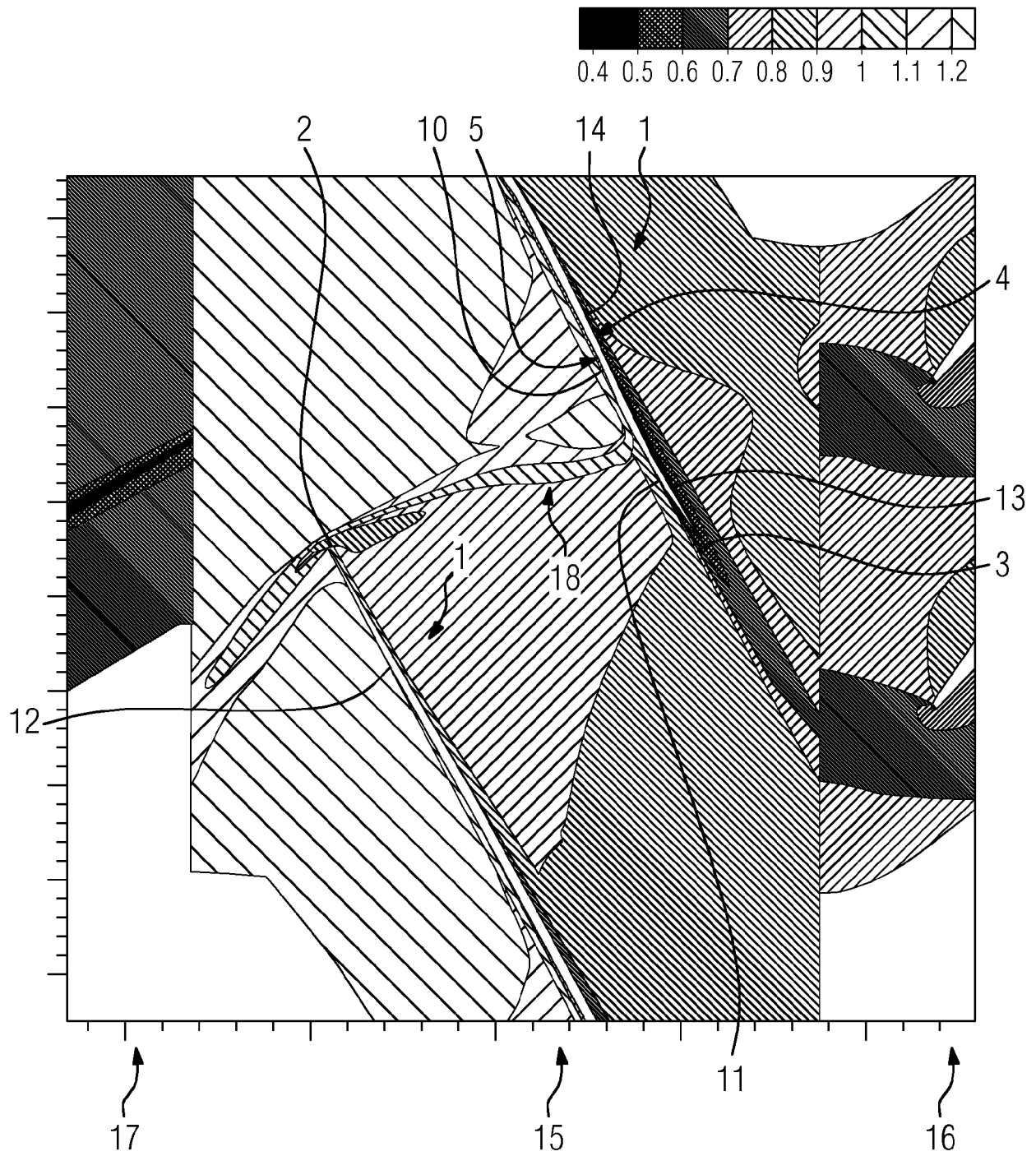


FIG 2

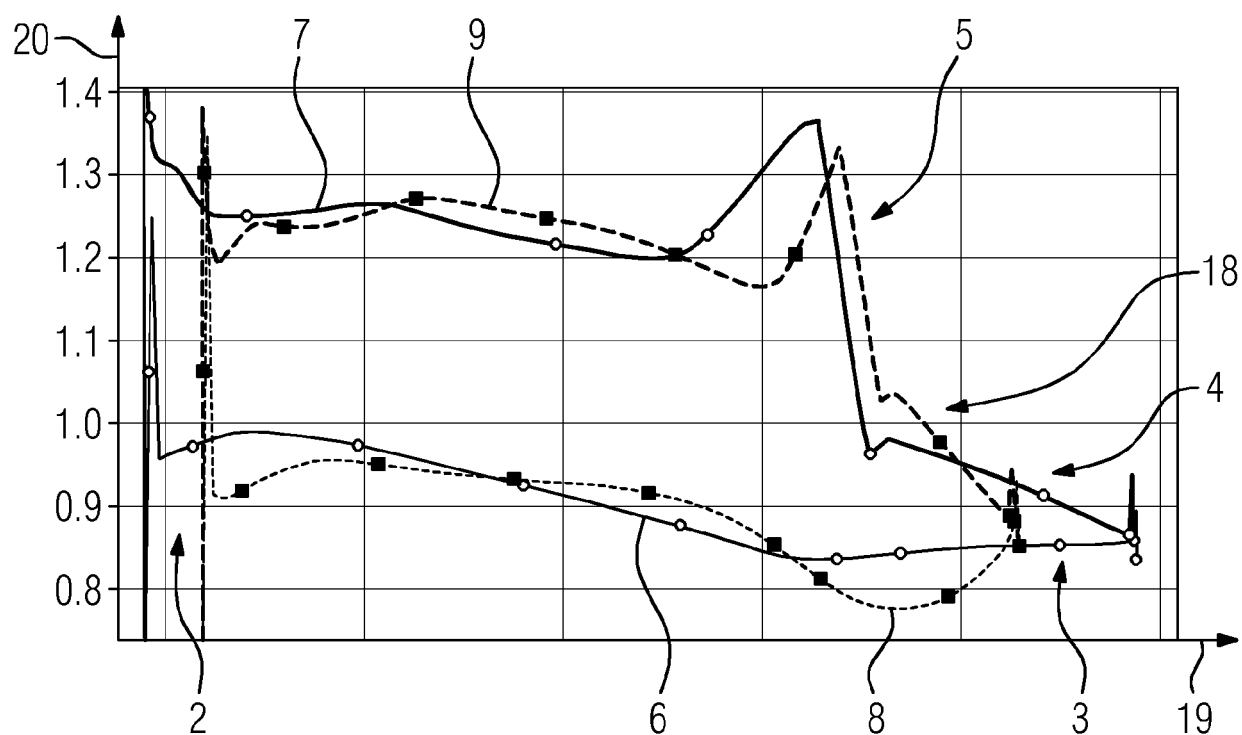


FIG 3

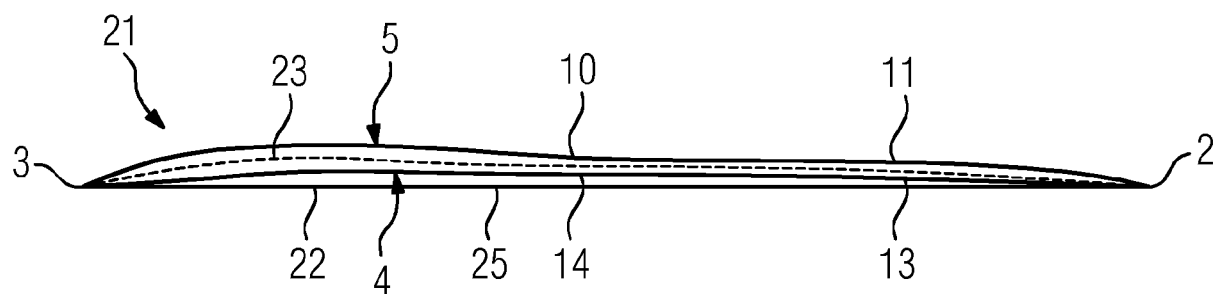
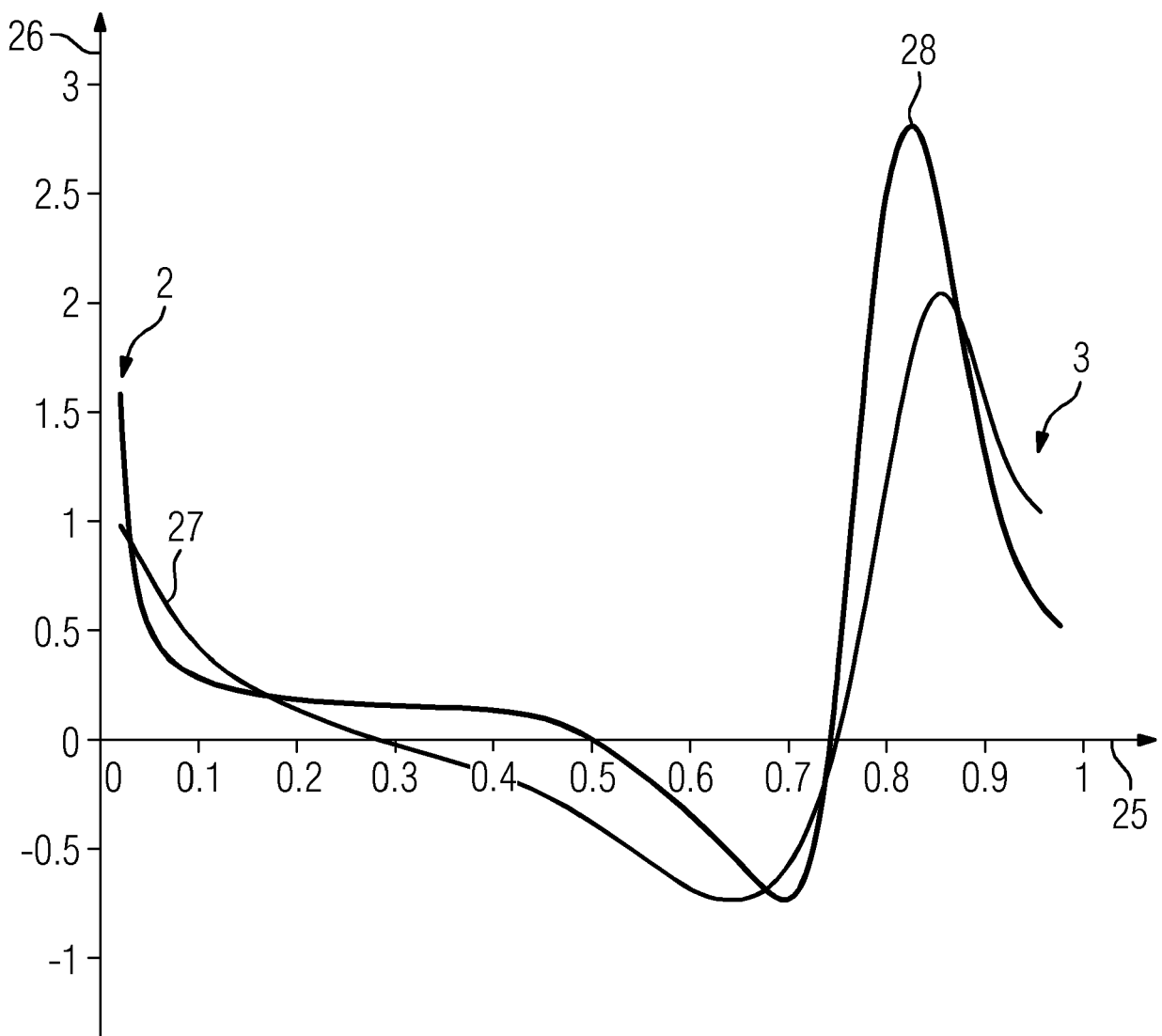




FIG 4





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 16 15 5063

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE  |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Kategorie   | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile   | Betrifft Anspruch   | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)                       |
| X   | FR 2 551 145 A1 (ONERA (OFF NAT AEROSPATIALE) [FR])<br>1. März 1985 (1985-03-01)<br>* Seite 1, Zeilen 2-8 *<br>* Seite 3, Zeile 19 - Seite 4, Zeile 10 *<br>* Seite 4, Zeilen 20-25 *<br>* Seite 5, Zeilen 5-22 *<br>* Seite 6, Zeilen 6-8, 32 *<br>* Seite 7, Zeilen 23, 36 *<br>* Abbildungen 1-3 * | 1-16  | INV.<br>F04D19/00<br>F04D21/00<br>F04D29/32<br>F04D29/68 |
| X   | JP H08 121390 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND) 14. Mai 1996 (1996-05-14)<br>* Zusammenfassung *<br>* Abbildungen 1, 2, 4, 6 *  | 1-16  |  |
| A   | US 2 934 259 A (HAUSMANN GEORGE F)<br>26. April 1960 (1960-04-26)<br><br>* Spalte 1, Zeile 58 - Spalte 2, Zeile 25 *<br>* Abbildungen 1, 2 *  | 1,3,4,6,<br>8,11,13,<br>14,16   | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)<br><br>F04D<br>F01D      |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt   |   |   |  |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>  |   | Abschlußdatum der Recherche<br><b>1. August 2016</b>  | Prüfer<br><b>De Tobel, David</b>                         |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |   | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br><br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |  |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 16 15 5063

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.

01-08-2016

| 10 | Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----|--|----|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
|    | FR 2551145   | A1 | 01-03-1985                    | KEINE                             |                               |
|    | -----  |    |                               |                                   |                               |
| 15 | JP H08121390                                       | A  | 14-05-1996                    | KEINE                             |                               |
|    | -----  |    |                               |                                   |                               |
|    | US 2934259   | A  | 26-04-1960                    | KEINE                             |                               |
|    | -----  |    |                               |                                   |                               |
| 20 |  |    |                               |                                   |                               |
| 25 |  |    |                               |                                   |                               |
| 30 |  |    |                               |                                   |                               |
| 35 |  |    |                               |                                   |                               |
| 40 |  |    |                               |                                   |                               |
| 45 |  |    |                               |                                   |                               |
| 50 |  |    |                               |                                   |                               |
| 55 |  |    |                               |                                   |                               |

EPO FORM P0461

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