

(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
05. März 2020 (05.03.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/043541 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01D 11/20 (2006.01) F01D 11/22 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/072201

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. August 2019 (20.08.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 214 752.3
30. August 2018 (30.08.2018) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München
(DE).

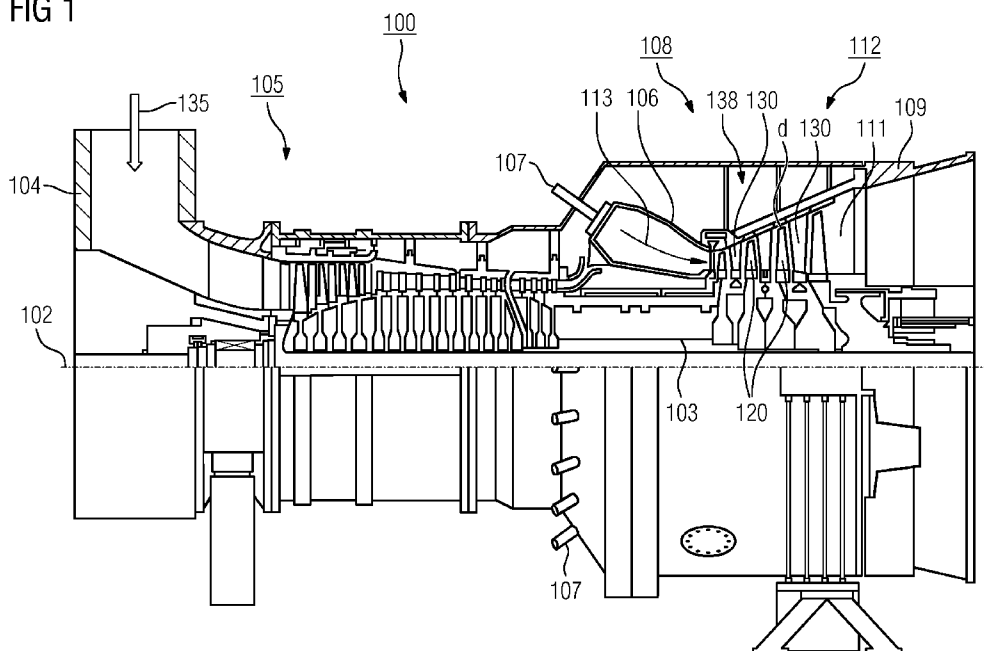
(72) Erfinder: **DÖHNERT, Johannes**; Torgauer Straße 8,
10829 Berlin (DE). **GÄRTLEIN, Sarah**; Lauenburger
Platz 3, 12157 Berlin (DE). **HEILOS, Andreas**; Uhlen-
horstweg 6 c, 45479 Mülheim an der Ruhr (DE). **LADRU,**
Francis; Havelschanze 41, 13587 Berlin (DE). **SCHULZ,**
Thorsten; Plathweg 4, 13595 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A GAS TURBINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER GASTURBINE

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating a gas turbine (100) comprising a rotor (103) with a plurality of rotor blades (120) and a housing (138), at least some of the rotor blades (120) being coated with a hard material, and an abradable coating being applied to the housing (138) in the region of the rotor blades (120), and there being a gap (n) between the rotor (103) and the housing (138), characterised in that the gas turbine (100): - is started up, - is operated at full load for at least 15 minutes, - is slowed down and kept in rotation at a low frequency without firing for several hours, and then speeded up again. This allows operation of the gas turbine (100) which is particularly protective of the coated tips of the rotor blades (120) by deliberately causing the rotor blades (120) to brush against the still intact coating.

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (100) umfassend einen Rotor (103) mit einer Vielzahl von Rotorscheaufeln (120) und ein Gehäuse (138), wobei zumindest einige der Rotorscheaufeln (120) mit einem Hartstoff beschichtet sind und am Gehäuse (138) im Bereich der Rotorscheaufeln (120) eine Anstreifschicht angebracht ist, und wobei zwischen dem Rotor (103) und dem Gehäuse (138) ein Spalt (n) ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbine (100): - angefahren wird, - mindestens 15 Minuten bei Volllast betrieben wird, - abgefahren wird und mehrere Stunden ohne Feuerung bei einer niedrigen Frequenz in Rotation gehalten wird, und erneut hochgefahren wird. Hierdurch wird ein für die beschichteten Spitzen der Rotorscheaufel (120) besonders schonender Betrieb der Gasturbine (100) ermöglicht, indem ein Anstreifen der Rotorscheaufeln (120) gezielt mit noch intakter Beschichtung provoziert wird.

Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine umfassend einen Rotor mit einer Vielzahl von Rotorschaukeln und ein Gehäuse, wobei zumindest die Spitzen der Rotorschaukeln mit einem Hartstoff beschichtet sind und am Gehäuse im Bereich der Rotorschaukeln eine Anstreifschicht
10 angebracht ist, und wobei zwischen dem Rotor und dem Gehäuse ein Spalt ausgebildet ist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Steuerungseinrichtung zur Durchführung solcher Verfahren sowie eine Gasturbine mit einer derartigen Steuerungseinrichtung.

15

In jeder Turbomaschine, insbesondere Gasturbine, gibt es im Strömungskanal zwischen den rotierenden Bauteilen (i.d.R. die Laufschaufeln des Rotors, nachstehend auch als Rotorschaukeln bezeichnet) und dem Gehäuse radiale Spalte. Durch diese Spalte
20 te kommt es zu Druckverlusten, welche den Wirkungsgrad des Prozesses verringern. Daher werden die Spalte beim Design der Gasturbine so klein wie möglich gewählt.

Während des Betriebs der Gasturbine verändert sich die Größe
25 der Spalte. Die Ursachen dafür sind vielfältig, beispielsweise unterschiedliche Erwärmungs- oder Abkühlungsgeschwindigkeit von Gehäuse und Schaufeln (insbesondere im transienten Betrieb), Deformation der Wellenlagerung bei Erwärmung, Ovalität bzw. ungleichmäßige Deformation des Gehäuses bei Erwärmung durch unsymmetrische Kühlluftzufuhr oder unsymmetrisches
30 Gehäusedesign, ungleichmäßiges Altern (Kriechen) der Bauteile, etc. Dies führt dazu, dass es insbesondere beim transienten Betrieb der Gasturbine zu einem Anstreifen der Rotorschaukeln am Gehäuse kommen kann. Die Rotorschaukeln verkürzen sich dadurch, so dass im folgenden Volllast-Betrieb permanent größere Spalte und somit größere Verluste entstehen.
35

Aus der US 8,682,563 B2 ist z.B. ein System zum Vorhersagen des Turbinenreibens bekannt.

Um einen maximalen Gasturbinenwirkungsgrad zu gewährleisten,
5 ist es von entscheidender Bedeutung, die Spalte zwischen den rotierenden und den statischen Bauteilen während des Betriebs möglichst klein zu halten. Bei einem konischen Strömungskanal ist eine Möglichkeit hierzu, nachdem transiente Phasen durch-
10 fahren sind, in welchen die Spalte an den Schaufelspitzen sich maximal verengen, den Rotor im stationären Hochlast-Betrieb z.B. mit einer Hydraulik axial zu verfahren. Wird der Rotor gegen die Strömungsrichtung verfahren, dann reduzieren sich die Spalte.

15 Aus der WO 2014/016153 A1 ist ein Verfahren zur Minimierung eines einstellbaren Spalts zwischen einer Laufschaufel und einem Gehäuse einer Turbine bekannt. Durch Verschiebung von Läufer und Gehäuse gegeneinander soll der Spalt zwischen dem Läufer und dem Gehäuse auf einfache Art und Weise minimiert
20 werden. Dazu wird ein Ausgangssignal eines dem Läufer und/oder dem Gehäuse zugeordneten Körperschallüberwachungssystems als Maß für die Größe des Spalts und damit zur Einstellung eines minimalen Spalts herangezogen.

25 Am Turbinengehäuse ist eine abschleifbare Dichtung angebracht, die auch als Anstreifschicht bezeichnet wird. Anstreifdichtungen oder -schichten für die Rotorscheaufeln von Gasturbinen, die an der Innenwand des Turbinengehäuses angeordnet sind, werden als Wabenstruktur-Dichtungen (auch "Ho-
30 neycomb-Dichtung" genannt) oder als poröse, keramische Beschichtungen ausgebildet. Das Einschneiden der Schaufelspitze in die abschleifbare Dichtung erfolgt ohne einen wesentlichen Verschleiß oder eine wesentliche Beschädigung der Beschichtung oder der Schaufelspitze.

35 Um ein Abtragen des Materials an der Spitze der Rotorscheaufel zu vermeiden, ist es aus dem Stand der Technik bereits bekannt, die Enden bzw. Spitzen der Schaufeln mit einem kerami-

schen Belag oder mit Hartstoffpartikeln bzw. mit abrasiven Partikeln zu panzern. Insbesondere wird kubisches Bornitrid als Hartstoff-Beschichtung verwendet. Eine solche Beschichtung geht z.B. aus der DE 44 36 186 C2 hervor. Problematisch ist dabei jedoch, dass das kubische Bornitrid bei den Einsatztemperaturen ($>1100^{\circ}\text{C}$) einer Gasturbine nur eine begrenzte Lebensdauer von mehreren Hundert Stunden hat.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen für die beschichteten Spitzen der Rotorscheaufel besonders schonenden Betrieb der Gasturbine zu ermöglichen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine umfassend einen Rotor mit einer Vielzahl von Rotorscheaufeln und ein Gehäuse, wobei zumindest einige der Rotorscheaufeln mit einem Hartstoff beschichtet sind und am Gehäuse im Bereich der Rotorscheaufeln eine Anstreifschicht angebracht ist, und wobei zwischen dem Rotor und dem Gehäuse ein Spalt ausgebildet ist, wobei die Gasturbine:

- angefahren wird,
- mindestens 15 min bei Volllast betrieben wird,
- abgefahren wird und mehrere Stunden ohne Feuerung bei einer niedrigen Frequenz in Rotation gehalten wird, und
- erneut hochgefahren wird.

Ergänzend oder alternativ wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch ein weiteres Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine umfassend einen Rotor mit einer Vielzahl von Rotorscheaufeln und ein Gehäuse, wobei zumindest die Spitzen der Rotorscheaufeln mit einem Hartstoff beschichtet sind und am Gehäuse im Bereich der Rotorscheaufeln eine Anstreifschicht angebracht ist, und wobei zwischen dem Rotor und dem Gehäuse ein Spalt ausgebildet ist, wobei

- die Gasturbine angefahren wird,
- die Gasturbine bei Volllast betrieben wird, bis die Gasturbine vollständig durchgewärmt wird,

- optional eine Spaltoptimierung, bei der ein axialer Versatz des Rotors und/oder des Gehäuses erfolgt, eingeschalten wird,
- die Gasturbine in Teillast entlastet wird und mindestens eine Stunde bei Teillast betrieben wird.

Darüber hinaus wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch eine Steuerungseinrichtung zur Durchführung des oder der oben beschriebenen Verfahren.

Die Aufgabe wird schließlich erfindungsgemäß gelöst durch eine Gasturbine mit einer solchen Steuerungseinrichtung.

Die in Bezug auf die Verfahren nachstehend angeführten Vorteile und bevorzugten Ausgestaltungen lassen sich sinngemäß auf die Steuerungseinrichtung und die Gasturbine übertragen.

Aus Untersuchungen ist bekannt, in welchen Phasen des transienten Betriebs und an welcher Position das Anstreifen der Schaufelspitzen stattfindet. Der Erfindung liegt dabei die Idee zugrunde, das Anstreifen gezielt zu provozieren, insbesondere das Anstreifen in den ersten Betriebsstunden der Gasturbine als Standard zu etablieren. Der wesentliche Vorteil dabei ist, dass die Beschichtung, die z.B. kubisches Bornitrit enthält, noch intakt ist und somit ein Einreiben in die Anstreifschicht möglich ist, ohne dass sich die Schaufelspitzen verkürzen. Dabei müssen nicht zwingend alle Rotorschaukeln mit Hartstoffpartikeln beschichtet sein, jedoch weisen zumindest 10% der Rotorschaukeln pro Stufe eine Hartstoffbeschichtung auf. Bei den beschichteten Rotorschaukeln ist zudem ausreichend, wenn nur die Spitzen die Beschichtung aufweisen.

Das Anstreifen tritt insbesondere bei zwei Betriebszuständen auf. Die Erfindung zielt dabei darauf ab, durch unterschiedliche Betriebsweisen diese zwei Betriebszustände gezielt anzufahren.

Im ersten Fall wird die Gasturbine zunächst wie üblich angefahren und mehrere Minuten oder Stunden (je nach Turbinentyp zwischen 15 min und 100 Stunden), bei Volllast betrieben.

Wenn anschließend die Gasturbine abgefahren wird und ohne

5 Feuerung mehrere Stunden, bevorzugt bis 24 Stunden, jedoch bis maximal 30 Stunden weiter rotiert, stellt sich aufgrund der sehr geringen Geschwindigkeiten bei niedriger Turndrehzahl eine natürliche Konvektion ein. Diese führt zu einem vertikalen Temperaturgradienten im Durchmesser der Gasturbine und folglich zu einer Deformation der stehenden Gehäusebau-
10 teile. Diese Verformung verursacht an zumindest einer Stelle einen kleineren, radialen Turbinenspalt. Das Schließen der Spalte erfolgt kontinuierlich, so dass die Spalte einen minimalen Wert etwa 10 Stunden nach dem Abfahren der Gasturbine
15 aufweisen, daher rotiert die Gasturbine mehrere Stunden lang, insbesondere bis 24 Stunden, in diesem Zustand.

Wird die Gasturbine in einem solchen Zustand erneut gestartet, kommt es zu einem starken Anstreifen im Bereich des ver-
20 kleinerten Spalts oder der verkleinerten Spalte. Dieser Betriebszustand wird gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 gezielt angefahren. Somit wird ein Einreiben mit beschichteten Schaufelspitzen garantiert, so dass später, wenn die Beschichtung nicht mehr intakt ist, sich die Schaufelspitzen nicht verkürzen,
25 sollte dieser Betriebszustand erneut eingestellt werden.

Nach einer bevorzugten Ausführungsvariante wird die Gasturbine zwischen 8 Stunden und 12 Stunden bei Volllast betrieben. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass eine vollständige
30 Durchwärmung der Gasturbine stattfindet.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante wird die Gasturbine ohne Feuerung (d.h. in einem sogenannten „turning gear“-Betriebsmodus, in dem die Gasturbine z.B. einen externen Elektromotor oder den Generator in Rotation gehalten
35 wird) bei einer Frequenz zwischen 0,5 Hz und 5 Hz betrieben, um die natürliche Konvektion hervorzurufen, welche zum verti-

kalen Temperaturgradienten und somit letztendlich zum Anstreifen führt.

Der zweite Fall bzw. Betriebszustand betrifft ein Anstreifen
5 an einer unterschiedlichen Position. Insbesondere aufgrund
einer ungleichmäßigen Zufuhr der Kühlluft, welche während des
Betriebs zu einem Temperaturgradienten in Umfangsrichtung
führt, sowie einer nicht optimalen Zentrierung des Rotors zum
10 Gehäuse über den Lagerstern, kommt es zu einer dreidimensio-
nalen Abweichung der Turbinenradialspalte. Um dieses Anstrei-
fen zu erzwingen, wird gemäß dem unabhängigen Verfahrens-
anspruch 4 die Gasturbine aus einem durchgewärmten Volllastbe-
trieb entlastet und anschließend eine Stunde bei Teillast,
d.h. insbesondere bei einem Lastabwurf von mindestens 10%,
15 mit aktivierter Spaltoptimierung, wenn diese vorhanden ist,
betrieben. Bevorzugt erfolgt dabei die Entlastung aus dem
durchgewärmten Volllastbetrieb auf eine für die Spaltoptimie-
rung minimal erreichbare bzw. zulässige Teillast.

20 Um das Anstreifen mit den beschichteten Spitzen der Rotor-
schaufel möglichst früh zu provozieren, nämlich solange die
Beschichtung der Schaufelspitzen sich sicher in einem intak-
ten Zustand befindet, ist bei beiden Verfahren das erste An-
fahren der Gasturbine vorzugsweise eine Inbetriebnahme der
25 Gasturbine. Mit Inbetriebnahme wird hierbei auch die Be-
triebsaufnahme nach einem Austausch der Rotorschaufeln im
Rahmen von Wartungsarbeiten verstanden.

Aus den gleichen Gründen werden das oder die oben beschriebe-
30 nen Verfahren vorzugsweise innerhalb der ersten 200 Betriebs-
stunden durchgeführt. Ein möglichst frühes Provozieren des
Anstreifens ist jedoch effizienter und vorteilhafter, daher
wird die das Anstreifen gemäß der oben beschriebenen Verfah-
ren insbesondere innerhalb der ersten 100 Betriebsstunden ge-
35 zielt hervorgerufen.

Der Fokus beider erfindungsgemäßer Betriebsverfahren liegt
auf dem geplanten Anstreifen bei der Inbetriebnahme. Der Vor-

teil daraus ist zunächst, dass die Schaufelspitzen sich nicht mehr verkürzen und die Warmspalte im Betrieb kleiner sind. Dies resultiert in geringeren Spaltverlusten bzw. einem höheren Wirkungsgrad der Gasturbine. Darüber hinaus erfolgt eine Verringerung der Schaufelspitzenkorrosion. Im Stand der Technik wurde beim Anstreifen die Schutzschicht der Rotorschaukel beschädigt, so dass an diesen Stellen eine erhöhte Alterung/Schädigung (Heißgaskorrosion) verursacht wurde. Da jedoch erfindungsgemäß das Anstreifen mit intakter Beschichtung stattfindet, ist dies nicht mehr der Fall. Durch die Hartstoffbeschichtung, die insbesondere Bornitrid enthält, sind die Schaufelspitzen beim Anstreifen geschützt, somit ist eine höhere Lebensdauer der Rotorschaukeln gewährleistet.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierin zeigen:

FIG 1 eine Gasturbine im Längsschnitt,

FIG 2 den Ablauf eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens zur Provokation des Einschleifens,

und

FIG 3 den Ablauf eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens zur Provokation des Einschleifens.

Gleiche Bezugszeichen haben in den verschiedenen Figuren die gleiche Bedeutung.

Die FIG 1 zeigt eine Turbine 100, hier eine Gasturbine, in einem Längsteilschnitt. Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 (Axialrichtung) drehgelagerten Rotor 103 auf. Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine Ringbrennkammer 106 mit mehreren koaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und ein Abgasgehäuse 109.

Die Ringbrennkammer 106 kommuniziert mit einem ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108. Jede

Turbinenstufe 112 ist aus zwei Schaufelringen gebildet. In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen, folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 130 eine aus Laufschaufeln bzw. Rotorschaufeln 120 gebildete Reihe. Die Spitzen der Laufschaufeln 120 weisen eine Hartstoffbeschichtung aus kubischem Bornitrid auf.

Die Leitschaufeln 130 sind dabei am Gehäuse 138 befestigt, wohingegen die Rotorschaufeln 120 am Rotor 103 angebracht sind. An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Verdichters 105 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brennkammer 106 verbrannt. Von dort aus strömt das Arbeitsmedium 113 entlang des Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Rotorschaufeln 120. An den Rotorschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass die Rotorschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine oder Generator.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Rotor 103 entlang der Achse 102 axial verschiebbar, jedoch ist eine hydraulische Spaltoptimierung für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht zwingend erforderlich, sondern sie wirkt unterstützend und ist lediglich optional. Aufgrund der Konizität des Rotors 103 und des Gehäuses 138 zueinander wird durch eine Axialverschiebung des Rotors 103 oder des Gehäuses 138 der Spalt d zwischen dem Rotor 103, insbesondere den Rotorschaufelenden, und dem Gehäuse 138 verringert oder vergrößert. Die Axialverschiebung erfolgt hierbei hydraulisch.

Aufgrund der ungleichmäßigen thermischen Dehnungen der verschiedenen Turbinenkomponenten kommt es zu Verkleinerungen

des Radialspalts d und somit zum Anstreifen der Spitzen der Rotorscheaufeln 120 am Gehäuse 138. Das Gehäuse 138 weist dabei im Kontaktbereich eine Anstreifschicht auf, die hier nicht näher gezeigt ist.

5

Gemäß einem ersten Betriebsverfahren ist es vorgesehen, die Gasturbine 100 derart anzusteuern, dass ein gezieltes Anstreifen der Rotorscheaufeln 120 verursacht wird. Der Verfahrensablauf ist aus FIG 2 ersichtlich. In FIG 2 ist eine Drehfrequenz f der Turbine 100 über die Zeit t aufgetragen. Im Zeitraum von t_0 bis t_1 im Rahmen einer Inbetriebnahme der Gasturbine 100 wird die Gasturbine 100 zunächst angefahren. Wenn eine Volllast von in diesem Ausführungsbeispiel 50 Hz erreicht ist, wird die Gasturbine 100 zwischen t_1 und t_2 noch mindestens 15 min, jedoch bevorzugt mehrere Stunden, insbesondere zwischen 8 und 12 Stunden, bei Volllast betrieben. Bei t_2 wird die Gasturbine 100 abgefahren, wobei sie weiter im „turning gear“ Betriebsmodus ohne Feuerung rotiert. Wichtig ist dabei, dass die Gehäuseteile noch gut durchwärmt sind. Dieser Betriebsmodus dauert z.B. 8 Stunden, jedoch kann er auch bis zu 24, sogar bis 30 Stunden dauern. Ab t_3 wird die Gasturbine 100 erneut hochgefahren bis sie bei t_5 wieder die Volllast erreicht hat, wobei zum Zeitpunkt t_4 das Anstreifen stattfindet. Das Erreichen von Volllast beim erneuten Anfahren ist nicht erforderlich, entscheidend ist primär ein schnelles Starten, z.B. mit Steigerung von 10% der Maximalleistung pro Minute. Zu Zeitpunkt t_4 ist die Beschichtung der Rotorscheaufeln 120 noch intakt, daher werden Einschleifspuren in der Anstreifschicht hinterlassen. Somit wird gewährleistet, dass selbst wenn es zu einem späteren Zeitpunkt der Spalt d zwischen dem Rotor 103 und dem Gehäuse 138 geschlossen wird, keine Beschädigung der Schaufelspitzen an dieser Stelle erfolgt.

Ein zweites Betriebsverfahren für die Gasturbine 100 ist aus FIG 3 ersichtlich. In FIG 3 ist die Entwicklung der Gasturbinenlast P über die Zeit t gezeigt. Ziel dabei ist es, ein Anstreifen in einer anderen Position als beim Betriebsverfahren

gemäß FIG 2 zu erzwingen. Um dies zu erreichen, wird die Gasturbine 100 angefahren (ggf. bei veränderlicher Drehzahl) und ab t_1 bei Volllast betrieben, bis die Gasturbine 100 vollständig durchgewärmt wird. Die Gasturbine braucht, je nach
5 Größe, bis zu 10 Stunden bis zur vollständigen Durchwärmung. Anschließend erfolgt zwischen t_2 und t_4 ein schnelles Entlasten der Gasturbine 100 mit maximal zulässiger Rate oder mindestens 30% dieser Rate. Wenn die Gasturbine 100 über eine Spaltoptimierung verfügt, so wird die Spaltoptimierung wäh-
10 rend dieses Manövers aktiviert. Unter diesen Bedingungen wird die Gasturbine 100 ab t_4 mindestens eine Stunde betrieben. Schließlich kann die Gasturbine erneut auf Volllast hochgefahren werden und die hydraulische Spaltoptimierung kann ausgeschaltet werden.

15 Beide Verfahren können zeitlich hintereinander an derselben Gasturbine 100 im Rahmen der Inbetriebnahme angewendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (100) umfassend
einen Rotor (103) mit einer Vielzahl von Rotorscheaufeln
5 (120) und ein Gehäuse (138), wobei zumindest einige der
Rotorscheaufeln (120) mit einem Hartstoff beschichtet sind
und am Gehäuse (138) im Bereich der Rotorscheaufeln (120)
eine Anstreifschicht angebracht ist, und wobei zwischen
dem Rotor (103) und dem Gehäuse (138) ein Spalt (d) aus-
10 gebildet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbine (100):
 - angefahren wird,
 - mindestens 15 Minuten bei Volllast betrieben wird,
 - abgefahren wird und mehrere Stunden, ohne Feuerung bei
15 einer niedrigen Frequenz in Rotation gehalten wird, und
 - erneut hochgefahren wird.
2. Verfahren nach einem der Ansprüche 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbine (100) zwi-
20 schen 8 Stunden und 12 Stunden bei Volllast betrieben
wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbine (100) ohne
25 Feuerung bei einer Frequenz zwischen 0,5 Hz und 5 Hz be-
trieben wird.
4. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (100) umfassend
einen Rotor (103) mit einer Vielzahl von Rotorscheaufeln
30 (120) und ein Gehäuse (138), wobei zumindest die Spitzen
der Rotorscheaufeln (120) mit einem Hartstoff beschichtet
sind und am Gehäuse (138) im Bereich der Rotorscheaufeln
(120) eine Anstreifschicht angebracht ist, und wobei zwi-
schen dem Rotor (103) und dem Gehäuse (138) ein Spalt (d)
35 ausgebildet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass:
 - die Gasturbine (100) angefahren wird

- die Gasturbine (100) bei Grundlast betrieben wird, bis die Gasturbine vollständig durchgewärmt wird,
 - optional eine Spaltoptimierung, bei der ein axialer Versatz des Rotors (103) und/oder des Gehäuses (138) erfolgt, eingeschalten wird,
 - die Gasturbine (100) in Teillast entlastet wird und mindestens eine Stunde bei Teillast betrieben wird.
- 5.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Entlastung auf eine für die Spaltoptimierung minimal erreichbare Teillast erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches bei einer Inbetriebnahme der Gasturbine (100) durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches innerhalb der ersten 200 Betriebsstunden durchgeführt wird.
8. Steuerungseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
9. Gasturbine (100) mit einer Steuerungseinrichtung nach Anspruch 8.

FIG 1

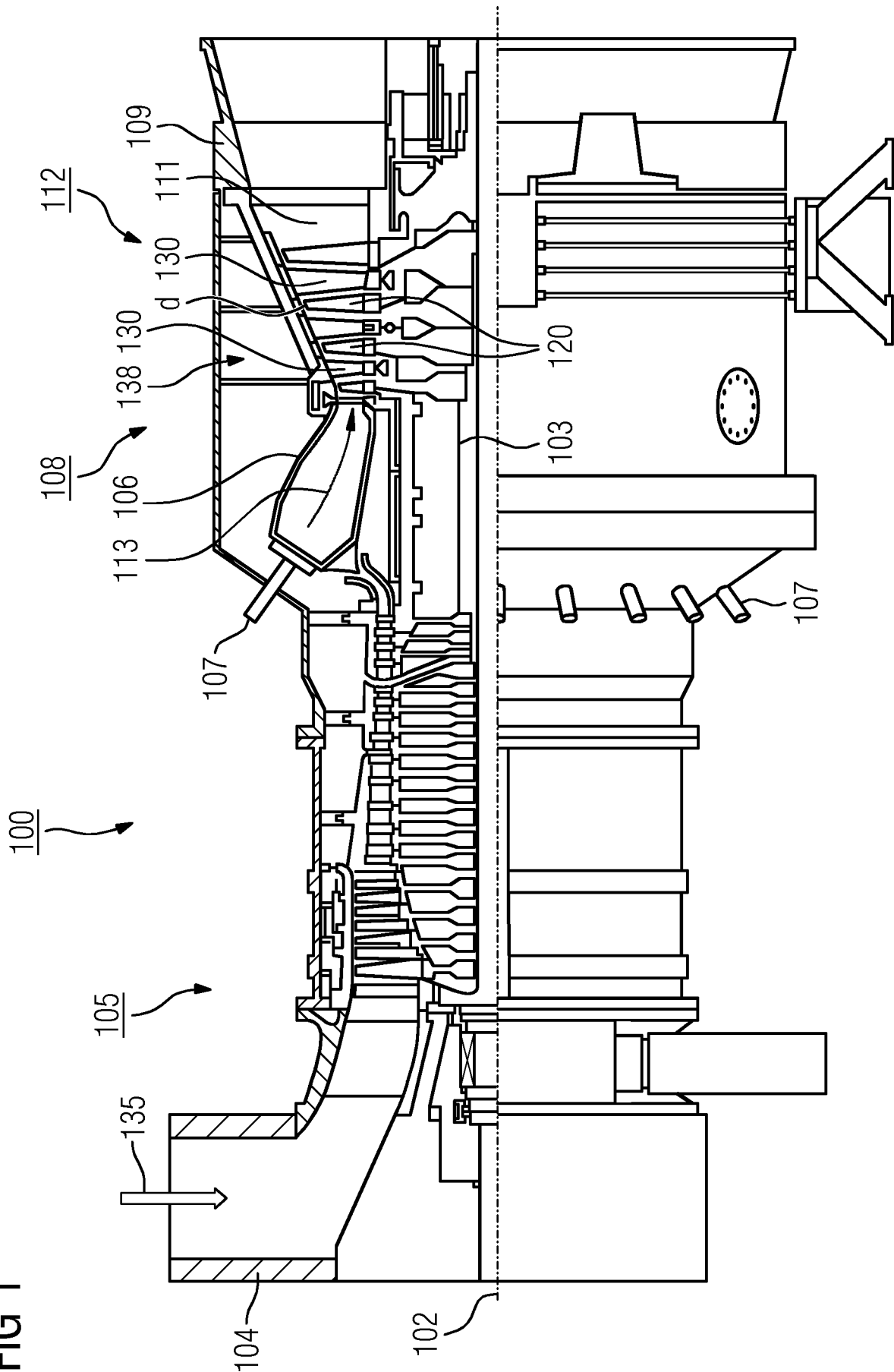


FIG 2

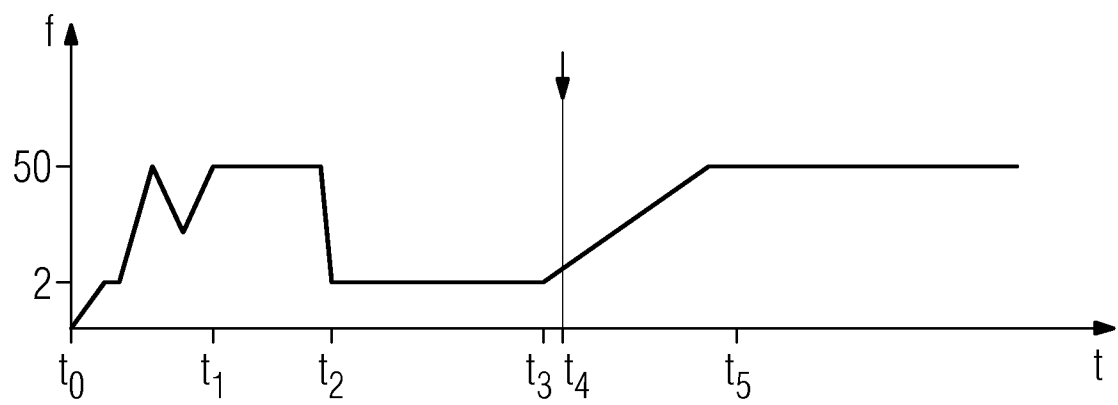
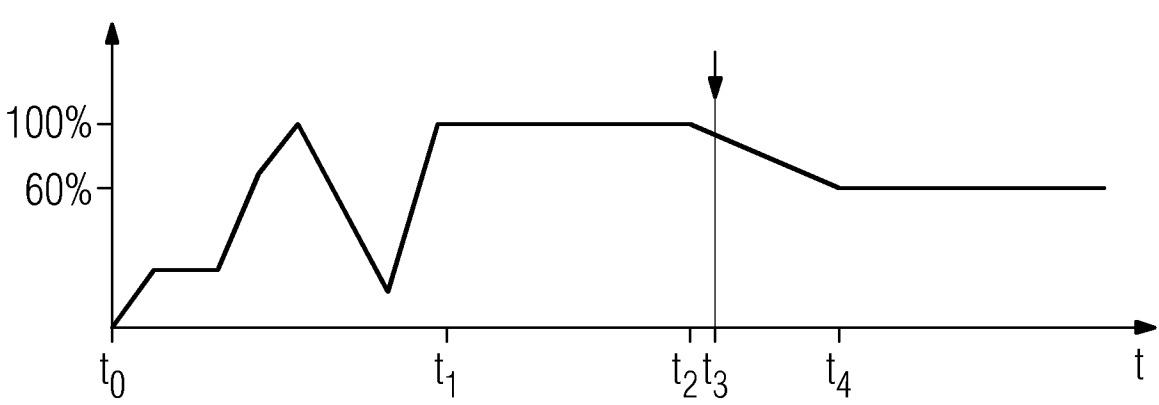


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/072201

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F01D 11/20**(2006.01)i; **F01D 11/22**(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F01D

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2010189551 A1 (BALLARD JR HENRY G [US] ET AL) 29 July 2010 (2010-07-29) figures 1-7 paragraphs [0003] - [0007], [0010], [0020], [0023], [0027], [0029], [0036], [0037], [0044] - [0050]	1-3,6-9
Y	US 2017002740 A1 (ROBSON CHRISTOPHER MICHAEL [CH] ET AL) 05 January 2017 (2017-01-05) figures 1,2 paragraphs [0002] - [0004], [0007], [0008], [0018] - [0033], [0039], [0040], [0043]	4-9
Y	US 2007099011 A1 (WILSON SCOTT [CH]) 03 May 2007 (2007-05-03) figures 1-4 paragraphs [0001] - [0011], [0022], [0033] - [0035]	1-9
A	EP 2540973 A1 (SIEMENS AG [DE]) 02 January 2013 (2013-01-02) figures 1-3 paragraphs [0001] - [0012], [0020], [0021]	1,4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 December 2019

Date of mailing of the international search report

09 December 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Rakotonanahary, S

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/072201

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2010189551	A1	29 July 2010	CN	102094713	A	15 June 2011
				EP	2213843	A2	04 August 2010
				JP	5268957	B2	21 August 2013
				JP	2010174886	A	12 August 2010
				US	2010189551	A1	29 July 2010
US	2017002740	A1	05 January 2017	CN	106321247	A	11 January 2017
				EP	3112607	A1	04 January 2017
				US	2017002740	A1	05 January 2017
US	2007099011	A1	03 May 2007	AT	491052	T	15 December 2010
				CA	2550535	A1	14 January 2007
				CN	1896464	A	17 January 2007
				EP	1743957	A1	17 January 2007
				EP	1743958	A1	17 January 2007
				ES	2355152	T3	23 March 2011
				JP	4799302	B2	26 October 2011
				JP	2007024042	A	01 February 2007
				US	2007099011	A1	03 May 2007
EP	2540973	A1	02 January 2013	EP	2540973	A1	02 January 2013
				WO	2013001091	A1	03 January 2013

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01D11/20 F01D11/22
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2010/189551 A1 (BALLARD JR HENRY G [US] ET AL) 29. Juli 2010 (2010-07-29) Abbildungen 1-7 Absätze [0003] - [0007], [0010], [0020], [0023], [0027], [0029], [0036], [0037], [0044] - [0050] -----	1-3,6-9
Y	US 2017/002740 A1 (ROBSON CHRISTOPHER MICHAEL [CH] ET AL) 5. Januar 2017 (2017-01-05) Abbildungen 1,2 Absätze [0002] - [0004], [0007], [0008], [0018] - [0033], [0039], [0040], [0043] ----- -/-	4-9



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Dezember 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/12/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Rakotonanahary, S

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2007/099011 A1 (WILSON SCOTT [CH]) 3. Mai 2007 (2007-05-03) Abbildungen 1-4 Absätze [0001] - [0011], [0022], [0033] - [0035]	1-9
A	----- EP 2 540 973 A1 (SIEMENS AG [DE]) 2. Januar 2013 (2013-01-02) Abbildungen 1-3 Absätze [0001] - [0012], [0020], [0021] -----	1,4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/072201

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2010189551	A1	29-07-2010	CN	102094713 A		15-06-2011
			EP	2213843 A2		04-08-2010
			JP	5268957 B2		21-08-2013
			JP	2010174886 A		12-08-2010
			US	2010189551 A1		29-07-2010

US 2017002740	A1	05-01-2017	CN	106321247 A		11-01-2017
			EP	3112607 A1		04-01-2017
			US	2017002740 A1		05-01-2017

US 2007099011	A1	03-05-2007	AT	491052 T		15-12-2010
			CA	2550535 A1		14-01-2007
			CN	1896464 A		17-01-2007
			EP	1743957 A1		17-01-2007
			EP	1743958 A1		17-01-2007
			ES	2355152 T3		23-03-2011
			JP	4799302 B2		26-10-2011
			JP	2007024042 A		01-02-2007
			US	2007099011 A1		03-05-2007

EP 2540973	A1	02-01-2013	EP	2540973 A1		02-01-2013
			WO	2013001091 A1		03-01-2013
