



(11) **EP 4 438 858 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**02.10.2024 Patentblatt 2024/40**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F01D 5/28<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **24194316.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F01D 5/005; F01D 5/284; F01D 5/286; F01D 5/288;  
F05D 2230/80; F05D 2230/90**

(22) Anmeldetag: **22.04.2020**

(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**

(72) Erfinder:  

- **Reiermann, Dietmar**  
**91052 Erlangen (DE)**
- **Rindler, Michael**  
**15566 Schöneiche (DE)**
- **Großhäuser, Martin**  
**91052 Erlangen (DE)**
- **Bullinger, Patrick**  
**90482 Nürnberg (DE)**
- **Pahl, Andreas**  
**40589 Düsseldorf (DE)**

(30) Priorität: **22.05.2019 DE 102019207479**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)  
nach Art. 76 EPÜ:  
**20725415.2 / 3 947 915**

(71) Anmelder: **Siemens Energy Global GmbH & Co.  
KG**  
**81739 München (DE)**

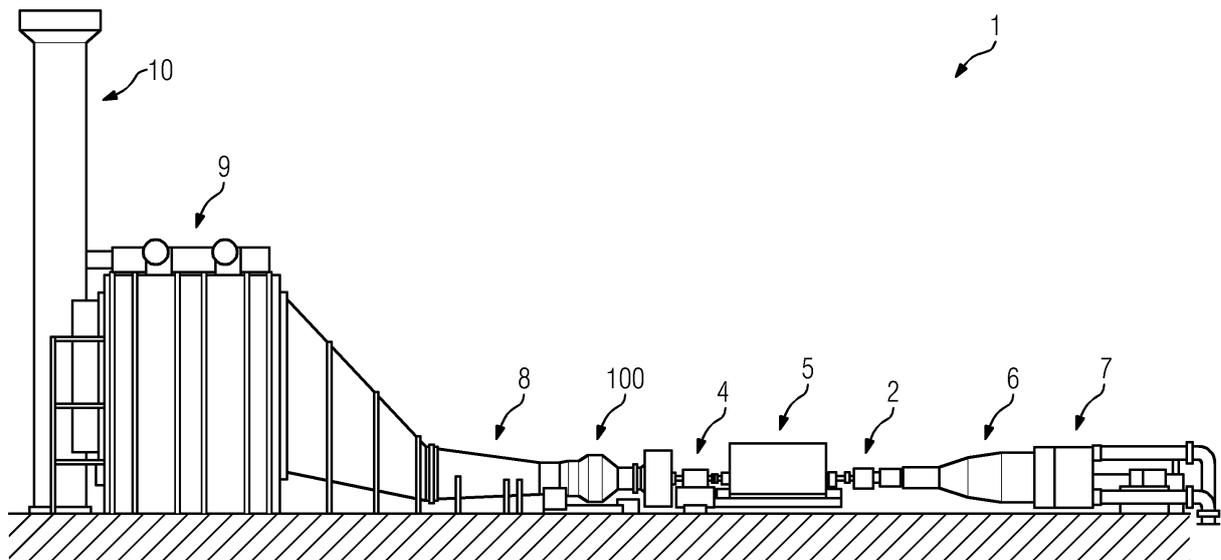
Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 13.08.2024 als  
Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten  
Anmeldung eingereicht worden.

(54) **VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG VON SERVICEMASSNAHMEN AN EINER  
ENERGIEUMWANDLUNGSANLAGE UND ENERGIEUMWANDLUNGSANLAGE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung von Servicemaßnahmen von Energieerzeugungsanlagen.

FIG 24



**EP 4 438 858 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung von Servicemaßnahmen an einer Energieumwandlungsanlage und eine Energieumwandlungsanlage.

**[0002]** An Gasturbinen in Energieumwandlungsanlagen gibt es verschiedene Anforderungen.

**[0003]** Dies können Maschinen zur Grundlastversorgung sein oder zum Ausgleich von Lastwechseln, insbesondere aufgrund von erneuerbaren Energien, deren Input ins Stromnetz variieren kann. Anforderungen können verschiedene Standorte, Kühlmöglichkeiten, Brennstoffe usw. sein.

**[0004]** Darüber hinaus gibt es auch verschiedene Anforderungen an die gewünschten Serviceintervalle oder an Modifikationen und Verbesserungen aufgrund verschiedener Ausgangsmodelle.

**[0005]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung Modifikationen aufzuzeigen, die verschiedenen Einsatzbedingungen oder Anforderungen des Kunden entsprechen.

**[0006]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und eine Energieumwandlungsanlage gemäß Anspruch 10, bei dem eine entsprechende vorhandene Gasturbine bereitgestellt bzw. entsprechend modifiziert ist oder neu hergestellt wird.

**[0007]** In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Maßnahmen aufgelistet, die beliebig miteinander kombiniert werden können, um weitere Vorteile zu erzielen.

**[0008]** Es zeigen die

Figur 1 eine Gasturbine,  
 Figur 2 eine Brennkammer,  
 Figur 3 eine Turbinenlaufschaufel,  
 Figur 4 eine Liste von Superlegierungen,  
 Figur 5 eine Gasturbine im Querschnitt mit einem verbesserten Lager,  
 Figur 6 einen Querschnitt einer Gasturbine mit verbesserten Brennern,  
 Figur 7 ein Gehäuse eines Kompressors im Querschnitt mit einer Gasturbine,  
 Figur 8 einen Querschnitt einer Gasturbine mit jeweils einem Leit- und Laufschaufelbereich in den Stufen,  
 Figur 9 eine Turbinenschaufel mit Kühllöchern an den Seitenflächen,  
 Figur 10 eine gekühlte Spitze einer Turbinenschaufel,  
 Figur 11 einen Schaufelträger einer hinteren Turbinenstufen,  
 Figur 12 einen Übergang von Brennkammerstein zur Leitschaufel,  
 Figur 13 eine Dichtungsanordnung eines Leitschaufelträgers,  
 Figur 14 Brennkammersteine in einer Brennkammer mit Spoilereffekt,  
 Figur 15 einen Brennkammerstein,  
 Figur 16, 17 jeweils einen Spalt zwischen zwei

Figur 18, 19 Brennkammersteinen gemäß Figur 15, ein Gehäuse mit der Einbringung einer zusätzlichen Dichtung,  
 Figur 20, 21 einen Brenner mit modifizierten Leitschaufeln des Swirlers,  
 Figur 22 ein veränderter Fuß einer Dampfturbine,  
 Figur 23 eine Vorrichtung zur Überwachung der Verbrennungsdynamik,  
 Figur 24 zeigt eine Energieerzeugungsanlage.

**[0009]** Die Figuren und die Beschreibung stellen nur Ausführungsbeispiele der Erfindung dar.

**[0010]** Die Figur 1 zeigt beispielhaft eine Gasturbinen-Maschine 100 in einem Längsteilschnitt.

**[0011]** Die Gasturbinen-Maschine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 drehgelagerten Rotor 103 mit Turbinenlaufschaufel 120 auf, der auch als Turbinenläufer bezeichnet wird.

**[0012]** Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Kompressor 105, eine beispielsweise torusartige Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer, mit mehreren koaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.

**[0013]** Die Ringbrennkammer 110 kommuniziert mit einem vorzugsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

**[0014]** Jede Turbinenstufe 112: I, II, III, IV ist vorzugsweise aus zwei Schaufelringen gebildet.

**[0015]** In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 115 eine aus Laufschaufeln 120 gebildete Laufschaufelreihe 125.

**[0016]** Die Leitschaufeln 130 sind dabei an einem Gasturbinengehäuse 138 eines Stators 143 befestigt, wohingegen die Laufschaufeln 120 einer Laufschaufelreihe 125 beispielsweise mittels einer Turbinenscheibe 133 am Rotor 103 angebracht sind.

**[0017]** An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator 5 (Fig. 24) oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

**[0018]** Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Kompressor 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Kompressors 105 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107 in einer Brennkammer 110 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brennkammer 110 verbrannt. Von dort aus strömt das Arbeitsmedium 113 entlang des Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Laufschaufeln 120. An den Laufschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

**[0019]** Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gas-

turbine 100 thermischen Belastungen. Die Leitschaufeln 130 und Laufschaufeln 120 der in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums 113 gesehen ersten Turbinenstufe 112 werden neben den die Brennkammer 110 auskleidenden Hitzeschildelementen am meisten thermisch belastet.

**[0020]** Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden.

**[0021]** Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).

**[0022]** Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden beispielsweise eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

**[0023]** Solche Superlegierungen sind vorzugsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt bzw. in Figur 4 aufgelistet.

**[0024]** Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion aufweisen: MCrAIX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Tantal (Ta) und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden oder Hafnium (Hf) oder Eisen (Fe). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

**[0025]** Auf der MCrAIX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, und besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid und/oder Erbiumoxid und/oder Ytterbiumoxid.

**[0026]** Die Leitschaufel 130 weist einen dem Gasturbinengehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufelfuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufelfuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143 festgelegt.

**[0027]** Figur 2 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine.

**[0028]** Die Brennkammer 110 ist beispielsweise als so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in Umfangsrichtung um eine Rotationsachse 102 herum angeordneten Brennern 107 in eine gemeinsame Brennkammer 110 münden, die Flammen 156 erzeugen. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Rotationsachse 102 herum positioniert ist.

**[0029]** Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Brennkammer 110 für eine vergleichsweise hohe Temperatur eines Arbeitsmediums von etwa 1273K bis 1873K ausgelegt. Um auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermögli-

chen, ist die Brennkammerwand 153 der Brennkammer 110 auf ihrer dem Arbeitsmedium zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen. Jedes Hitzeschildelement 155 aus einer Legierung ist arbeitsmediumseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht (MCrAIX-Schicht und/oder keramische Beschichtung) ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material (massive keramische Steine) gefertigt.

**[0030]** Diese Schutzschichten der metallischen Hitzeschildelemente 155 können ähnlich der Turbinenschaufeln sein, also bedeutet beispielsweise MCrAIX: M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium (Si) und/oder Tantal (Ta) und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden oder Hafnium (Hf) und/oder Eisen (Fe). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

**[0031]** Auf der MCrAIX kann noch eine beispielsweise keramische Wärmedämmschicht vorhanden sein und besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Erbiumoxid, Ytterbiumoxid und/oder Hafniumoxid.

**[0032]** Viele Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen.

**[0033]** Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Hitzeschildelemente 155 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse in dem Hitzeschildelement 155 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung der Hitzeschildelemente 155 und ein erneuter Einsatz der Hitzeschildelemente 155.

**[0034]** Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 110 kann zudem für die Hitzeschildelemente 155 bzw. für deren Halteelemente ein Kühlsystem vorgesehen sein. Die Hitzeschildelemente 155 sind dann beispielsweise hohl und weisen ggf. noch in den Brennkammerraum 154 mündende Kühlöffnungen (nicht dargestellt) auf.

**[0035]** Die Figur 3 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

**[0036]** Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

**[0037]** Die Schaufel 120, 130 weist entlang ihrer Längsachse aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 und eine Schaufelspitze

415 auf.

**[0038]** Als Leitschaufel 130 kann sie an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

**[0039]** Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Turbinenscheibe 133 (Fig. 1) dient.

**[0040]** Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

**[0041]** Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

**[0042]** Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

**[0043]** Solche Superlegierungen sind vorzugsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bzw. aus Figur 4 bekannt.

**[0044]** Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

**[0045]** Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

**[0046]** Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

**[0047]** Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur, d.h. kolumnar, und somit Körner, die über die ganze Länge des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden, oder eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Erstarrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten Eigenschaften des gerichtet erstarrten oder einkristallinen Bauteiles zunichtemachen.

**[0048]** Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen

spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures).

**[0049]** Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

5 **[0050]** Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion oder Oxidation aufweisen: insbesondere MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Kobalt (Co) oder Nickel (Ni), X ist ein Aktiv-  
10 element und steht für Yttrium (Y) und/oder Tantal (Ta) und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden und/oder Hafnium (Hf) und/oder Eisen (Fe). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

15 **[0051]** Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

**[0052]** Auf der MCrAlX-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

20 **[0053]** Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, die vorzugsweise die äußerste Schicht ist, und besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid  
25 und/oder Magnesiumoxid und/oder Erbiumoxid und/oder Ytterbiumoxid.

**[0054]** Die Wärmedämmschicht bedeckt die gesamte MCrAlX-Schicht. Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann  
30 poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

35 **[0055]** Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 120, 130 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse im Bauteil  
40 120, 130 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung des Bauteils 120, 130 und ein erneuter Einsatz des Bauteils 120, 130.

45 **[0056]** Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein. Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Kühllöcher 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

**[0057]** Figur 24 zeigt beispielhaft eine Energieumwandlungsanlage 1 mit einer Anlage. Diese Anordnung gemäß Figur 24 kann in einer Energieumwandlungsanlage mehrfach vorhanden sein oder auch in abgewandelter Form.

**[0058]** Die Gasturbine 100 ist über ein Getriebe 4 oder eine Kupplung 4 mit einem Generator 5 zur Stromerzeugung gekoppelt.

55 **[0059]** Der Generator 5 ist ebenfalls mit einer Dampfturbine 6 über eine Kupplung 2 verbunden.

**[0060]** Dampfturbinen 6 sind dann vorhanden, wenn

es sich um eine Kombikraftanlage handelt. Eine Energieumwandlungsanlage 1 kann auch nur eine Gasturbine 100 ohne Dampfturbine 6 aufweisen.

**[0061]** An die Dampfturbine 6, falls vorhanden, ist ein Kondenser 7 angeschlossen. Das Abgas aus der Gasturbine 100 strömt über einen Diffusor 8 in eine Wärmerückgewinnungsanlage 9 aus, bei der die heiße Abluft benutzt wird zur Dampferzeugung.

**[0062]** Ebenso ist ein Abluftkamin 10 vorhanden.

**[0063]** Die Idee besteht darin, Servicemaßnahmen an einer Energieumwandlungsanlage durchzuführen,

wobei die Energieumwandlungsanlage  
zumindest folgende Maschinen aufweist:

zumindest eine Gasturbine,  
zumindest einen Generator  
und optional  
zumindest eine Dampfturbine,  
wobei Reparaturen an der zumindest einen Maschine ausgeführt werden,  
insbesondere eine defekte Komponente oder defekte Komponenten der zumindest einen Maschine durch  
entweder eine neue, gleiche Komponente oder neue, gleiche Komponenten ersetzt wird oder werden  
und/oder  
repariert wird oder werden,  
und  
wobei bei der Durchführung dieser Reparaturen weitere Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung von Maschinen oder deren Komponenten und/oder  
weitere Maßnahmen zur Optimierung (Effizienz) von Maschinen oder deren Komponenten durchgeführt werden.

**[0064]** Insbesondere umfassen die defekten Komponenten Turbinenschaufeln oder deren Beschichtungen und/oder

Brenner oder Brennerkomponenten  
und/oder  
Kompressorschaukeln oder deren Beschichtungen  
und/oder  
Brennkammersteine.

**[0065]** Die defekten Komponenten können vorzugsweise nur Turbinenschaufeln umfassen.

**[0066]** Die defekten Komponenten können vorzugsweise nur Turbinenschaufeln oder deren Beschichtungen  
sowie Brenner oder Brennerkomponenten umfassen.

**[0067]** Als weitere Maßnahmen werden vorzugsweise nur Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung durchgeführt.

**[0068]** Als weitere Maßnahmen werden vorzugsweise

nur Maßnahmen zur Optimierung durchgeführt.

**[0069]** Ebenso können vorzugsweise als weitere Maßnahmen Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung von Komponenten und Maßnahmen zur Optimierung von Komponenten durchgeführt werden.

**[0070]** Bei den Servicemaßnahmen wird vorzugsweise zumindest eine, insbesondere mindestens zwei gleiche,  
oder

zumindest zwei verschiedene

**[0071]** Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung von Maschinen oder deren Komponenten aus der Gruppe:

Lager des Rotors, Brenner, Kompressorschaukel, Kompressorgehäuse, Turbinenschaufeln, Gasturbinegehäuse, Schaufelträger, Hitzeschilde oder Brennkammersteine, Dichtungen, Übergang Brennkammer - Turbine, Kühlung und/oder Überwachungseinrichtungen,  
ausgeführt werden.

**[0072]** Bei den Servicemaßnahmen wird vorzugsweise zumindest eine, insbesondere mindestens zwei gleiche  
oder

zumindest zwei verschiedene  
Maßnahmen zur Optimierung von Maschinen oder deren Komponenten aus der Gruppe:

Effizienzsteigerung, Kühlungsverbesserung, Brenner, Kompressorschaukel, Kompressorgehäuse, Turbinenschaufeln, Gasturbinegehäuse, Schaufelträger, Hitzeschilde oder Brennkammersteine, Dichtungen und/oder Übergang Brennkammer - Turbine,  
ausgeführt werden.

**[0073]** Die einzelnen Maßnahmen sind im Folgenden näher beschrieben, die beliebig, je nach Anforderung, miteinander kombiniert werden können:

- Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschine,  
die zumindest aufweist:

einen Kompressor  
eine Brennkammer  
einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,  
und zumindest ein Rotorlager des Rotors am Anfang des Kompressors in einer Strömungsrichtung der Gasturbinen-Maschine gesehen,  
wobei das Rotorlager ausgewechselt wird,  
wobei das neue Rotorlager mindestens 5% länger ist oder  
dass ein neues, mindestens 370mm langes Ro-

- torlager eingebaut wird,  
insbesondere wobei das neue Rotorlager maximal 500mm lang ist,
- Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschine,  
die zumindest aufweist:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,
    - zumindest einen Brenner für die Brennkammer, bei dem die Brennstoff zuführenden Mittel, insbesondere Rohre, zumindest teilweise, insbesondere vollständig, innen mit einer Diffusionsbeschichtung versehen werden, insbesondere alitiert werden,
    - oder die Brennstoff zuführenden Mittel, insbesondere Rohre mit einer Diffusionsbeschichtung im Inneren, insbesondere innenalitiert, eingebaut werden,
  - Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschine,  
die zumindest aufweist:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,
    - wobei der Kompressor ein Kompressorgehäuse aufweist, das zweiteilig ausgebildet ist oder wird, und insbesondere bei dem ein inneres Kompressorgehäuse als Schaufelträger aus einem ersten Material, insbesondere aus Stahl eingebaut wird, ganz insbesondere aus Stahlguss eingebaut wird, und der äußere Kompressorgehäuse als Schaufelträger ein vom ersten Material deutlich verschiedenes zweites Material, insbesondere Grauguss aufweist, oder bei dem das innere Kompressorgehäuse Grauguss aufweist oder durch Grauguss ersetzt wird,
  - Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschine,  
die zumindest aufweist:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,
- mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschaufeln, wobei hochtemperaturbeständigere Lauf- und Leitschaufeln, insbesondere in den Stufen (I, II), eingebaut werden, die insbesondere eine verbesserte Kühlung aufweisen, oder bei dem die Lauf- oder Leitschaufeln im Heißgaskanal (111) eine gerichtet erstarrte Mikrostruktur in Form einer kolumnar erstarrten Mikrostruktur aufweisen, insbesondere nur die beiden ersten Stufen (I, II), ganz insbesondere nur die erste Stufe (I), oder bei dem eine segmentierte keramische Schicht auf der Basis von Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid (HGB) auf den Lauf- und Leitschaufeln vorhanden ist oder aufgebracht wird, oder bei dem die Lauf- und Leitschaufeln für das metallische Substrat eine einkristalline Mikrostruktur aufweisen, oder solche eingebaut werden, insbesondere nur die ersten beiden Stufen (I, II), oder bei dem die keramische Beschichtung teilstabilisiertes Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid aufweist, mit einer Porosität von  $12 \pm 4\%$ , oder mit einer TBC ohne Segmentierung auf den Leit- oder Laufschaufeln, oder bei dem eine Schaufelspitze in einer Vertiefung einen treppenförmigen Absatz aufweist, der sich direkt an einen Steg der Saugseite anschließt und somit zusätzliches Material in der Vertiefung darstellt, wobei durch den Absatz eine Kühlluftbohrung aus dem Inneren der Laufschaukel heraus verläuft, um die Schaufelspitze besser zu kühlen,
- Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschine,  
die zumindest aufweist:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,
    - mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschaufeln,
    - bei dem die Lauf- und Leitschaufeln eingebaut werden, insbesondere in den Stufen (I, II), die Kühllöcher an den Seitenflächen der Schaufelplattformen aufweisen,
- Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschine,  
die zumindest aufweist:

- einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschau-  
felten Rotor,  
mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leit-  
schaufeln, 5  
wobei Laufschaufeln eingebaut werden,  
wobei die Schaufelspitze der Laufschaufeln  
insbesondere der Stufen (I, II) gekühlt wird,  
insbesondere durch Kühllöcher in der  
Schaufelspitze, 10
- Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschi-  
ne,  
die zumindest aufweist: 15
    - einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschau-  
felten Rotor,  
mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschau-  
feln, 20  
wobei Laufschaufeln der Stufe (IV) eingebaut  
werden, die nicht gekühlt werden,  
insbesondere die Leitschaufeln der Stufe (III) 25  
auch nicht gekühlt werden,
  - Verfahren zur Veränderung einer Gasturbinen-Ma-  
schine, zumindest aufweisend: 30
    - einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschau-  
felten Rotor,  
bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vorderes  
Plenum und ein hinteres Plenum außerhalb des  
Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, 35  
wobei das vordere Plenum in Strömungsrich-  
tung hinter der Laufschaufel der Stufe (III) und  
über der Leitschaufel der Stufe (IV) vorhanden  
ist und  
entweder  
Kanäle, 40  
die in der Mitte der Stufe (IV) zwischen Leit- und  
Laufschaufel vorhanden waren und vorher ver-  
wendet wurden,  
um die Turbinenleit- und -laufschaufeln der Stu-  
fe (IV) zu kühlen oder 45  
um Kühlluft zuzuführen verschlossen werden,  
und  
ein neuer langer Kanal aus dem hinteren Ple-  
num in dem Schaufelträger nachträglich einge-  
bracht wird 50  
oder  
ein neuer Schaufelträger bereitgestellt und ein-  
gebaut wird, 55
- der nur noch einen solchen Kanal aufweist,
- Verfahren zur Veränderung einer Gasturbinen-Ma-  
schine,  
die zumindest aufweist:
    - einen Kompressor,  
eine Brennkammer mit Brennkammersteinen  
oder Hitzeschilden,  
einen Heißgaskanal mit einem beschau-  
felten Rotor,  
wobei ein Spalt zwischen einem Hitzeschild und  
Leitschaufel der Stufe (I) des Motors eine Run-  
dung am strömungsseitigen Ende des Hitzes-  
schildes und die gegenüberliegende Rundung  
der Leitschaufel der Stufe (I) gleich ausgeführt  
wird,  
um einen Überhang oder eine Hinterschneidung  
im Hitzeschild zu vermeiden,  
in der sich Schmutz ansammeln könnte oder  
Erosion sich ausbildet,
  - Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschi-  
ne, zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschau-  
felten Rotor,  
wobei ein Leitschaufelträger mit einer Dich-  
tungsanordnung aus Elementen eingebaut oder  
modifiziert wird,  
die zu einem geringeren Kühlluftverbrauch führt,  
wobei die einzelnen Elemente des Leitschaufel-  
trägers einen Spalt aufweisen,  
der Labyrinth- oder S-förmig ausgebildet ist,  
wobei das in Strömungsrichtung vordere Ele-  
ment eine erste Nase aufweist und das zweite  
in Strömungsrichtung hintere Element eine dar-  
über ausgebildete zweite Nase aufweist,  
so dass ein S-förmiger Spalt gebildet wird,  
wodurch die Öffnung des Spaltes im Heißgas-  
kanal in Strömungsrichtung gesehen hinten  
liegt,
  - Verfahren zur Änderung einer Gasturbinen-Maschi-  
ne,  
die zumindest aufweist:
    - einen Kompressor,  
eine Brennkammer mit Hitzeschilden oder  
Brennkammersteinen, einen Heißgaskanal mit  
einem beschau-  
felten Rotor,  
wobei Brennkammersteine eingebaut werden,  
die so ausgebildet sind,  
dass sie einen Spoilereffekt generieren,
  - Verfahren zur Veränderung einer Gasturbinen-Ma-

schine,  
die zumindest aufweist:

einen Kompressor,  
eine Brennkammer mit Brennkammersteinen, 5  
einen Heißgaskanal mit einem Rotor,  
wobei Brennkammersteine eingebaut werden,  
die auf zwei gegenüberliegenden Seitenflächen  
des Brennkammersteins zwei voneinander ge-  
trennte Vertiefungen aufnehmen, 10  
die zum Eingriff eine mechanische Umklammer-  
ung von der Rückseite des Brennkammersteins  
dienen,

- Verfahren zur Veränderung einer Gasturbinen-Ma- 15  
schine,  
die zumindest aufweist:

einen Kompressor,  
eine Brennkammer mit Brennkammersteinen, 20  
ein Heißgaskanal mit einem beschaufelten Ro-  
tor,  
ein Gehäuseteil für den Heißgaskanal,  
wobei in die Kontaktfläche eine Vertiefung für  
eine Dichtung eingelegt wird und das Gehäuse 25  
wieder verschlossen wird,

- Verfahren zur Veränderung einer Gasturbinen-Ma-  
schine, die zumindest aufweist

einen Kompressor,  
eine Brennkammer mit Brennkammersteinen  
und Brennern, einen Heißgaskanal mit einem 30  
Rotor,  
wobei veränderte Leitschaufeln in den Swirler  
des Brenners eingebaut werden, 35  
die gegenüber den früheren Leitschaufeln einen  
geringeren Öffnungswinkel haben,  
sowie eine Abströmkante bezogen auf die  
Längsachse des Schaufelblatts verdreht ist, 40

- Verfahren zur Veränderung einer Gasturbinen-Ma-  
schine,

die zumindest aufweist 45  
einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschaufelten  
Rotor,  
wobei nachträglich ein System zur Überwa- 50  
chung der Verbrennungsdynamik und Verbren-  
nungsbeschleunigungen von der Brennkammer  
und Brenner installiert wird, um Verbrennungs-  
instabilitäten zu reduzieren oder zu vermeiden, 55

- Verfahren zur Veränderung einer Dampfturbine,  
die mit einer Gasturbine unmittelbar verbunden

ist, wobei die Dampfturbine Turbinenschaufeln  
aufweist,  
wobei die Turbinenschaufel einen Fuß mit Ver-  
tiefungen aufweist,  
wobei die Vertiefungen gegenüber den zuvor  
eingebauten und auszuwechselnden Turbinen-  
schaufeln einen größeren Radius aufweisen.

**[0074]** Folgende Maschinentypen werden damit vor-  
zugsweise erzielt:

- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:

einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschaufelten  
Rotor,  
und zumindest ein Rotorlager des Rotors am  
Anfang des Kompressors in einer Strömungs-  
richtung der Gasturbinen-Maschine gesehen,  
wobei das Rotorlager mindestens 370mm lang  
ist,  
insbesondere maximal 500mm lang ist,

- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:

einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschaufelten  
Rotor, zumindest einen Brenner für die Brenn-  
kammer,  
bei dem die Brennstoff zuführenden Mittel,  
insbesondere Rohre,  
zumindest teilweise, insbesondere vollständig,  
innen eine Diffusionsbeschichtung aufweisen,  
insbesondere alitiert sind,

- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:

einen Kompressor,  
eine Brennkammer,  
einen Heißgaskanal mit einem beschaufelten  
Rotor,  
wobei der Kompressor ein Kompressorgehäuse  
aufweist,  
das zweiteilig ausgebildet ist und  
ein inneres Kompressorgehäuse als Schaufel-  
träger aufweist,  
der ein erstes Material aufweist,  
insbesondere Stahl,  
ganz insbesondere Stahlguss aufweist,  
und ein äußerer Kompressorgehäuse als  
Schaufelträger ein vom ersten Material deutlich  
verschiedenes zweites Material aufweist,  
insbesondere Grauguss aufweist,

- oder  
bei dem das innere Kompressorgehäuse als  
Schaufelträger Grauguss aufweist oder durch  
Grauguss ersetzt wird,
- 5
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschau-  
feln, wobei die Turbinenlauf- und Leitschau-  
feln, insbesondere der Stufen (I, II),  
hohtemperaturbeständiger sind,  
insbesondere eine verbesserte Kühlung aufwei-  
sen,
    - oder
    - bei dem die Lauf- oder Leitschau-  
feln im Heißgaskanal eine gerichtet erstarrte Mikro-  
struktur in Form einer kolumnar erstarrten Mikro-  
struktur aufweisen,  
insbesondere nur die beiden ersten Stufen (I, II),  
ganz insbesondere nur die erste Stufe (I),  
oder
    - bei dem eine segmentierte keramische Schicht  
auf der Basis von Yttrium-stabilisiertem Zirkon-  
oxid auf den Lauf- und Leitschau-  
feln vorhanden ist oder aufgebracht wird,
    - oder
    - bei dem die Lauf- und Leitschau-  
feln für das metallische Substrat eine einkristalline Mikrostruk-  
tur aufweisen, oder solche eingebaut werden,  
insbesondere nur die ersten beiden Stufen (I, II),  
oder
    - bei dem die keramische Beschichtung teilstabi-  
lisiertes Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid auf-  
weist,  
mit einer Porosität von  $12 \pm 4\%$ ,
    - oder
    - mit einer TBC ohne Segmentierung auf den Leit-  
oder Laufschaufeln,  
oder
    - bei dem eine Schaufelspitze in einer Vertiefung  
einen treppenförmigen Absatz aufweist,  
der sich direkt an einen Stege der Saugseite an-  
schließt und somit zusätzliches Material in der  
Vertiefung darstellt,  
wobei durch den Absatz eine Kühlluftbohrung  
aus dem Inneren der Laufschaufel heraus ver-  
läuft,  
um die Schaufelspitze besser zu kühlen,
- 10
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschau-  
feln,  
wobei die Schaufelspitze insbesondere der Stu-  
fen (I, II) gekühlt wird,  
insbesondere durch Kühllöcher in der Schaufel-  
spitze,
- 15
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschau-  
feln,  
wobei die Laufschaufel der Stufe (IV) nicht ge-  
kühlt werden muss,  
insbesondere die Leitschaufel der Stufe (III)  
nicht gekühlt wird,
- 20
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 25
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 30
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 35
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 40
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 45
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 50
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,
- 55
- Gasturbinen-Maschine,  
zumindest aufweisend:
    - einen Kompressor,
    - eine Brennkammer,
    - einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten  
Rotor,
    - bei der in Strömungsrichtung gesehen ein vor-  
deres Plenum und ein hinteres Plenum außer-  
halb des Heißgaskanals vorhanden ist,  
die technisch bedingt verschiedene Drücke auf-  
weisen, wobei das vordere Plenum in Strö-  
mungsrichtung hinter der Laufschaufel der Stufe  
(III) und über der Leitschaufel der Stufe (IV) vor-  
handen ist und  
ein langer Kanal aus dem hinteren Plenum in  
dem Schaufelträger vorhanden ist,  
der die Stufe (III) aus dem hinteren Plenum  
kühlt,  
oder
    - Gasturbinen-Maschine,

- zumindest aufweisend:
- einen Kompressor,  
 eine Brennkammer mit Brennkammersteinen oder Hitzeschilden,  
 einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor aufweisend ein Spalt zwischen einem Hitzeschild und Leitschaufel der Stufe (I) des Rotors,  
 wobei eine Rundung am strömungsseitigen Ende des Hitzeschilds und die gegenüberliegende Rundung der Leitschaufel der Stufe (I) gleich ausgeführt sind,  
 um einen Überhang oder eine Hinterschneidung im Hitzeschild zu vermeiden,  
 in der sich Schmutz ansammeln könnte oder Erosion sich ausbildet,
  - Gasturbinen-Maschine,  
 zumindest aufweisend:

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer,  
 einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor einen Leitschaufelträger mit einer Dichtungsanordnung aus Elementen,  
 die zu einem geringeren Kühlluftverbrauch führt,  
 wobei die einzelnen Elemente des Leitschaufelträgers einen Spalt aufweisen,  
 der Labyrinth- oder S-förmig ausgebildet ist,  
 wobei das in Strömungsrichtung vordere Element eine erste Nase aufweist und das zweite in Strömungsrichtung hintere Element eine darüber ausgebildete zweite Nase aufweist,  
 so dass ein S-förmiger Spalt gebildet wird,  
 wodurch die Öffnung des Spaltes im Heißgaskanal in Strömungsrichtung gesehen hinten liegt,
  - Gasturbinen-Maschine,  
 zumindest aufweisend:

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer mit Hitzeschilden oder Brennkammersteinen,  
 einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,  
 wobei die Brennkammer am strömungsseitigen Ende der Hitzeschilde oder Brennkammersteine so ausgebildet sind,  
 dass sie einen Spoilereffekt generieren,
  - Gasturbinen-Maschine,  
 zumindest aufweisend:

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer mit Brennkammersteinen,  
 einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,  
 wobei auf zwei gegenüberliegenden Seitenflächen des Brennkammersteins zwei voneinander getrennte Vertiefungen ausgebildet sind,  
 die zum Eingriff eine mechanische Umklammerung von der Rückseite des Brennkammersteins dienen,
  - Gasturbinen-Maschine,  
 zumindest aufweisend:

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer mit Brennkammersteinen,  
 ein Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,  
 ein oberes und unteres Gehäuseteil für den Heißgaskanal,  
 wobei Gehäuseteile auf der Kontaktfläche insbesondere im Bereich der Leitschaufelvertiefungen eine Vertiefung mit einer Dichtung aufweisen,
  - Gasturbinen-Maschine,  
 zumindest aufweisend:

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer mit Brennkammersteinen,  
 ein Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,  
 wobei die Brennkammer ein Brenner angeordnet ist,  
 der einen Swirler mit Leitschaufeln aufweist,  
 wobei der Öffnungswinkel der Leitschaufel verringert ist und das Schaufelblatt der Leitschaufel entlang der Abströmkante des Schaufelblattes ist,
  - Gasturbinen-Maschine,  
 zumindest aufweisend

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer,  
 einen Heißgaskanal mit einem beschaukelten Rotor,  
 wobei ein System installiert ist, das die Verbrennungsdynamik und Beschleunigungen ausgehend von der Verbrennung und der Brennkammer überwacht,
  - Gasturbinen-Maschine in einer GuD-Anlage,  
 zumindest aufweisend

    - einen Kompressor,  
 eine Brennkammer,  
 einen Heißgaskanal,  
 mit einem beschaukelten Rotor und  
 eine Dampfturbine,  
 wobei ein Abgas der Gasturbinen-Maschine mit-

telbar für die Dampferzeugung in einer Dampfturbine verwendet wird,  
wobei die Dampfturbine Schaufeln aufweist mit einem Schaufelfuß,  
wobei die Vertiefungen einen größeren Radius aufweisen.

**[0075]** Diese Maßnahmen bzw. Modelle werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert und klassifiziert bzgl. ihrer Intention.

### Lebensdauer

**[0076]** Die Figur 5 zeigt wie Figur 1 eine Gasturbinen-Maschine 100 mit dem Kompressor 105 und Rotor 103 im Querschnitt.

**[0077]** In dem Ansauggehäuse 104 wird Luft 135 in den Kompressor 105 gepumpt, der ein Kompressorgehäuse 19 aufweist.

**[0078]** Für eine längere Lebensdauer der Gasturbinen-Maschine 100 weist ein Rotorlager 31 des Rotors 103 in der Strömungsrichtung 11 der Gasturbinen-Maschine 100 am Anfang des Kompressors 105 und nahe des Ansauggehäuses 104 jedoch eine Länge von mindestens 370mm und insbesondere maximal eine Länge von 500mm auf oder wird im Upgrade- oder Revisionsfall um mindestens 5% länger ausgestaltet, um eine geringere Flächenpressung zu erzielen.

**[0079]** So muss im Servicefall oder bei einem der nächsten Serviceintervalle nicht oder gar nicht mehr das eingebaute Lager getauscht werden oder es kann bis zum Lebensende der Gasturbinen-Maschine 100 benutzt werden.

**[0080]** Ebenso kann es im Rahmen einer sehr großen Servicemaßnahme getauscht werden, wenn der Wechsel eines Lagers nur einen kleinen zeitlichen Aufwand bedeutet und insbesondere parallel stattfinden kann bzw. sogar dadurch erleichtert wird. Vergleichbares gilt für ein Lager des Rotors 103 im Bereich des Abgasgehäuses 109 (Fig. 24).

### Lebensdauer

**[0081]** In Figur 6 ist der Brenner 107' einer Gasturbinenmaschine 100 ausgehend von Figur 1, 5 oder 7, 8, 12 oder 14 verändert. Die korrodierenden Eigenschaften der Brennmittel, wie insbesondere von Gas oder Öl, das verbrannt wird, können lokal variieren.

**[0082]** Ebenso gilt dies, wenn Erdöl oder andere Brennstoffe verwendet werden.

**[0083]** Das Brennersystem mit dem Brenner 107 (Fig. 1) ist den höchsten Temperaturen ausgesetzt.

**[0084]** Zur längeren Lebensdauer werden die brennstoffzuführenden Mittel wie Rohre, insbesondere auch des Brenners 107', insbesondere von Gas, zumindest teilweise, insbesondere vollständig innen mit einer Diffusionsbeschichtung versehen, insbesondere alitiert, das heißt hier wird dann eine Innenaliturierung (oder

Chromierung, ...) verwendet.

**[0085]** Die Innenbeschichtung kann auch mit den Mitteln im eingebauten Zustand durchgeführt werden.

**[0086]** Dies erhöht die Lebensdauer aufgrund einer verringerten Korrosion, aber auch die Effizienz.

**[0087]** So kann die Lebensdauer des Brenners 107' den jeweiligen Einsatzbedingungen individuell angepasst werden.

**[0088]** Mit Brennkammern 111 sind bekannte Systeme wie Ringbrennkammern oder CAN's gemeint.

### Lebensdauer / Effizienz

**[0089]** Figur 7 zeigt eine ähnliche Anordnung eines Querschnitts einer Gasturbinenmaschine 100 gemäß Figur 1, 5, 6, 8, 12, 14 oder 24, aber mit einem jetzt zweiteiligen Kompressorgehäuse 19, das im Endbereich des Kompressors 105 ein innenliegendes Kompressorgehäuse 19" und ein äußeres Kompressorgehäuse 19' aufweist.

**[0090]** Die Materialien der Kompressorgehäuse 19', 19", insbesondere wenn sie einteilig sind, sind in der Regel aus demselben ersten Material, insbesondere aus Grauguss. Für eine verbesserte Modifikation wird das innere Kompressorgehäuse 19" als Leitschaufelträger aus einem deutlich verschiedenen zweiten Material, insbesondere aus einem Stahlguss hergestellt.

**[0091]** Verschieden bei erstem und zweitem Material bedeutet, dass sich zumindest ein Legierungselement im Gewichtsanteil um 10% unterscheidet und/oder zumindest ein weiteres Legierungselement vorhanden ist oder weniger vorhanden ist und/oder ein anderes Herstellungsverfahren angewandt wurde bzw. eine andere, unterscheidbare Mikrostruktur aufweist.

### Lebensdauer / Effizienz

**[0092]** Figur 8 zeigt insbesondere den Heißgaskanal 111 mit seinen Stufen I, II, III und insbesondere auch Stufe IV.

**[0093]** Die Stufen I und II sind im Vergleich zu den Stufen III und IV den höheren thermischen Belastungen ausgesetzt. Hier werden entsprechende Modifikationen des Substratmaterials, insbesondere in Form von gerichtet erstarrten Legierungen (SX, DS) oder zusätzlicher bzw. verbesserter Kühlung, insbesondere der Schaufelspitze 415 eingesetzt.

**[0094]** Eine solche Schaufel 120, 130 weist vorzugsweise eine gerichtet erstarrte Struktur SX, DS in Form einer kolumnar erstarrten Mikrostruktur auf, wie insbesondere Legierungen mit dem Zusatz DS in Figur 4.

**[0095]** Ein weiterer Typ einer Schaufel 120, 130 weist im Substrat eine einkristalline Mikrostruktur auf wie Legierung in Figur 4 mit Zusatz SX oder CMSX .... Insbesondere weist nur die erste Stufe I eine DS-Struktur auf und ganz insbesondere nur die Leitschaufel von Stufe I.

**[0096]** Insbesondere weisen die Schaufeln 120, 130 Kühllöcher an den Seitenflächen der Schaufelplattform

403 auf, wobei insbesondere auch die Schaufelspitzen 415 gekühlt werden.

**[0097]** Eine keramische Beschichtung (TBC) auf der Basis von teilstabilisiertem YSZ (Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid) weist eine Porosität von 1214% auf.

**[0098]** Ein weiterer Typ einer Schaufel 120, 130 weist eine segmentierte TBC auf der Basis von Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid auf.

**[0099]** Ein weiterer Typ einer Schaufel 120, 130 besteht aus einer gerichtet erstarrten Struktur DS im Substrat, d.h. in Form einer kolumnaren Mikrostruktur und mit einer TBC auf der Basis YSZ ohne Segmentierung.

### Lebensdauer

**[0100]** Figur 9 zeigt eine Turbinenschaufel 120, 130, insbesondere ausgehend von Figur 3, bei der jedoch an den Seitenflächen 404 der Schaufelplattform 403 Kühllöcher 399 vorhanden sind. Die Kühllöcher 399 an den Seitenflächen 404 können bedarfsentsprechend an einer, zwei, drei oder allen vier Seitenflächen 404 einfach oder mehrfach vorhanden sein. Optional können auch auf der Schaufelspitze 415 Kühllöcher 405 vorhanden sein (nur schematisch dargestellt). Auch sind in bekannter Weise Kühlluftlöcher 418 auf dem Schaufelblatt 406 vorhanden.

**[0101]** Die Ausrichtung und Anordnung der Kühlluftlöcher 399, 405, 418 sind nur schematisch. Ebenso können die Kühllöcher 399, 405, 418, 501 (Fig. 10) unter einem von 90° verschiedenen Winkel zur Seitenfläche 404 der Schaufelplattform 403 verlaufen und/oder einen Diffusor aufweisen.

**[0102]** Durch die Kühlung durch Kühlluft, die dem Kompressor entnommen wird, sinkt die Effizienz, die dadurch ggf. teilweise durch den Kühleffekt kompensiert wird.

### Lebensdauer

**[0103]** Figur 10 zeigt eine Schaufelspitze 415, 500 einer Turbinenlaufschaufel 120, insbesondere der Stufen I, II.

**[0104]** Die Schaufelspitze 500 weist zwei außen verlaufende Stege 503, 505 auf, die im Querschnitt gesehen eine Vertiefung 504 umschließen. Die ursprüngliche Vertiefung 504 ist gestrichelt angedeutet und im Querschnitt rechtwinklig ausgebildet. Erfindungsgemäß weist die Schaufelspitze 500 in der Vertiefung 504 einen treppenförmigen Absatz 507 auf, der sich direkt an den Steg 505 der Saugseite anschließt und somit erst mal zusätzliches Material in der Vertiefung 504 darstellt. Jedoch verläuft durch den Absatz 507 jetzt ein Kühlluftloch 501 aus dem Inneren der Laufschaufel 120 heraus, um die Schaufelspitze 500 besser zu kühlen.

**[0105]** Das Kühlluftloch 501 ist vorzugsweise an der Längsachse 121 der Turbinenschaufel 120 ausgerichtet.

### Effizienz

**[0106]** Die Figur 11 zeigt einen Schaufelträger 50 mit modifizierter Kühlluftzuführung.

5 **[0107]** Die Stufe IV ist im Bereich dieses Schaufelträgers 50 befestigt.

10 **[0108]** In Strömungsrichtung 11 gesehen gibt es ein vorderes Plenum 54 und ein hinteres Plenum 57 außerhalb des Heißgaskanals 111, die 54, 57 technisch bedingt verschiedene Drücke aufweisen. Das vordere Plenum 54 ist in Strömungsrichtung 11 gesehen vorzugsweise hinter der Laufschaufel der Stufe III und im Bereich über der Leitschaufel IV vorhanden.

15 **[0109]** Es sind zwei Kanäle 53 im Schaufelträger 50 in der Figur 11 dargestellt, die in älteren Modellen verwendet wurden, um die Turbinenleit- und -laufschaufeln der Stufe IV zu kühlen oder generell, um Kühlluft zuzuführen. Die zwei Kanäle 53 waren im Bereich der Stufe IV zwischen Leit- 401 und Laufschaufel 402 der Stufe V vorhanden und verliefen fast senkrecht oder nur unter spitzem Winkel zur Rotationsachse 102. Diese zwei Kanäle 53 werden geschlossen, falls vorhanden und es wird ein neuer langer Kanal 60 ausgehend von dem hinteren Plenum 57 in dem Schaufelträger 50 nachträglich eingebracht oder es wird ein neuer Schaufelträger 50 bereitgestellt, der nur noch einen solchen Kanal 60 aufweist. Der Kanal 60 verläuft ungefähr parallel zur Innenfläche des Heißgaskanals 111.

20 **[0110]** Aufgrund des geringeren Drucks wird weniger Kühlluft der Leitschaufel 401 zugeführt. Die Zuführung des neuen Kanals 60 liegt in axialer Strömungsrichtung durch die Gasturbine hinter der Laufschaufel 402 und nicht zwischen Leit- und Laufschaufel der Stufe IV. Es wird weniger Kühlluft verbraucht, was zu einem höheren Wirkungsgrad führt.

### Lebensdauer / Effizienz

40 **[0111]** Figur 12 zeigt den Übergang von einem letzten Hitzeschild 155 oder Brennkammerstein 155 der Brennkammer 110 zu einer Leitschaufel 130 der Stufe I. Es ist zu erkennen, dass zwischen Hitzeschild 155 und Leitschaufel 130 ein Spalt 64 vorhanden ist.

45 **[0112]** Die Rundung 72 am strömungsseitigen Ende des Hitzeschildes / Brennkammersteins 155 und die gegenüberliegende Rundung 75 der Leitschaufel 130 der Stufe I sind gleich ausgeführt. Es soll ein Überhang oder eine Hinterschneidung im Hitzeschild / Brennkammerstein 155 vermieden werden, in der sich Schmutz ansammeln könnte oder Erosion sich ausbildet.

### Effizienz

55 **[0113]** Figur 13 zeigt eine Dichtungsanordnung 79 eines Leitschaufelträgers 50 (Fig. 11), die zu einem geringeren Kühlluftverbrauch führt.

**[0114]** Die einzelnen Elemente 81, 83 des Leitschaufelträgers 79 weisen einen Spalt 80 auf, der hier labyrinth-

oder s-förmig ausgebildet ist. Der geringere Kühlluftverbrauch wird dadurch erreicht, dass das in Strömungsrichtung 11 vordere Element 81 eine erste Nase 82 aufweist und das in Strömungsrichtung 11 hintere zweite Element 83 in eine darüber ausgebildete zweite Nase 85 aufweist, so dass ein S-förmiger Spalt 80 gebildet wird und die Nase 82 des vorderen Elements 81 Teil des Heißgaskanals 111 bildet.

[0115] Somit liegt die Öffnung des Spaltes im Heißgaskanal 111 in Strömungsrichtung gesehen hinten.

### Effizienz

[0116] Figur 14 zeigt eine Brennkammer 110 mit Brennkammersteinen 601, 604, 610, die zu einem Spoilereffekt führen.

[0117] Die Brennkammersteine 601, 602 bzw. 603, 605 sind in Strömungsrichtung 11 gesehen in Reihe und in Umfangsrichtung angeordnet.

[0118] In Strömungsrichtung 11 gesehen sind am Ende veränderte Brennkammersteine 603, 605; 604 vorhanden, wobei in Umfangsrichtung um die Rotationsachse 102 weitere solcher Brennkammersteine angeordnet sind.

[0119] Die veränderten Brennkammersteine 603, 604, 605, vorzugsweise aus Vollkeramik, vorzugsweise in den beiden in Strömungsrichtung 11 gesehen letzten Reihen der Brennkammer 110 vor dem Eintritt oder Übertritt zu den Leitschaufeln 130 oder erste Laufschaufelreihe 120 der Stufe I, sind in Strömungsrichtung 11 ansteigend dicker ausgebildet, so dass sich ein Spoilereffekt ergibt. Nahe der Rotornarbe ist vorzugsweise nur ein Brennkammerstein 604 spoilerförmig ausgebildet, wohingegen weiter radial entfernt am äußeren Ende der Brennkammer 110 zumindest die vorletzte und letzte Reihe der Brennkammersteine 603, 605 zusammen gesehen einen graduellen Anstieg der Dicke in Strömungsrichtung aufweisen.

[0120] Dies soll aber nicht einschränkend sein.

[0121] Durch diesen Spoilereffekt kommt es zur verringerten Erosion und auch zur Verengung des Heißgasstromes, was auch zur Erhöhung des Wirkungsgrades führt.

### Lebensdauer / Effizienz

[0122] Figur 15 zeigt einen Brennkammerstein 155 mit einer Seitenfläche 35, wohingegen Figuren 16, 17 Schnittdarstellungen der Figur 15 sind.

[0123] Figur 15 zeigt die Seitenfläche 35 eines Brennkammersteins 155, wie in einer Brennkammer 110 verwendet wird, wobei eine Seitenfläche 35 zwei längliche Vertiefungen 40, 40' vorhanden ist, in der eine Halterung von der Rückseite eingreift und eine entsprechende durchgehende Öffnung 42 auf die Rückseite 43 des Brennkammersteins 155, die der Oberseite 44 gegenüberliegt.

[0124] Auf der Rückseite 43 des Brennkammersteins 155 ist entlang der Seitenfläche mit den Vertiefungen 40 eine Hinterschneidung 41 vorhanden.

[0125] In Figur 16 ist ein Schnitt durch zwei aneinander gestellte Brennkammersteine gemäß Figur 15 entlang der durchgehenden Öffnung 42, 42" dargestellt, wohingegen in Figur 17 ein Spalt zwischen zwei Brennkammersteinen 155 gemäß Figur 15 außerhalb der Öffnung 42 bzw. längliche Vertiefung 40 dargestellt ist.

[0126] Dies führt zu einem reduzierten Kühlmittelverbrauch, weil der Kühlaufwand geringer ist.

### Lebensdauer / Effizienz

[0127] Figur 18 zeigt ein unteres Turbinengehäuseteil 550 mit den Leitschaufelvertiefungen 553 und Kanal 557 in der Kontaktfläche 600 für die andere, obere Gehäusenhälfte.

[0128] In dieser Kontaktfläche 600 wird eine oder mehrere zusätzliche Vertiefungen 630 und eine Dichtung eingebracht, um Leckagen in diesem Bereich zu verringern (Fig. 19).

### Effizienz

[0129] Figur 20 zeigt einen Brenner 70, der einen Swirler aufweist, bei dem Luft und Brennstoff miteinander vermischt werden.

[0130] Zwei verschiedene Leitschaufeln 73', 73" des Swirlers sind in der Figur 21 gezeigt und zeigen in einem anderen, veränderten flacheren Winkel (73') von der ersten Position zu einer zweiten Position und/oder eine Torsion der Leitschaufel 73" entlang einer Abströmkante, um eine besser Verwirbelung zu erreichen.

[0131] Bei der Leitschaufel 73' ist gestrichelt angedeutet die ursprüngliche Position der Leitschaufel des Swirlers, wohingegen die gestrichelte Linie bei der Leitschaufel 73" anzeigt, wie sie entlang ihrer Längsachse, die parallel zur Anströmkante verläuft, tordiert ist.

### Lebensdauer / Effizienz

[0132] Gasturbinen können alleine betrieben werden, um einen Generator zu betreiben, aber oft auch in der Kombination mit Dampfturbinen in einer GuD-Anlage.

[0133] Durch die höhere Leistung, die die Gasturbine erzeugt, muss auch die Leistungsfähigkeit einer Dampfturbine 6 angepasst werden. Dies geschieht insbesondere dadurch, wie in Figur 22 dargestellt, dass ein Schaufelfuß einer Turbinenlaufschaufel 883 in den insbesondere drei Vertiefungen 886', 886", 886''' des Tannenbaumfußes 880 einen größeren Radius erhält als vorher.

### Lebensdauer

[0134] Die Verbrennungsstabilität und die Dynamik haben auch einen sehr hohen Einfluss auf die Lebensdauer des Systems, so dass hier ein Kontrollsystem 90

installiert wird, welches die Verbrennungsdynamik und Beschleunigung registriert (Fig 23).

### Service-Maßnahmen

**[0135]** Einige der Maßnahmen beim Service können zusammen durchgeführt werden, weil die Maßnahmen zusammen einfacher und ggf. parallel durchgeführt werden können.

**[0136]** Einige Maßnahmen können dem Betreiber der Anlage kostenlos angeboten und eingesetzt werden, um ein nächstes Serviceintervall länger ausfallen zu lassen oder sogar zu überspringen oder um Kosten beim Betrieb durch Wirkungsgradsteigerung/höhere Effizienz zu reduzieren, an die der Serviceanbieter beteiligt wird.

**[0137]** Dabei spielen Überlegungen zur Verlängerung der Lebensdauer, Effizienz, höhere Temperaturen und Kühlmittelverbrauch eine Rolle.

**[0138]** Bei Servicemaßnahmen einer Energieerzeugungsanlage 1, die zumindest eine Gasturbine 100, einen Generator 5 und optional eine Dampfturbine 6 mit entsprechenden jeweiligen Hilfsaggregaten aufweist, werden oft Serviceverträge abgeschlossen, die den Betreiber der Energieumwandlungsanlage einen Servicevertragsvertrag angeboten wird, der beinhaltet, dass eine bestimmte Laufleistung (Lebensdauer) bei bestimmten Leistungsmerkmalen mit vorgegebenen Serviceintervallen garantiert wird.

**[0139]** Dies bedeutet für den Serviceanbieter, dass er nicht nur repariert (Refurbishment), was gerade repariert werden muss, weil es nicht mehr benutzt werden kann oder nur noch kurzfristig, so dass er sich auch Gedanken macht, Maßnahmen bei einem Service durchzuführen, die es erlauben, den Zeitraum bis zum nächsten Serviceintervall oder bis zum übernächsten Serviceintervall zu verlängern.

**[0140]** Zum Beispiel können bei dem Austausch von Turbinenschaufeln auch neue Brenner eingesetzt werden, die eine Alitierung aufweisen, so dass eine Servicemaßnahmen der Brennerkomponenten beim nächsten oder übernächsten Intervall nicht notwendig sind. So werden Stillstandszeiten vermieden.

**[0141]** Ebenso kann bei einer Servicemaßnahme eine Lebensdauererlängerung durchgeführt werden oder eine Servicemaßnahme vorgezogen werden, so dass die nächste Servicemaßnahme deutlich verkürzt wird, weil Maßnahmen beim Lagerausbau, Turbinenschaufelausbau, Austausch von Brennkammersteinen, Veränderungen am Gehäuse usw. unterschiedliche Wartungszeiten beinhalten.

**[0142]** Dies ergibt sich auch dadurch, dass gewisse Maßnahmen parallel zueinander durchgeführt werden können.

**[0143]** Das flexible Refurbishment umfasst erweiterte Fernüberwachungs- und -diagnosefunktionen als Teil des Omnivise Digital Services-Portfolios sowie Ersatzteillieferungen, die planmäßige Wartung sowie Leistungsgarantien während des Betriebszeitraums der An-

lage. Mit seinem hohen Wirkungsgrad im Teillastbetrieb und seiner hohen Betriebsflexibilität wird das Gas- und Dampf-Kombikraftwerk mitsamt den zugehörigen Services im Rahmen dieses flexiblen Refurbishment als Ergänzung zu den fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen in der Region fungieren.

**[0144]** Der Schutz der Investitionen des Kraftwerkbetriebs durch erstklassigen Service für rotierende Maschinen ist der Schlüssel zur Philosophie eines erfolgreichen Serviceanbieters.

**[0145]** Der langfristige, flexible Service geht noch einen Schritt weiter und bietet ein Wartungsprogramm, das auf spezielle Bedürfnisse und Anforderungen individuell zugeschnitten ist.

**[0146]** Ganz gleich, ob der Kraftwerksbetreiber seine Produktion maximieren möchten, indem er die Zeit zwischen den Inspektionen verlängern, ob die Inspektionen während der planmäßigen Stillstandzeiten der Anlage erfolgen sollen, ob die Lebenszykluskosten durch einen zustandsabhängigen Austausch von Komponenten optimiert werden sollen oder ob frei von vorgegebenen Inspektionsterminen gearbeitet werden soll: Das langfristige flexible Refurbishment kann sich an Bedürfnisse anpassen.

### **Patentansprüche**

#### 1. Verfahren

zur Durchführung von Servicemaßnahmen an einer Energieumwandlungsanlage (1), wobei die Energieumwandlungsanlage (1) zumindest folgende Maschinen (5, 6, 100, ...) aufweist:

zumindest eine Gasturbine (100),  
zumindest einen Generator (5)  
und optional  
zumindest eine Dampfturbine (6), wobei Reparaturen an der zumindest einen Maschine (5, 6, 100, ...) ausgeführt werden, insbesondere eine defekte Komponente oder defekte Komponenten der zumindest einen Maschine (5, 6, 100, ...) durch entweder eine neue, gleiche Komponente oder neue, gleiche Komponenten ersetzt wird oder werden  
und/oder  
repariert wird oder werden,  
und  
wobei bei der Durchführung dieser Reparaturen weitere Maßnahmen zur Lebensdauererlängerung von Maschinen (5, 6, 100, ...) oder deren Komponenten  
und/oder  
weitere Maßnahmen zur Optimierung von

- Maschinen (5, 6, 100, ...) oder deren Komponenten durchgeführt werden, wobei ein Maßnahme umfasst:
- die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist:
- einen Kompressor (105),  
eine Brennkammer (110),  
einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103),  
wobei der Kompressor (105) ein Kompressorgehäuse (19) aufweist, das (19) zweiteilig (19', 19'') ausgebildet ist oder wird, und  
insbesondere bei dem ein inneres Kompressorgehäuse (19'') als Schaufelträger aus Stahl als einem ersten Material, eingebaut wird, insbesondere aus Stahlguss eingebaut wird,  
und das äußere Kompressorgehäuse (19') als Schaufelträger ein vom ersten Material deutlich verschiedenes zweites Material aufweist.
- 2.** Verfahren nach Anspruch 1,
- wobei die defekte Komponente oder die defekten Komponenten Turbinenschaufeln (120, 130) und/oder deren Beschichtungen und/oder Brenner (107) oder Brennerkomponenten und/oder Kompressorschaufeln und/oder deren Beschichtungen und/oder Brennkammersteine (155) umfassen.
- 3.** Verfahren nach einem oder beiden der Ansprüche 1 oder 2, wobei die defekten Komponenten
- nur Turbinenschaufeln (120, 130) umfassen.
- 4.** Verfahren nach einem oder beiden der Ansprüche 1 oder 2, wobei die defekten Komponenten nur
- Turbinenschaufeln (120, 130) und/oder deren Beschichtungen sowie Brenner (107) oder Brennerkomponenten umfassen.
- 5.** Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3 oder 4, wobei als weitere Maßnahmen nur Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung von Maschinen (5, 6,
- 100, ...) oder deren Komponenten durchgeführt werden.
- 6.** Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3 oder 4, wobei als weitere Maßnahmen nur Maßnahmen zur Optimierung von Maschinen (5, 6, 100, ...) oder deren Komponenten durchgeführt werden.
- 7.** Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3 oder 4, wobei als weitere Maßnahmen Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung und Maßnahmen zur Optimierung von Maschinen (5, 6, 100, ...) oder Komponenten (120, 130, ...) durchgeführt werden.
- 8.** Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 5 oder 7, wobei bei den Servicemaßnahmen zumindest eine, insbesondere mindestens zwei gleiche, oder zumindest zwei verschiedene Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung von Maschinen (5, 6, 100, ...) oder deren Komponenten aus der Gruppe:
- Lager des Rotors (103), Brenner (107), Kompressorschaufel, Kompressorgehäuse (19), Turbinenschaufeln (120, 130), Gasturbinengehäuse (138), Schaufelträger (50), Hitzeschilde (155) oder Brennkammersteine, Dichtungen, Übergang Brennkammer - Turbine, Kühlung und/oder Überwachungseinrichtungen (90), ausgeführt werden.
- 9.** Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 6 oder 8, wobei bei den Servicemaßnahmen zumindest eine, insbesondere mindestens zwei gleiche oder zumindest zwei verschiedene Maßnahmen zur Optimierung von Maschinen (5, 6, 100, ...) oder deren Komponenten aus der Gruppe:
- Effizienzsteigerung, Kühlungsverbesserung, Brenner (107), Kompressorschaufel, Kompressorgehäuse (19), Turbinenschaufeln (120, 130), Gasturbinengehäuse (138), Schaufelträger (50), Hitzeschilde (155) oder Brennkammerstei-

- ne, Dichtungen und/oder Übergang Brennkammer - Turbine, ausgeführt werden.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder 9, 5
- bei dem die Gasturbinen-Maschine (100) verändert wird,  
wobei die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist: 10
- einen Kompressor (105),  
eine Brennkammer (110),  
einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103), 15  
und zumindest ein Rotorlager des Rotors (103) am Anfang des Kompressors (105) in einer Strömungsrichtung (11) der Gasturbinen-Maschine (100) gesehen,  
wobei das Rotorlager ausgewechselt wird, 20  
wobei das neue Rotorlager (31) mindestens 5% länger ist  
oder  
dass ein neues, mindestens 370mm langes Rotorlager (31) eingebaut wird, 25  
insbesondere wobei das neue Rotorlager (31) maximal 500mm lang ist,  
und/oder  
wobei die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist: 30
- einen Kompressor (105),  
eine Brennkammer (110),  
einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103), 35  
zumindest einen Brenner (107') für die Brennkammer (110), bei dem die Brennstoff zuführenden Mittel,  
insbesondere Rohre,  
zumindest teilweise, insbesondere 40  
vollständig,  
innen mit einer Diffusionsbeschichtung versehen werden, insbesondere alitiert werden,  
oder die Brennstoff zuführenden Mittel, 45  
insbesondere Rohre mit einer Diffusionsbeschichtung im Inneren,  
insbesondere innenalitiert,  
eingebaut werden,  
und/oder 50  
wobei die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist:
- einen Kompressor (105),  
eine Brennkammer (110), 55  
einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103),  
mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf-

und Leitschaufeln,  
wobei hochtemperaturbeständigere Lauf- (120) und Leitschaufeln (130),  
insbesondere in den Stufen (I, II),  
eingebaut werden,  
die insbesondere eine verbesserte Kühlung aufweisen,  
und/oder  
bei dem Lauf- (120) oder Leitschaufeln (130) im Heißgaskanal (111) eingebaut werden, die eine gerichtet erstarrte Mikrostruktur in Form einer kolumnar erstarrten Mikrostruktur aufweisen,  
insbesondere nur die beiden ersten Stufen (I, II),  
ganz insbesondere nur die erste Stufe (I),  
und/oder  
bei dem eine segmentierte keramische Schicht auf der Basis von Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid auf den Lauf- (120) und Leitschaufeln (130) aufgebracht wird,  
und/oder  
bei dem die Lauf- (120) und Leitschaufeln (130) eingebaut werden, die für das metallische Substrat eine einkristalline Mikrostruktur aufweisen,  
insbesondere nur die ersten beiden Stufen (I, II),  
und/oder  
bei dem die keramische Beschichtung teilstabilisiertes Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid aufweist,  
mit einer Porosität von  $12 \pm 4\%$ ,  
und/oder  
bei dem Lauf- (120) oder Leitschaufeln (130) im Heißgaskanal (111) eine TBC vorhanden ist ohne Segmentierung auf den Leit- (130) oder Laufschaufeln (120),  
und/oder  
bei dem eine Schaufelspitze (415, 500) in einer Vertiefung (504) einen treppenförmigen Absatz (507) aufweist,  
der sich direkt an einen Steg (505) der Saugseite anschließt und somit zusätzliches Material in der Vertiefung (504) darstellt,  
wobei durch den Absatz (507) eine Kühlluftbohrung (501) aus dem Inneren der Laufschaufel (120) heraus verläuft,  
um die Schaufelspitze (500) bes-

ser zu kühlen,  
und/oder  
wobei die Gasturbinen-Maschine  
(100) zumindest aufweist:

5

einen Kompressor (105),  
eine Brennkammer (110),  
einen Heißgaskanal (111) mit  
einem beschaufelten Rotor  
(103), 10

mit Stufen (I, II, III, IV) von  
Lauf- und Leitschaufeln, bei  
dem die Lauf- (120) und Leit-  
schaufeln (130) eingebaut  
werden, 15

insbesondere in den Stufen (I,  
II),  
die Kühllöcher (399) an den  
Seitenflächen (404) der  
Schaufelplattformen (403) 20

aufweisen,  
und/oder  
wobei die Gasturbinen-Ma-  
schine (100) zumindest auf-  
weist: 25

einen Kompressor (105),  
eine Brennkammer (110),  
einen Heißgaskanal (111)  
mit einem beschaufelten  
Rotor (103), 30

mit Stufen (I, II, III, IV) von  
Lauf- und Leitschaufeln,  
wobei Laufschaufeln ein-  
gebaut werden, 35

wobei die Schaufelspitze  
(415) der Laufschaufeln  
insbesondere der Stufen  
(I, II) gekühlt wird, 40

insbesondere durch Kühl-  
löcher (501) in der Schau-  
felspitze (415),  
und/oder  
wobei die Gasturbinen-  
Maschine (100) zumin- 45

dest aufweist:

einen Kompressor  
(105), 50

eine Brennkammer  
(110),  
einen Heißgaskanal  
(111) mit einem be-  
schaufelten Rotor  
(103), 55

mit Stufen (I, II, III, IV)  
von Lauf- und Leit-  
schaufeln, wobei

Laufschaufeln (402)  
der Stufe (IV) einge-  
baut werden, die  
nicht gekühlt werden,  
insbesondere die  
Leitschaufeln (401)  
der Stufe (III) auch  
nicht gekühlt werden,  
und/oder  
wobei die Gasturbi-  
nen-Maschine (100)  
zumindest aufweist:

einen Kompres-  
sor (105),  
eine Brennkam-  
mer (110),  
einen Heißgas-  
kanal (111) mit  
einem beschau-  
falten Rotor  
(103),  
bei der in Strö-  
mungsrichtung  
(11) gesehen ein  
vorderes Ple-  
num (54) und ein  
hinteres Plenum  
(57) außerhalb  
des Heißgaska-  
nals (111) vor-  
handen ist,  
die (54, 57) tech-  
nisch bedingt  
verschiedene  
Drücke aufwei-  
sen,  
wobei das vorde-  
re Plenum (54) in  
Strömungsrich-  
tung (11) hinter  
der Laufschaufel  
der Stufe (III) und  
über der Leit-  
schaufel der Stu-  
fe (IV) vorhan-  
den ist und  
entweder  
Kanäle (53),  
die in der Mitte  
der Stufe (IV)  
zwischen Leit-  
(401) und  
Laufschaufel  
(402) vorhanden  
waren und vor-  
her verwendet  
wurden,

um die Turbinenleit- und -laufschaufeln der Stufe (IV) zu kühlen oder 5  
 um Kühlluft zuzuführen verschlossen werden, und  
 ein neuer langer Kanal (60) aus dem hinteren Plenum (57) in dem Schaufelträger (50) nachträglich eingebracht wird 10  
 oder  
 ein neuer Schaufelträger (50) bereitgestellt und eingebaut wird, der nur noch einen solchen Kanal (60) aufweist, 25  
 und/oder  
 wobei die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist: 30  
 einen Kompressor (105), 35  
 eine Brennkammer (110) mit Brennkammersteinen 40  
 oder Hitzeschilden (155),  
 einen Heißgaskanal (111) mit einem beschauelten Rotor (103), wobei ein Spalt (64) zwischen einem Hitzeschild (155) und Leit- 55  
 schaufel (130) der Stufe (I) des

Motors (103) eine Rundung (72) am strömungsseitigen Ende des Hitzeschildes (155) und die gegenüberliegende Rundung (75) der Leit- schaufel 130 der Stufe (I) gleich ausgeführt wird,  
 um einen Überhang oder eine Hinterschneidung im Hitzeschild (155) zu vermeiden,  
 in der sich Schmutz ansammeln könnte oder Erosion sich ausbildet, und/oder  
 wobei die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist:

einen Kompressor (105), eine Brennkammer (110), einen Heißgaskanal (111) mit einem beschauelten



r  
wobei  
die  
Gastur-  
binen- 5  
Maschi-  
ne (100)  
zumin-  
dest  
auf- 10  
weist:  
  
ei-  
nen  
Ko 15  
mpr  
es-  
sor  
(10  
5), 20  
ei-  
ne  
Bre  
nn-  
ka 25  
mm  
er  
(11  
0)  
mit 30  
Hit-  
ze-  
sch  
il-  
den 35  
(15  
5)  
ode  
r  
Bre 40  
nn-  
ka  
mm  
er-  
stei 45  
nen  
,  
ei-  
nen  
Hei 50  
ßga  
ska  
nal  
(11  
1) 55  
mit  
ei-  
ne

m  
be-  
sch  
auf-  
el-  
ten  
Ro-  
tor  
(10  
3),  
wo-  
bei  
Bre  
nn-  
ka  
mm  
er-  
stei  
ne  
(60  
1,  
604  
,  
610  
)  
ein-  
ge-  
bau  
t  
wer  
den  
,  
die  
so  
aus  
ge-  
bil-  
det  
sin  
d,  
  
das  
s  
sie  
ei-  
nen  
Sp  
oi-  
ler-  
ef-  
fekt  
ge-  
ne-  
rie-  
ren,  
und  
/od  
er

wo-  
bei  
die  
Ga-  
stur 5  
bi-  
nen  
-  
Ma-  
sch 10  
ine  
(10  
0)  
zu-  
min 15  
des  
t  
auf-  
wei  
st: 20

e  
i  
n 25  
e  
n

K  
o 30  
m  
p  
r  
e  
s 35  
s  
o  
r  
(  
1 40  
0  
5  
)

, 45  
e  
i  
n  
e 50

B  
r  
e  
n 55  
n  
k  
a  
m

m  
e  
r  
(  
1  
1  
0  
)  
m  
it  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
s  
t  
e  
i  
n  
e  
n  
,  
e  
i  
n  
e  
n  
H  
e  
i  
ß  
g  
a  
s  
k  
a  
n  
a  
l  
(  
1  
1  
1  
)  
m  
it  
e  
i  
n

e  
m  
  
R  
o 5  
t  
o  
r  
(  
1 10  
0  
3  
)  
,  
15  
w  
o  
b  
e  
i 20  
B  
r  
e  
n  
n 25  
k  
a  
m  
m  
e 30  
r  
s  
t  
e  
i 35  
n  
e  
  
e  
i 40  
n  
g  
e  
b  
a 45  
u  
t  
w  
e  
r 50  
d  
e  
n  
,  
55  
d  
i  
e

a  
u  
f  
z  
w  
e  
i  
g  
e  
g  
e  
n  
ü  
b  
e  
r  
l  
i  
e  
g  
e  
n  
d  
e  
n  
  
S  
e  
i  
t  
e  
n  
f  
l  
ä  
c  
h  
e  
n  
  
d  
e  
s  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
s  
t  
e  
i  
n  
s

z  
 w  
 e  
 i  
 v 5  
 o  
 n  
 e  
 i  
 n 10  
 a  
 n  
 d  
 e  
 r 15  
 g  
 e  
 t  
 r  
 e 20  
 n  
 n  
 t  
 e 25  
 V  
 e  
 r  
 ti  
 e 30  
 f  
 u  
 n  
 g  
 e 35  
 n  
  
 ( 4  
 0 40  
 ;  
 4  
 0  
 ”  
 ) 45  
 a  
 u  
 f  
 n  
 e 50  
 h  
 m  
 e  
 n  
 , 55  
  
 d  
 i

e  
  
 z  
 u  
 m  
  
 E  
 i  
 n  
 g  
 r  
 i  
 f  
 f  
 e  
 i  
 n  
 e  
  
 m  
 e  
 c  
 h  
 a  
 n  
 i  
 s  
 c  
 h  
 e  
  
 U  
 m  
 k  
 l  
 a  
 m  
 m  
 e  
 r  
 u  
 n  
 g  
  
 v  
 o  
 n  
  
 d  
 e  
 r  
 R  
 ü  
 c  
 k  
 s  
 e  
 i  
 t  
 e

(  
 4  
 3  
 ) 5  
 d  
 e  
 s  
 B  
 r 10  
 e  
 n  
 n  
 k  
 a 15  
 m  
 m  
 e  
 r  
 s 20  
 t  
 e  
 i  
 n  
 s 25  
 d  
 i  
 e  
 n  
 e 30  
 n  
 ,  
 u  
 n  
 d 35  
 /  
 o  
 d  
 e  
 r 40  
  
 w  
 o  
 b  
 e 45  
 i  
 d  
 i  
 e  
 50  
 G  
 a  
 s  
 t  
 u  
 r  
 b  
 i  
 55

n  
 e  
 n  
 -  
 M  
 a  
 s  
 c  
 h  
 i  
 n  
 e  
  
 (  
 1  
 0  
 0  
 )  
 z  
 u  
 m  
 i  
 n  
 d  
 e  
 s  
 t  
 a  
 u  
 f  
 w  
 e  
 i  
 s  
 t  
 :  
  
 e  
 i  
 n  
 e  
 n  
  
 K  
 o  
 m  
 p  
 r  
 e  
 s  
 s  
 o  
 r  
 (  
 1  
 0  
 5

)  
 ,  
 e  
 i 5  
 n  
 e  
 B  
 r 10  
 e  
 n  
 n  
 k  
 a 15  
 m  
 m  
 e  
 r  
 ( 20  
 1  
 1  
 0  
 )  
 m 25  
 it  
 B  
 r  
 e  
 n 30  
 n  
 k  
 a  
 m  
 m 35  
 e  
 r  
 s  
 t  
 e 40  
 i  
 n  
 e  
 n  
 , 45  
 e  
 i  
 n 50  
 H  
 e  
 i  
 ß  
 g 55  
 a  
 s  
 k

a  
 n  
 a  
 l  
 ( 1  
 1  
 1  
 )  
 m  
 it  
 e  
 i  
 n  
 e  
 m  
 b  
 e  
 s  
 c  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e  
 lt  
 e  
 n  
 R  
 o  
 t  
 o  
 r  
 ( 1  
 0  
 3  
 )  
 ,  
 e  
 i  
 n  
 G  
 e  
 h  
 ä  
 u  
 s  
 e  
 t  
 e  
 il  
 ( 5  
 5

0  
 )  
 f  
 ü 5  
 r  
 d  
 e  
 n  
  
 H 10  
 e  
 i  
 ß  
 g  
 a 15  
 s  
 k  
 a  
 n  
 a 20  
 l  
 ( 1  
 1  
 1 25  
 )  
 ,  
  
 w 30  
 o  
 b  
 e  
 i  
 i  
 n 35  
  
 d  
 i  
 e 40  
  
 K  
 o  
 n  
 t  
 a 45  
 k  
 t  
 fl  
 ä 50  
 c  
 h  
 e  
  
 ( 55  
 6  
 0  
 0  
 )

e  
 i  
 n  
 e  
  
 V  
 e  
 r  
 t  
 i  
 e  
 f  
 u  
 n  
 g  
  
 ( 6  
 3  
 0  
 )  
 f  
 ü  
 r  
 e  
 i  
 n  
 e  
  
 D  
 i  
 c  
 h  
 t  
 u  
 n  
 g  
  
 e  
 i  
 n  
 g  
 e  
 l  
 e  
 g  
 t  
 w  
 i  
 r  
 d  
  
 u  
 n  
 d  
  
 d  
 a  
 s

G  
e  
h  
ä  
u 5  
s  
e

w  
i 10  
e  
d  
e  
r

v 15  
e  
r  
s  
c

h 20  
l  
o  
s  
s  
e 25  
n

w  
i 30  
r  
d  
,

u  
n  
d 35  
/  
o  
d  
e  
r 40

w  
o  
b  
e 45  
i  
d  
i  
e

50

G  
a  
s  
t  
u 55  
r  
b  
i

n  
e  
n  
-  
M  
a  
s  
c  
h  
i  
n  
e

(  
1  
0  
0  
)

z  
u  
m  
i  
n  
d  
e  
s  
t

a  
u  
f  
w  
e  
i  
s  
t  
:

e  
i  
n  
e  
n

K  
o  
m  
p  
r  
e  
s  
s  
o  
r  
(  
1  
0  
5

5

5

5

5

)  
 ,  
 e  
 i 5  
 n  
 e  
 B  
 r 10  
 e  
 n  
 n  
 k  
 a 15  
 m  
 m  
 e  
 r  
 m 20  
 it  
 B  
 r  
 e 25  
 n  
 n  
 k  
 a  
 m  
 m 30  
 e  
 r  
 s  
 t  
 e 35  
 i  
 n  
 e  
 n  
 40  
 u  
 n  
 d  
 B 45  
 r  
 e  
 n  
 n  
 e 50  
 r  
 n  
 ,  
 e 55  
 i  
 n  
 e

n  
 H  
 e  
 i  
 ß  
 g  
 a  
 s  
 k  
 a  
 n  
 a  
 l  
 (  
 1  
 1  
 1  
 )  
 m  
 it  
 e  
 i  
 n  
 e  
 m  
 R  
 o  
 t  
 o  
 r  
 (  
 1  
 0  
 3  
 )  
 ,  
 w  
 o  
 b  
 e  
 i  
 v  
 e  
 r  
 ä  
 n  
 d  
 e  
 r  
 t  
 e  
 L  
 e  
 it

s  
c  
h  
a  
u 5  
f  
e  
l  
n 10  
(  
7  
3  
;  
7 15  
3  
")  
i 20  
n  
d  
e  
n 25  
S  
w  
i  
r 30  
l  
e  
r  
d  
e  
s 35  
B  
r  
e  
n  
n 40  
e  
r  
s  
(  
7 45  
0  
)  
e  
i 50  
n  
g  
e  
b  
a  
u 55  
t  
w  
e

r  
d  
e  
n  
,  
d  
i  
e  
g  
e  
g  
e  
n  
ü  
b  
e  
r  
d  
e  
n  
f  
r  
ü  
h  
e  
r  
e  
n  
L  
e  
i  
t  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
n  
e  
i  
n  
e  
n  
g  
e  
r  
i  
n  
g  
e

r  
 e  
 n  
 Ö 5  
 f  
 n  
 u  
 n 10  
 g  
 s  
 w  
 i  
 n 15  
 k  
 e  
 l  
 h 20  
 a  
 b  
 e  
 n  
 ,  
 25  
 s  
 o  
 w  
 i  
 e 30  
 e  
 i  
 n  
 e 35  
 A  
 b  
 s  
 t 40  
 r  
 ö  
 m  
 k  
 a 45  
 n  
 t  
 e  
 b 50  
 e  
 z  
 o  
 g  
 e 55  
 n  
 a

u  
 f  
 d  
 i  
 e  
 L  
 ä  
 n  
 g  
 s  
 a  
 c  
 h  
 s  
 e  
 d  
 e  
 s  
 S  
 c  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e  
 l  
 b  
 l  
 a  
 t  
 t  
 s  
 v  
 e  
 r  
 d  
 r  
 e  
 h  
 t  
 i  
 s  
 t  
 ,  
 u  
 n  
 d  
 /  
 o  
 d  
 e  
 r  
 w  
 o  
 b

e  
i  
d  
i  
e 5  
  
G  
a  
s  
t 10  
u  
r  
b  
i  
n 15  
e  
n  
-  
M  
a 20  
s  
c  
h  
i  
n 25  
e  
  
(  
1  
0 30  
0  
)  
z  
u  
m 35  
i  
n  
d  
e  
s 40  
t  
a  
u  
f  
w 45  
e  
i  
s  
t  
:  
50  
  
e  
i  
n  
e 55  
n  
  
K

o  
m  
p  
r  
e  
s  
s  
o  
r  
(  
1  
0  
5  
)  
,  
  
e  
i  
n  
e  
  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
(  
1  
1  
0  
)  
,  
  
e  
i  
n  
e  
n  
  
H  
e  
i  
ß  
g  
a  
s  
k  
a  
n  
a  
l  
(

1  
 1  
 1  
 )  
 m 5  
 it  
 e  
 i  
 n  
 e 10  
 m  
  
 b  
 e  
 s 15  
 c  
 h  
 a  
 u  
 f 20  
 e  
 lt  
 e  
 n 25  
  
 R  
 o  
 t  
 o  
 r 30  
 (  
 1  
 0  
 3  
 ) 35  
 ,  
  
 w  
 o  
 b 40  
 e  
 i  
 n  
 a  
 c 45  
 h  
 t  
 r  
 ä  
 g 50  
 li  
 c  
 h  
  
 e 55  
 i  
 n

S  
 y  
 s  
 t  
 e  
 m  
  
 (  
 9  
 0  
 )  
 z  
 u  
 r  
 Ü  
 b  
 e  
 r  
 w  
 a  
 c  
 h  
 u  
 n  
 g  
  
 d  
 e  
 r  
 V  
 e  
 r  
 b  
 r  
 e  
 n  
 n  
 u  
 n  
 g  
 s  
 d  
 y  
 n  
 a  
 m  
 i  
 k  
 u  
 n  
 d  
  
 V  
 e  
 r  
 b  
 r  
 e

n  
n  
u  
n  
g 5  
s  
b  
e  
s  
c 10  
h  
l  
e  
u  
n 15  
i  
g  
u  
n  
g 20  
e  
n  
  
v  
o 25  
n  
  
d  
e  
r 30  
B  
r  
e  
n  
n 35  
k  
a  
m  
m  
e 40  
r  
u  
n  
d  
45  
B  
r  
e  
n  
n 50  
e  
r  
i  
n  
s 55  
t  
a  
ll

i  
e  
r  
t  
w  
i  
r  
d  
,  
u  
m  
  
V  
e  
r  
b  
r  
e  
n  
n  
u  
n  
g  
s  
i  
n  
s  
t  
a  
b  
i  
l  
i  
t  
ä  
t  
e  
n  
  
z  
u  
  
r  
e  
d  
u  
z  
i  
e  
r  
e  
n  
  
o  
d  
e  
r  
z  
u

v  
e  
r  
m  
e 5  
i  
d  
e  
n  
, 10  
u  
n  
d  
/  
o 15  
d  
e  
r  
  
b 20  
e  
i  
d  
e  
r 25  
d  
i  
e  
  
D 30  
a  
m  
p  
f 35  
t  
u  
r  
b  
i  
n 40  
e  
  
(  
6  
) 45  
v  
e  
r  
ä  
n 50  
d  
e  
r  
t  
w 55  
i  
r  
d

,  
  
d  
i  
e  
  
m  
i  
t  
e  
i  
n  
e  
r  
G  
a  
s  
t  
u  
r  
b  
i  
n  
e  
  
m  
i  
t  
t  
e  
l  
b  
a  
r  
o  
d  
e  
r  
u  
n  
m  
i  
t  
t  
e  
l  
b  
a  
r  
v  
e  
r  
b  
u  
n  
d  
e  
n  
  
i  
s

t  
 ,  
 w  
 o 5  
 b  
 e  
 i  
 d  
 i 10  
 e  
 D  
 a  
 m 15  
 p  
 f  
 t  
 u  
 r 20  
 b  
 i  
 n  
 e  
 25  
 T  
 u  
 r  
 b  
 i 30  
 n  
 e  
 n  
 s  
 c 35  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e 40  
 l  
 n  
 (  
 8 45  
 8  
 3  
 )  
 a  
 u 50  
 f  
 w  
 e  
 i  
 s 55  
 t  
 ,

w  
 o  
 b  
 e  
 i  
 d  
 i  
 e  
 T  
 u  
 r  
 b  
 i  
 n  
 e  
 n  
 s  
 c  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e  
 l  
 (  
 8  
 8  
 3  
 )  
 e  
 i  
 n  
 e  
 n  
 F  
 u  
 ß  
 (  
 8  
 8  
 0  
 )  
 m  
 i  
 t  
 V  
 e  
 r  
 t  
 i  
 e  
 f  
 u  
 n  
 g  
 e

n  
a  
u  
f 5  
w  
e  
i  
s  
t 10  
,  
w  
o  
b 15  
e  
i  
d  
i  
e 20  
V  
e  
r  
ti 25  
e  
f  
u  
n  
g 30  
e  
n  
(  
8 35  
8  
6  
;  
8  
8 40  
6  
"  
,  
8  
8 45  
6  
"  
)  
g  
e 50  
g  
e  
n  
ü  
b 55  
e  
r  
d

e  
n  
z  
u  
v  
o  
r  
e  
i  
n  
g  
e  
b  
a  
u  
t  
e  
n  
u  
n  
d  
a  
u  
s  
z  
u  
w  
e  
c  
h  
s  
e  
l  
n  
d  
e  
n  
T  
u  
r  
b  
i  
n  
e  
n  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
n

## 11. Energieerzeugungsanlage,

nach Durchführung eines Verfahrens gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, oder eine Energieumwandlungsanlage (1), zumindest aufweisend:

Gasturbinen-Maschine (100), bei der die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist:

einen Kompressor (105), eine Brennkammer (110), einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103), wobei der Kompressor (105) ein Kompressorgehäuse (19) aufweist, das (19) zweiteilig (19', 19'') ausgebildet ist und ein inneres Kompressorgehäuse (19'') als Schaufelträger aufweist, der ein erstes Material aufweist, insbesondere Stahl, ganz insbesondere Stahlguss auf-

weist, und ein äußeres Kompressorgehäuse (19') als Schaufelträger ein vom ersten Material deutlich verschiedenes zweites Material aufweist, nämlich Grauguss aufweist, oder bei dem das äußere Kompressorgehäuse (19'') Grauguss aufweist, optional Gasturbinen-Maschine (100), zumindest aufweisend:

einen Kompressor (105), eine Brennkammer (110), einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103), und zumindest ein Rotorlager (31) des Rotors (103) am Anfang des Kompressors (105) in einer Strömungsrichtung (11) der Gasturbinen-Maschine (100) gesehen, wobei das Rotorlager (31) mindestens 370mm lang ist, insbesondere maximal 500mm lang ist, und/oder bei der die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist:

einen Kompressor (105), eine Brennkammer (110), einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103), zumindest einen Brenner (107') für die Brennkammer (110), bei dem die Brennstoffzuführenden Mittel, insbesondere Rohre, zumindest teilweise, insbesondere vollständig, innen eine Diffusionsbeschichtung aufweisen, insbesondere alitiert sind, und/oder bei der die Gasturbinen-Maschine (100) zumindest aufweist:

einen Kompressor (105), eine Brennkammer (110), einen Heißgaskanal (111) mit einem beschaukelten Rotor (103), mit Stufen (I, II, III, IV) von Lauf- und Leitschaufeln,

wobei die Turbinenlauf-  
(120) und Leitschaufeln  
(130),  
insbesondere der Stufen  
(I, II), 5  
hochtemperaturbeständi-  
ger sind,  
insbesondere eine ver-  
besserte Kühlung aufwei-  
sen, 10  
und/oder  
bei dem die Lauf- (120)  
oder Leitschaufeln (130)  
im Heißgaskanal (111) ei-  
ne gerichtet erstarrte Mi-  
krostruktur in Form einer  
kolumnar erstarrten Mi-  
krostruktur aufweisen,  
insbesondere nur die bei-  
den ersten Stufen (I, II), 20  
ganz insbesondere nur  
die erste Stufe (I),  
und/oder  
bei dem eine segmentier-  
te keramische Schicht auf 25  
der Basis von Yttrium-sta-  
bilisiertem Zirkonoxid auf  
den Lauf- (120) und Leit-  
schaufeln (130) vorhan-  
den ist, 30  
und/oder  
bei dem die Lauf- (120)  
und Leitschaufeln (130)  
für das metallische Subst-  
rat eine einkristalline Mi-  
krostruktur aufweisen, 35  
insbesondere nur die ers-  
ten beiden Stufen (I, II),  
und/oder  
bei dem die keramische 40  
Beschichtung teilstabili-  
siertes Yttrium-stabilisier-  
tes Zirkonoxid aufweist,  
mit einer Porosität von  
 $12 \pm 4\%$ , 45  
und/oder  
mit einer TBC ohne Seg-  
mentierung auf den Leit-  
(130) oder Laufschaufeln  
(120), 50  
und/oder  
bei dem eine Schaufels-  
pitze (415, 500) in einer  
Vertiefung (504) einen  
treppenförmigen Absatz 55  
(507) aufweist,  
der sich direkt an einen  
Steg (505) der Saugseite

anschließt und  
somit zusätzliches Mate-  
rial in der Vertiefung (504)  
darstellt,  
wobei durch den Absatz  
(507) eine Kühlluftboh-  
rung (501) aus dem Innen-  
ren der Laufschaufel  
(120) heraus verläuft,  
um die Schaufelspitze  
(500) besser zu kühlen,  
und/oder  
bei der die Gasturbinen-  
Maschine (100) zumin-  
dest aufweist:

einen Kompressor  
(105),  
eine Brennkammer  
(110),  
einen Heißgaskanal  
(111) mit einem be-  
schaufelten Rotor  
(103),  
mit Stufen (I, II, III, IV)  
von Lauf- und Leit-  
schaufeln, bei dem  
die Lauf- (120) und  
Leitschaufeln (130),  
insbesondere der  
Stufen (I, II),  
Kühllöcher (399) an  
den Seitenflächen  
(404) der Schaufel-  
plattformen (403)  
aufweisen,  
und/oder  
bei der die Gasturbi-  
nen-Maschine (100)  
zumindest aufweist:

einen Kompres-  
sor (105),  
eine Brennkam-  
mer (110),  
einen Heißgas-  
kanal (111) mit  
einem beschau-  
felten Rotor  
(103),  
mit Stufen (I, II,  
III, IV) von Lauf-  
und Leitschau-  
feln,  
wobei die Schau-  
felspitze (415,  
500) insbeson-  
dere der Stufen



Lauf-			ei-
schau-			ne
fel der			Bre
Stufe			nn-
(III) und	5		ka
über der			mm
Leit-			er
schau-			(11
fel der			0)
Stufe	10		mit
(IV) vor-			Bre
handen			nn-
ist und			ka
ein lan-			mm
ger Ka-	15		er-
nal (60)			stei-
aus			nen
dem			ode
hinte-			r
ren Ple-	20		Hit-
num			ze-
(57) in			sch
dem			il-
Schau-			den
felträ-	25		(15
ger (50)			5),
vorhan-			ei-
den ist,			nen
der die			Hei
Stufe	30		ßga
(III) aus			ska
dem			nal
hinte-			(11
ren Ple-			1)
num	35		mit
(57)			ei-
kühlt,			ne
und/ode			m
r			be-
bei der	40		sch
die			auf-
Gastur-			el-
binen-			ten
Maschi-			Ro-
ne (100)	45		tor
zumin-			(10
dest			3)
auf-			auf-
weist:			wei-
	50		sen
ei-			d
nen			ein
Ko			Sp
mpr			alt
es-	55		(64
sor			)
(10			zwi
5),			sch

en  
 ei-  
 ne  
 m  
 Hit- 5  
 ze-  
 sch  
 ild  
 (15  
 5) 10  
 und  
 Leit  
 sch  
 auf-  
 el 15  
 (13  
 0)  
 der  
 Stu  
 fe 20  
 (I)  
 des  
 Ro-  
 tors  
 (10 25  
 3),  
 wo-  
 bei  
 ei-  
 ne 30  
 Ru  
 ndu  
 ng  
 (72  
 ) 35  
 am  
 strö-  
 mu  
 ngs  
 sei- 40  
 ti-  
 gen  
 En-  
 de  
 des 45  
 Hit-  
 ze-  
 sch  
 ilds  
 (15 50  
 5)  
 und  
 die  
 ge-  
 gen 55  
 übe  
 rlie-  
 gen

de  
 Ru  
 ndu  
 ng  
 (75  
 )  
 der  
 Leit  
 sch  
 auf-  
 el  
 (13  
 0)  
 der  
 Stu  
 fe  
 (I)  
 glei  
 ch  
 aus  
 ge-  
 führ  
 t  
 sin  
 d,  
 um  
 ei-  
 nen  
 Üb  
 er-  
 han  
 g  
 ode  
 r ei-  
 ne  
 Hin  
 ter-  
 sch  
 nei-  
 dun  
 g  
 im  
 Hit-  
 ze-  
 sch  
 ild  
 (15  
 5)  
 zu  
 ver-  
 mei  
 den  
 ,  
 in  
 der  
 sic  
 h  
 Sch

mut  
z  
an-  
sa  
mm 5  
eln  
kön  
nte  
ode  
r 10  
Ero  
si-  
on  
sic  
h 15  
aus  
bil-  
det,  
und  
/od 20  
er  
bei  
der  
die  
Ga 25  
stur  
bi-  
nen  
-  
Ma- 30  
sch  
ine  
(10  
0)  
zu- 35  
min  
des  
t  
auf-  
wei 40  
st:

e  
i 45  
n  
e  
n  
K 50  
o  
m  
p  
r  
e 55  
s  
s  
o

r  
(  
1  
0  
5  
)  
,  
e  
i  
n  
e  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
(  
1  
1  
0  
)  
,  
e  
i  
n  
e  
n  
H  
e  
i  
ß  
g  
a  
s  
k  
a  
n  
a  
l  
(  
1  
1  
1  
)  
m  
it  
e  
i

n  
e  
m  
  
b 5  
e  
s  
c  
h  
a 10  
u  
f  
e  
lt  
e 15  
n  
  
R  
o  
t 20  
o  
r  
(  
1  
0 25  
3  
)  
  
e 30  
i  
n  
e  
n  
  
L 35  
e  
it  
s  
c  
h 40  
a  
u  
f  
e  
lt 45  
r  
ä  
g  
e  
r 50  
(  
7  
9  
)  
m 55  
it  
e  
i

n  
e  
r  
D  
i  
c  
h  
t  
u  
n  
g  
s  
a  
n  
o  
r  
d  
n  
u  
n  
g  
  
(  
7  
9  
)  
a  
u  
s  
E  
l  
e  
m  
e  
n  
t  
e  
n  
  
(  
8  
1  
,  
8  
3  
)  
,  
  
d  
i  
e  
  
z  
u  
  
e  
i  
n

e  
m  
  
g  
e 5  
r  
i  
n  
g  
e 10  
r  
e  
n  
  
K 15  
ü  
h  
ll  
u  
f 20  
t  
v  
e  
r  
b 25  
r  
a  
u  
c  
h 30  
  
f  
ü  
h  
r 35  
t  
,  
  
w  
o 40  
b  
e  
i  
d  
i 45  
e  
  
e  
i 50  
n  
z  
e  
l  
n  
e 55  
n  
  
E

l  
e  
m  
e  
n  
t  
e  
  
(  
8  
1  
,  
8  
3  
)  
d  
e  
s  
L  
e  
i  
t  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
t  
r  
ä  
-  
g  
e  
r  
s  
(  
7  
9  
)  
e  
i  
n  
e  
n  
  
S  
p  
a  
l  
t  
(  
8  
0  
)  
a  
u  
f  
w

e  
i  
s  
e  
n 5  
,  
d  
e  
r 10  
(  
8  
0  
)  
L 15  
a  
b  
y  
r  
i 20  
n  
t  
h  
-  
o 25  
d  
e  
r  
S  
- 30  
f  
ö  
r  
m  
i 35  
g  
a  
u  
s 40  
g  
e  
b  
il  
d 45  
e  
t  
i  
s  
t 50  
,  
w  
o  
b 55  
e  
i  
d

a  
s  
i  
n  
S  
t  
r  
ö  
m  
u  
n  
g  
s  
r  
i  
c  
h  
t  
u  
n  
g  
(  
1  
1  
)  
v  
o  
r  
d  
e  
r  
e  
E  
l  
e  
m  
e  
n  
t  
e  
i  
n  
e  
e  
r  
s  
t  
e  
N  
a  
s  
e

(  
8  
2  
)  
a 5  
u  
f  
w  
e  
i 10  
s  
t  
u  
n  
d 15

d  
a  
s 20  
z  
w  
e  
it  
e 25  
i  
n

S 30  
t  
r  
ö  
m  
u  
n 35  
g  
s  
r  
i  
c 40  
h  
t  
u  
n  
g 45

(  
1  
1  
) 50  
h  
i  
n  
t  
e 55  
r  
e

E  
l  
e  
m  
e  
n  
t  
(  
8  
3  
)  
e  
i  
n  
e

d  
a  
r  
ü  
b  
e  
r  
a  
u  
s  
g  
e  
b  
i  
l  
d  
e  
t  
e

z  
w  
e  
it  
e

N  
a  
s  
e

(  
8  
5  
)  
a  
u  
f  
w  
e  
i  
s  
t

,  
 s  
 o 5  
 d  
 a  
 s  
 s 10  
 e  
 i  
 n  
 S  
 - 15  
 f  
 ö  
 r  
 m  
 i 20  
 g  
 e  
 r  
 S  
 p 25  
 a  
 lt  
 (  
 8  
 0 30  
 )  
 g  
 e  
 b  
 il 35  
 d  
 e  
 t  
 w  
 i 40  
 r  
 d  
 ,  
 w 45  
 o  
 d  
 u  
 r  
 c 50  
 h  
 d  
 i  
 e 55  
 Ö  
 f

f  
 n  
 u  
 n  
 g  
 d  
 e  
 s  
 S  
 p  
 a  
 l  
 t  
 e  
 s  
 i  
 m  
 H  
 e  
 i  
 ß  
 g  
 a  
 s  
 k  
 a  
 n  
 a  
 l  
 (  
 1  
 1  
 1  
 )  
 i  
 n  
 S  
 t  
 r  
 ö  
 m  
 u  
 n  
 g  
 s  
 r  
 i  
 c  
 h  
 t  
 u  
 n  
 g  
 g  
 e

s  
e  
h  
e  
n 5  
  
h  
i  
n  
t 10  
e  
n  
  
li  
e 15  
g  
t  
,  
u  
n 20  
d  
/  
o  
d  
e 25  
r  
  
b  
e  
i 30  
d  
e  
r  
d  
i 35  
e  
  
G  
a  
s 40  
t  
u  
r  
b  
i 45  
n  
e  
n  
-  
M 50  
a  
s  
c  
h  
i 55  
n  
e

(  
1  
0  
0  
)  
Z  
u  
m  
i  
n  
d  
e  
s  
t  
a  
u  
f  
w  
e  
i  
s  
t  
:  
  
e  
i  
n  
e  
n  
  
K  
o  
m  
p  
r  
e  
s  
s  
o  
r  
(  
1  
0  
5  
)  
,  
e  
i  
n  
e  
  
B  
r  
e  
n  
n

k  
 a  
 m  
 m  
 e 5  
 r  
 (  
 1  
 1  
 0 10  
 )  
 m  
 it  
 H  
 it 15  
 z  
 e  
 s  
 c  
 h 20  
 il  
 d  
 e  
 n 25  
 (  
 1  
 5  
 5  
 ) 30  
 o  
 d  
 e  
 r  
 B 35  
 r  
 e  
 n  
 n  
 k 40  
 a  
 m  
 m  
 e  
 r 45  
 s  
 t  
 e  
 i  
 n 50  
 e  
 n  
 ,  
 e 55  
 i  
 n  
 e

n  
 H  
 e  
 i  
 ß  
 g  
 a  
 s  
 k  
 a  
 n  
 a  
 l  
 (  
 1  
 1  
 1  
 )  
 m  
 it  
 e  
 i  
 n  
 e  
 m  
 b  
 e  
 s  
 c  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e  
 lt  
 e  
 n  
 R  
 o  
 t  
 o  
 r  
 (  
 1  
 0  
 3  
 )  
 ,  
 w  
 o  
 b  
 e  
 i  
 d

i  
e  
  
B  
r 5  
e  
n  
n  
k  
a 10  
m  
m  
e  
r  
( 15  
1  
1  
0  
)  
a 20  
m  
  
s  
t 25  
r  
ö  
m  
u  
n  
g 30  
s  
s  
e  
it  
i 35  
g  
e  
n  
  
E 40  
n  
d  
e  
  
d 45  
e  
r  
H  
it  
z 50  
e  
s  
c  
h  
il 55  
d  
e

(  
1  
5  
5  
)  
o  
d  
e  
r  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
s  
t  
e  
i  
n  
e  
  
(  
6  
0  
1  
,  
6  
0  
4  
,  
6  
1  
0  
)  
s  
o  
  
a  
u  
s  
g  
e  
b  
il  
d  
e  
t  
s  
i  
n  
d  
,

d  
a  
s  
s 5  
s  
i  
e  
  
e 10  
i  
n  
e  
n  
  
15  
S  
p  
o  
il  
e 20  
r  
e  
f  
f  
e 25  
k  
t  
g  
e  
n 30  
e  
r  
i  
e  
r 35  
e  
n  
,  
u  
n 40  
d  
/  
o  
d  
e 45  
r  
  
b  
e  
i 50  
d  
e  
r  
d  
i  
e 55  
  
G

a  
s  
t  
u  
r  
b  
i  
n  
e  
n  
-  
M  
a  
s  
c  
h  
i  
n  
e  
  
(  
1  
0  
0  
)  
z  
u  
m  
i  
n  
d  
e  
s  
t  
a  
u  
f  
w  
e  
i  
s  
t  
:  
  
e  
i  
n  
e  
n  
  
K  
o  
m  
p  
r  
e  
s

s  
o  
r  
(  
1 5  
0  
5  
)  
,  
10  
e  
i  
n  
e  
15  
B  
r  
e  
n  
n 20  
k  
a  
m  
m  
e 25  
r  
(  
1  
1  
0 30  
)  
m  
it  
B  
r 35  
e  
n  
n  
k  
a 40  
m  
m  
e  
r 45  
s  
t  
e  
i  
n  
e 50  
n  
,  
e  
i 55  
n  
e  
n

H  
e  
i  
ß  
g  
a  
s  
k  
a  
n  
a  
l  
(  
1  
1  
1  
)  
m  
it  
e  
i  
n  
e  
m  
b  
e  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
t  
e  
n  
R  
o  
t  
o  
r  
(  
1  
0  
3  
)  
,  
w  
o  
b  
e  
i  
a  
u

f  
z  
w  
e  
i 5  
g  
e  
g  
e  
n 10  
ü  
b  
e  
r  
li 15  
e  
g  
e  
n  
d 20  
e  
n  
  
S 25  
e  
it  
e  
n  
fl  
ä 30  
c  
h  
e  
n  
  
35  
d  
e  
s  
B  
r 40  
e  
n  
n  
k  
a 45  
m  
m  
e  
r  
s 50  
t  
e  
i  
n  
s 55  
z  
w  
e

i  
v  
o  
n  
e  
i  
n  
a  
n  
d  
e  
r  
g  
e  
t  
r  
e  
n  
n  
t  
e  
  
V  
e  
r  
t  
i  
e  
f  
u  
n  
g  
e  
n  
  
(  
4  
0  
;  
4  
0  
")  
)  
a  
u  
s  
g  
e  
b  
i  
l  
d  
e  
t  
s  
i  
n  
d  
,

d  
 i  
 e 5  
 z  
 u  
 m  
 E 10  
 i  
 n  
 g  
 r  
 if 15  
 f  
 e  
 i  
 n  
 e 20  
 m  
 e  
 c  
 h 25  
 a  
 n  
 i  
 s  
 c 30  
 h  
 e  
 U  
 m 35  
 k  
 l  
 a  
 m  
 m 40  
 e  
 r  
 u  
 n  
 g 45  
 v  
 o  
 n  
 50  
 d  
 e  
 r  
 R  
 ü 55  
 c  
 k  
 s

e  
 it  
 e  
 (  
 4  
 3  
 )  
 d  
 e  
 s  
 B  
 r  
 e  
 n  
 n  
 k  
 a  
 m  
 m  
 e  
 r  
 s  
 t  
 e  
 i  
 n  
 s  
 d  
 i  
 e  
 n  
 e  
 n  
 ,  
 u  
 n  
 d  
 /  
 o  
 d  
 e  
 r  
 b  
 e  
 i  
 d  
 e  
 r  
 d  
 i  
 e  
 G  
 a  
 s  
 t

u  
r  
b  
i  
n 5  
e  
n  
-  
M  
a 10  
s  
c  
h  
i  
n 15  
e

(  
1  
0 20  
0  
)  
z  
u 25  
m  
i  
n  
d  
e 30  
s  
t  
a  
u  
f  
w 35  
e  
i  
s  
t  
:  
40

e  
i  
n 45  
e  
n

K  
o 50  
m  
p  
r  
e  
s 55  
s  
o  
r

(  
1  
0  
5  
)  
,  
e  
i  
n  
e  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
(  
1  
1  
0  
)  
m  
i  
t  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
s  
t  
e  
i  
n  
e  
n  
,  
e  
i  
n  
H  
e  
i  
ß

g  
a  
s  
k  
a 5  
n  
a  
l  
(  
1 10  
1  
1  
)  
m  
it 15  
e  
i  
n  
e  
m 20  
  
b  
e  
s  
c 25  
h  
a  
u  
f  
e 30  
lt  
e  
n  
  
R 35  
o  
t  
o  
r  
(  
1 40  
0  
3  
)  
, 45  
e  
i  
n  
  
o 50  
b  
e  
r  
e  
s  
u  
n  
d 55  
d

u  
n  
t  
e  
r  
e  
s  
G  
e  
h  
ä  
u  
s  
e  
t  
e  
il  
(  
5  
5  
0  
)  
f  
ü  
r  
d  
e  
n  
  
H  
e  
i  
ß  
g  
a  
s  
k  
a  
n  
a  
l  
(  
1  
1  
1  
)  
,  
  
w  
o  
b  
e  
i  
G  
e  
h  
ä

u  
s  
e  
t  
e 5  
il  
e  
  
(  
5 10  
5  
0  
)  
a  
u 15  
f  
d  
e  
r  
K 20  
o  
n  
t  
a  
k 25  
t  
fl  
ä  
c  
h 30  
e  
  
(  
6 35  
0  
0  
)  
i  
n  
s 40  
b  
e  
s  
o  
n 45  
d  
e  
r  
e  
50  
i  
m  
  
B  
e 55  
r  
e  
i

c  
h  
  
d  
e  
r  
L  
e  
i  
t  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
v  
e  
r  
t  
i  
e  
f  
u  
n  
g  
e  
n  
  
e  
i  
n  
e  
  
V  
e  
r  
t  
i  
e  
f  
u  
n  
g  
  
(  
6  
3  
0  
)  
m  
i  
t  
e  
i  
n  
e  
r  
D  
i

c  
h  
t  
u  
n 5  
g  
  
a  
u  
f 10  
w  
e  
i  
s  
e 15  
n  
,  
u  
n  
d 20  
/  
o  
d  
e  
r 25  
  
b  
e  
i  
d 30  
e  
r  
d  
i  
e 35  
  
G  
a  
s  
t 40  
u  
r  
b  
i  
n 45  
e  
n  
-  
M  
a 50  
s  
c  
h  
i  
n 55  
e  
  
(

1  
0  
0  
)  
z  
u  
m  
i  
n  
d  
e  
s  
t  
a  
u  
f  
w  
e  
i  
s  
t  
:  
  
e  
i  
n  
e  
n  
  
K  
o  
m  
p  
r  
e  
s  
s  
o  
r  
(  
1  
0  
5  
)  
,  
  
e  
i  
n  
e  
  
B  
r  
e  
n  
n  
k

a  
m  
m  
e  
r 5  
(  
1  
1  
0  
) 10  
m  
it  
B  
r  
e 15  
n  
n  
k  
a  
m 20  
m  
e  
r  
s  
t 25  
e  
i  
n  
e  
n 30  
,  
e  
i  
n 35  
H  
e  
i  
ß 40  
g  
a  
s  
k  
a 45  
n  
a  
l  
(  
1 50  
1  
1  
)  
m  
it 55  
e  
i  
n

e  
m  
b  
e  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
t  
e  
n  
R  
o  
t  
o  
r  
(  
1  
0  
3  
)  
,  
w  
o  
b  
e  
i  
d  
i  
e  
B  
r  
e  
n  
n  
k  
a  
m  
m  
e  
r  
(  
1  
1  
0  
)  
e  
i  
n  
B

r  
e  
n  
n  
e 5  
r  
(  
7  
0  
) 10  
a  
n  
g  
e  
o 15  
r  
d  
n  
e  
t 20  
i  
s  
t  
,  
25  
d  
e  
r  
e  
i 30  
n  
e  
n  
S 35  
w  
i  
r  
l  
e 40  
r  
m  
it  
L  
e 45  
it  
s  
c  
h  
a 50  
u  
f  
e  
l  
n 55  
(  
7

3  
;  
7  
3  
")  
a  
u  
f  
w  
e  
i  
s  
t  
,  
w  
o  
b  
e  
i  
d  
e  
r  
Ö  
f  
f  
n  
u  
n  
g  
s  
w  
i  
n  
k  
e  
l  
d  
e  
r  
L  
e  
i  
t  
s  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
v  
e  
r  
r  
i  
n

g  
e  
r  
t  
i 5  
s  
t  
u  
n  
d 10

d  
a  
s  
S 15  
c  
h  
a  
u  
f 20  
e  
l  
b  
l  
a 25

t  
t  
d  
e  
r 30  
L  
e  
it  
s  
c 35  
h  
a  
u  
f  
e 40

(  
7  
3  
" 45  
)  
e  
n  
tl  
a 50  
n  
g

d  
e 55  
r  
A  
b

s  
t  
r  
ö  
m  
k  
a  
n  
t  
e

d  
e  
s  
S  
c  
h  
a  
u  
f  
e  
l  
b  
l  
a  
t  
t  
e  
s  
i  
s  
t  
,  
u  
n  
d  
/  
o  
d  
e  
r

b  
e  
i  
d  
e  
r  
d  
i  
e  
  
G  
a  
s  
t  
u  
r

b  
 i  
 n  
 e  
 n <sup>5</sup>  
 -  
 M  
 a  
 s  
 c <sup>10</sup>  
 h  
 i  
 n  
 e  
<sup>15</sup>  
 (  
 1  
 0  
 0  
 ) <sup>20</sup>  
 i  
 n  
  
 e  
 i <sup>25</sup>  
 n  
 e  
 r  
 G  
 u <sup>30</sup>  
 D  
 -  
 A  
 n  
 l <sup>35</sup>  
 a  
 g  
 e  
  
 (  
 1 <sup>40</sup>  
 )  
 z  
 u  
 m <sup>45</sup>  
 i  
 n  
 d  
 e  
 s <sup>50</sup>  
 t  
 a  
 u  
 f  
 w <sup>55</sup>  
 e  
 i  
 s

t  
 :  
  
 e  
 i  
 n  
 e  
 n  
  
 K  
 o  
 m  
 p  
 r  
 e  
 s  
 s  
 o  
 r  
 (  
 1  
 0  
 5  
 )  
 ,  
 e  
 i  
 n  
 e  
  
 B  
 r  
 e  
 n  
 n  
 k  
 a  
 m  
 m  
 e  
 r  
 (  
 1  
 1  
 0  
 )  
 ,  
 e  
 i  
 n  
 e  
 n  
  
 H  
 e

i  
 ß  
 g  
 a  
 s 5  
 k  
 a  
 n  
 a  
 l 10  
 (  
 1  
 1  
 1  
 ) 15  
 ,  
 m  
 it  
 e 20  
 i  
 n  
 e  
 m 25  
 b  
 e  
 s  
 c  
 h 30  
 a  
 u  
 f  
 e  
 lt 35  
 e  
 n  
 R  
 o 40  
 t  
 o  
 r  
 (  
 1 45  
 0  
 3  
 )  
 u  
 n 50  
 d  
 e  
 i  
 n 55  
 e  
 D

a  
 m  
 p  
 f  
 t  
 u  
 r  
 b  
 i  
 n  
 e  
 (  
 6  
 )  
 ,  
 w  
 o  
 b  
 e  
 i  
 e  
 i  
 n  
 A  
 b  
 g  
 a  
 s  
 d  
 e  
 r  
 G  
 a  
 s  
 t  
 u  
 r  
 b  
 i  
 n  
 e  
 n  
 -  
 M  
 a  
 s  
 c  
 h  
 i  
 n  
 e  
 (  
 1  
 0

0  
 )  
 m  
 it 5  
 t  
 e  
 l  
 b  
 a  
 r 10  
 f  
 ü  
 r  
 d  
 i 15  
 e  
  
 D  
 a 20  
 m  
 p  
 f  
 e  
 r  
 z 25  
 e  
 u  
 g  
 u 30  
 n  
 g  
  
 i  
 n 35  
 e  
 i  
 n  
 e  
 r 40  
 D  
 a  
 m  
 p  
 f 45  
 t  
 u  
 r  
 b  
 i 50  
 n  
 e  
  
 v  
 e 55  
 r  
 w  
 e

n  
 d  
 e  
 t  
 w  
 i  
 r  
 d  
 ,  
 w  
 o  
 b  
 e  
 i  
 d  
 i  
 e  
  
 D  
 a  
 m  
 p  
 f  
 t  
 u  
 r  
 b  
 i  
 n  
 e  
  
 ( 6 )  
 S  
 c  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e  
 l  
 n  
  
 ( 8 8 3 )  
 a  
 u  
 f  
 w  
 e  
 i  
 s  
 t

m  
 it  
 e  
 i  
 n 5  
 e  
 m  
  
 S  
 c 10  
 h  
 a  
 u  
 f  
 e 15  
 lf  
 u  
 ß  
 ,  
 20  
 w  
 o  
 b  
 e  
 i 25  
 d  
 i  
 e  
  
 V 30  
 e  
 r  
 ti  
 e  
 f 35  
 u  
 n  
 g  
 e  
 n 40  
  
 (  
 8  
 8  
 6 45  
 ,  
 8  
 8  
 6  
 " 50  
 ,  
 8  
 8  
 6  
 "' 55  
 )  
 e  
 i

n  
 e  
 n  
  
 g  
 r  
 ö  
 ß  
 e  
 r  
 e  
 n  
  
 R  
 a  
 d  
 i  
 u  
 s  
 a  
 u  
 f  
 w  
 e  
 i  
 s  
 e  
 n  
 ,  
 u  
 n  
 d  
 /  
 o  
 d  
 e  
 r  
  
 b  
 e  
 i  
 d  
 e  
 r  
 d  
 i  
 e  
  
 G  
 a  
 s  
 t  
 u  
 r  
 b  
 i  
 n  
 e

n  
 -  
 M  
 a  
 s 5  
 c  
 h  
 i  
 n  
 e 10  
  
 (  
 1  
 0  
 0 15  
 )  
 z  
 u  
 m  
 i 20  
 n  
 d  
 e  
 s  
 t 25  
 a  
 u  
 f  
 w  
 e 30  
 i  
 s  
 t  
 :  
 35  
  
 e  
 i  
 n  
 e 40  
 n  
  
 K  
 o  
 m 45  
 p  
 r  
 e  
 s  
 s 50  
 o  
 r  
 (  
 1  
 0 55  
 5  
 )  
 ,

e  
 i  
 n  
 e  
  
 B  
 r  
 e  
 n  
 n  
 k  
 a  
 m  
 m  
 e  
 r  
 (  
 1  
 1  
 0  
 )  
 ,  
 e  
 i  
 n  
 e  
 n  
  
 H  
 e  
 i  
 ß  
 g  
 a  
 s  
 k  
 a  
 n  
 a  
 l  
 (  
 1  
 1  
 1  
 )  
 m  
 i  
 t  
 e  
 i  
 n  
 e  
 m  
  
 b  
 e  
 s

c  
 h  
 a  
 u  
 f 5  
 e  
 lt  
 e  
 n  
 10  
 R  
 o  
 t  
 o  
 r 15  
 ,  
 w  
 o  
 b 20  
 e  
 i  
 e  
 n 25  
 S  
 y  
 s  
 t 30  
 e  
 m  
 (  
 g 35  
 0  
 )  
 i  
 n  
 s 40  
 t  
 a  
 ll  
 i  
 e 45  
 r  
 t  
 i  
 s  
 t 50  
 ,  
 d  
 a  
 s  
 d 55  
 i  
 e

V  
 e  
 r  
 b  
 r  
 e  
 n  
 n  
 u  
 n  
 g  
 s  
 d  
 y  
 n  
 a  
 m  
 i  
 k  
 u  
 n  
 d  
 B  
 e  
 s  
 c  
 h  
 l  
 e  
 u  
 n  
 i  
 g  
 u  
 n  
 g  
 e  
 n  
 a  
 u  
 s  
 g  
 e  
 h  
 e  
 n  
 d  
 v  
 o  
 n  
 d  
 e  
 r  
 V

e  
r  
b  
r  
e 5  
n  
n  
u  
n  
g 10  
  
u  
n  
d  
15  
d  
e  
r  
B  
r 20  
e  
n  
n  
k  
a 25  
m  
m  
e  
r  
( 30  
1  
1  
0  
)  
ü 35  
b  
e  
r  
w  
a 40  
c  
h  
t  
.  
45

50

55

FIG 1

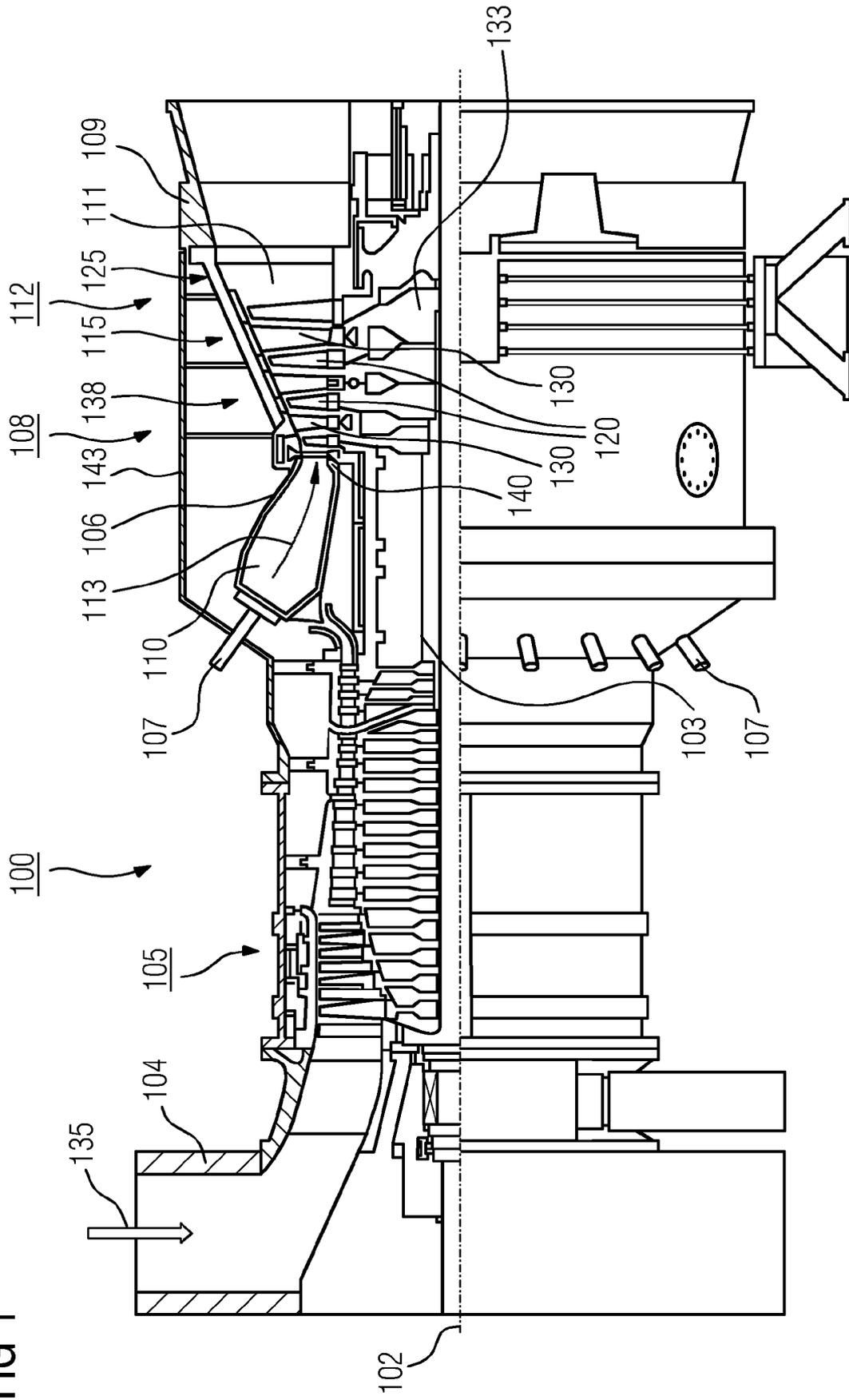


FIG 2

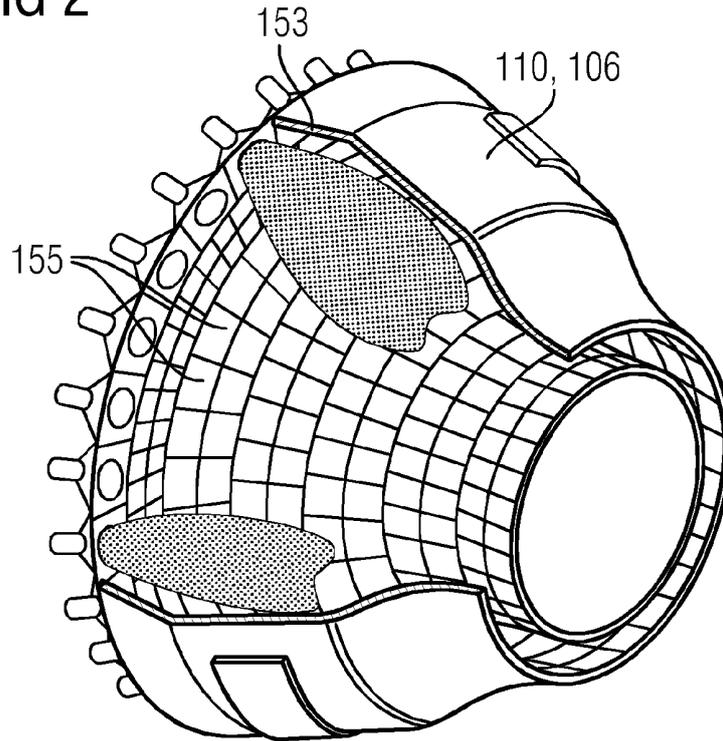


FIG 3

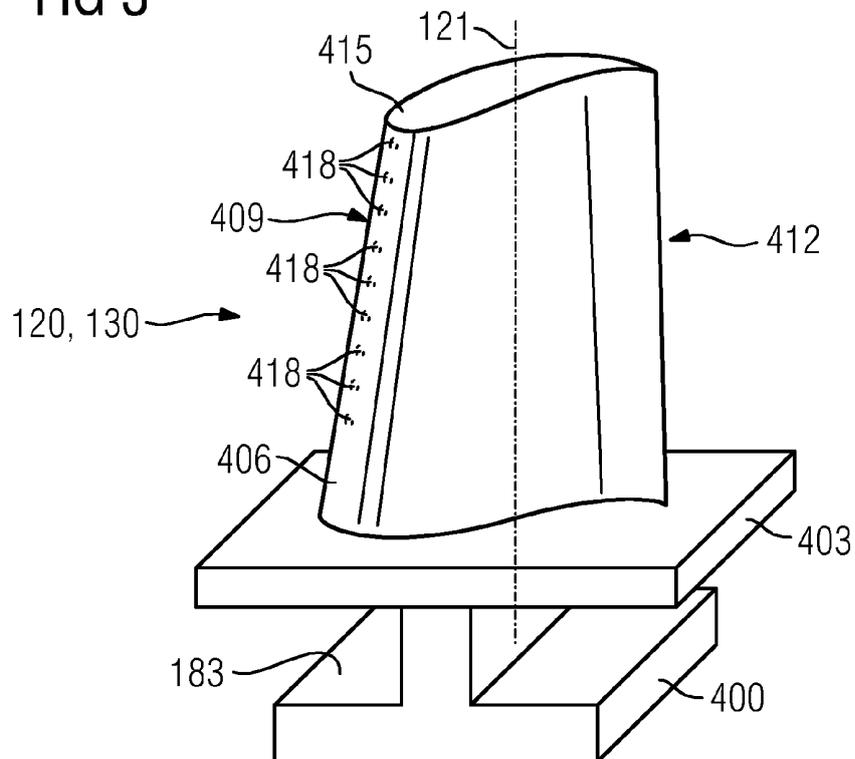


FIG 4

Werkstoff	chemische Zusammensetzung in %												
	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Ta	Nb	Al	Ti	B	Zr	Hf
Ni-Basis-Feingußlegierungen													
GTD 222	0.10	22.5	Rest	19.0		2.0	1.0		1.2	2.3	0.008		
IN 939	0.15	22.4	Rest	19.0		2.0	1.4	1.0	1.9	3.7	0.009	0.10	
IN 6203 DS	0.15	22.0	Rest	19.0		2.0	1.1	0.8	2.3	3.5	0.010	0.10	0.75
Udimet 500	0.10	18.0	Rest	18.5	4.0				2.9	2.9	0.006	0.05	
IN 738 LC	0.10	16.0	Rest	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	3.4	0.010	0.10	
SC 16	<0.01	16.0	Rest		3.0		3.5		3.5	3.5	<0.005	<0.008	
Rene 80	0.17	14.0	Rest	9.5	4.0	4.0			3.0	5.0	0.015	0.03	
GTD 111	0.10	14.0	Rest	9.5	1.5	3.8	2.8		3.0	4.9	0.012	0.03	
GTD 111 DS													
IN 792 CC	0.08	12.5	Rest	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	
IN 792 DS	0.08	12.5	Rest	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	1.00
MAR M 002	0.15	9.0	Rest	10.0		10.0	2.5		5.5	1.5	0.015	0.05	1.50
MAR M 247 LC DS	0.07	8.1	Rest	9.2	0.5	9.5	3.2		5.6	0.7	0.015	0.02	1.40
CMSX 2	<.006	8.0	Rest	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	
CMSX 3	<.006	8.0	Rest	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	0.10
CMSX 4		6.0	Rest	10.0	0.6	6.0	6.0		5.6	1.0		Re=3.0	0.10
CMSX 6	<.015	10.0	Rest	5.0	3.0	<.10	2.0	<.10	4.9	4.8	<.003	<.0075	0.10
PWA 1480 SX	<.006	10.0	Rest	5.0		4.0	12.0		5.0	1.5	<.0075	<.0075	
PWA 1483 SX	0.07	12.2	Rest	9.0	1.9	3.8	5.0		3.6	4.2	0.0001	0.002	
Co-Basis-Feingußlegierungen													
FSX 414	0.25	29.0	10	Rest		7.5					0.010		
X 45	0.25	25.0	10	Rest		8.0					0.010		
ECY 768	0.65	24.0	10	51.7		7.5	4.0		0.25	0.3	0.010	0.05	
MAR-M-509	0.65	24.5	11	Rest		7.5	4			0.3	0.010	0.60	
CM 247	0.07	8.3	Rest	10.0	0.5	9.5	3.2		5.5	0.7			1.5

FIG 5

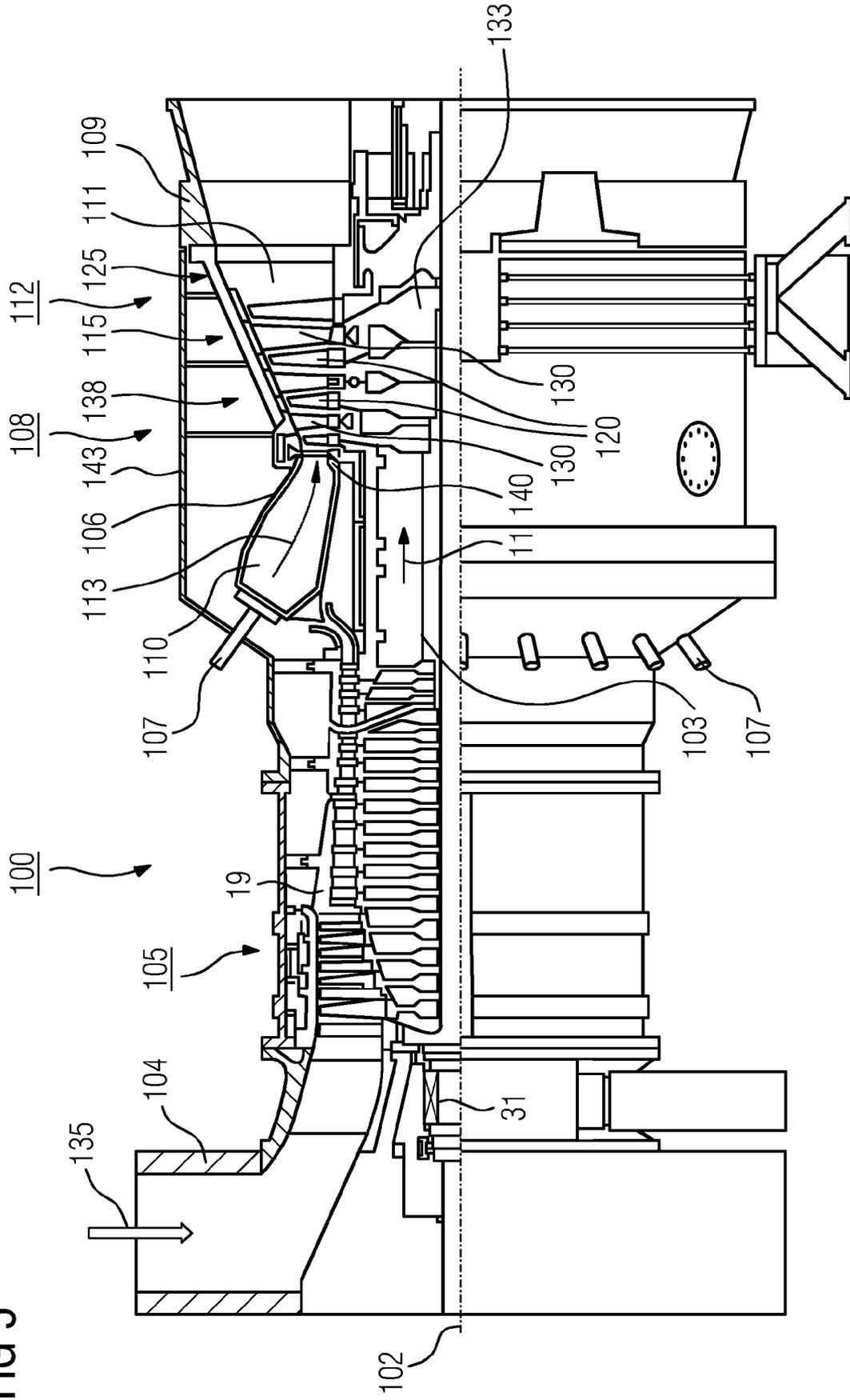


FIG 6

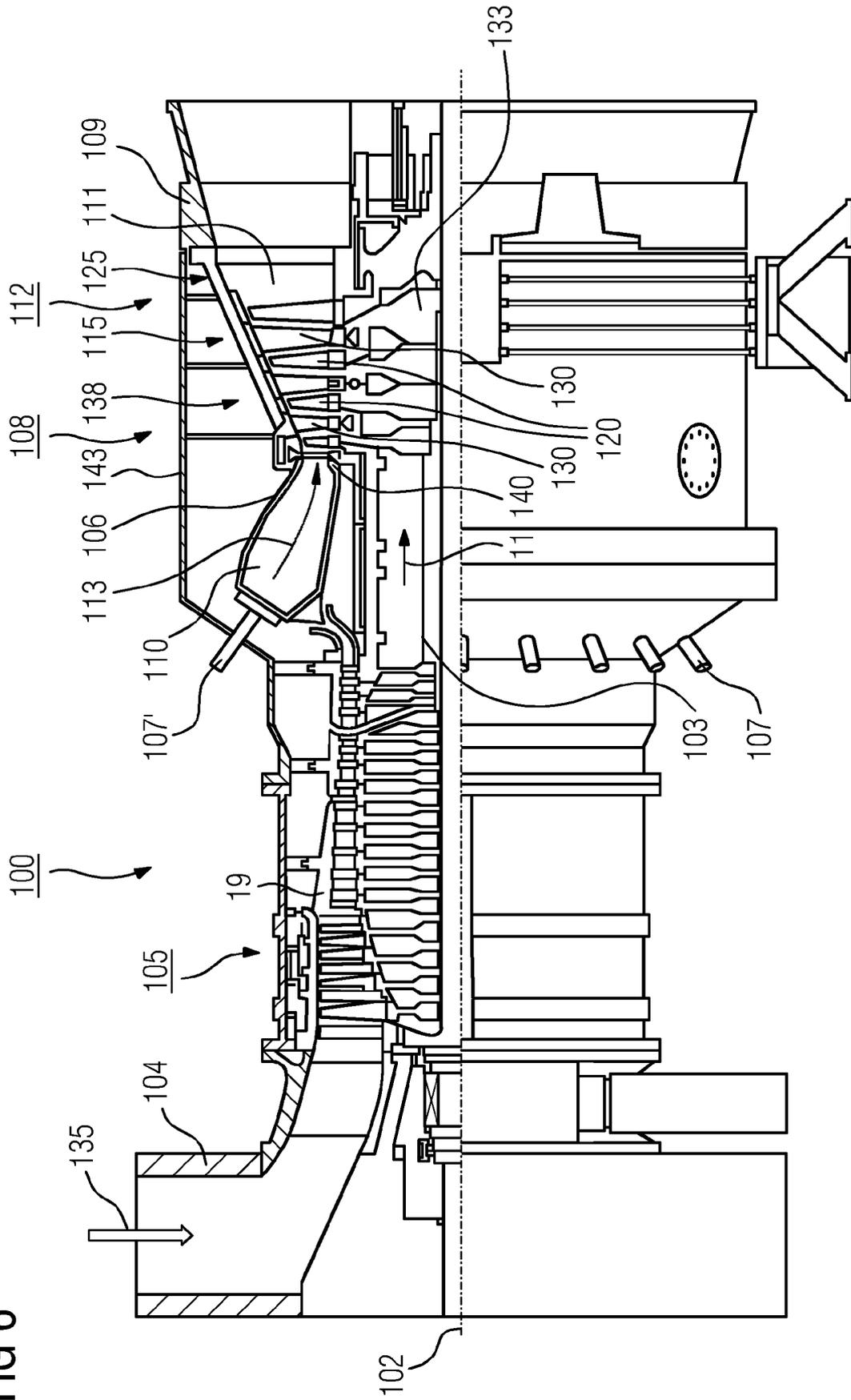
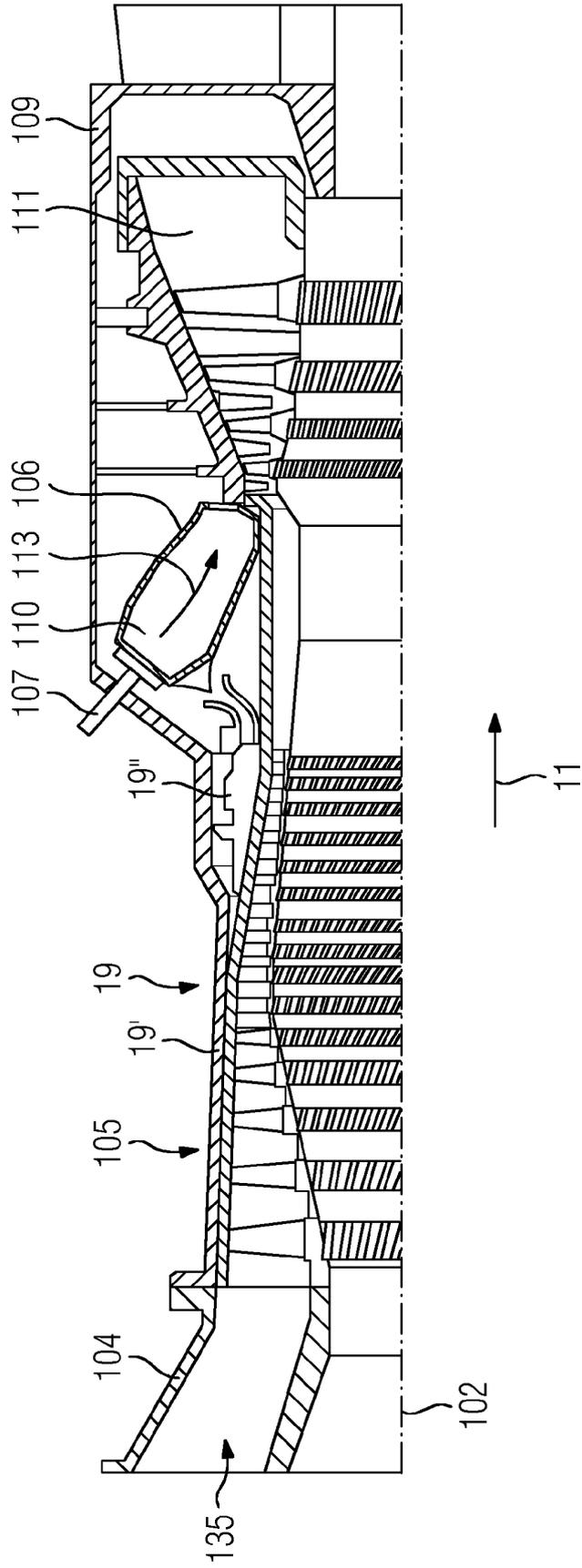


FIG 7



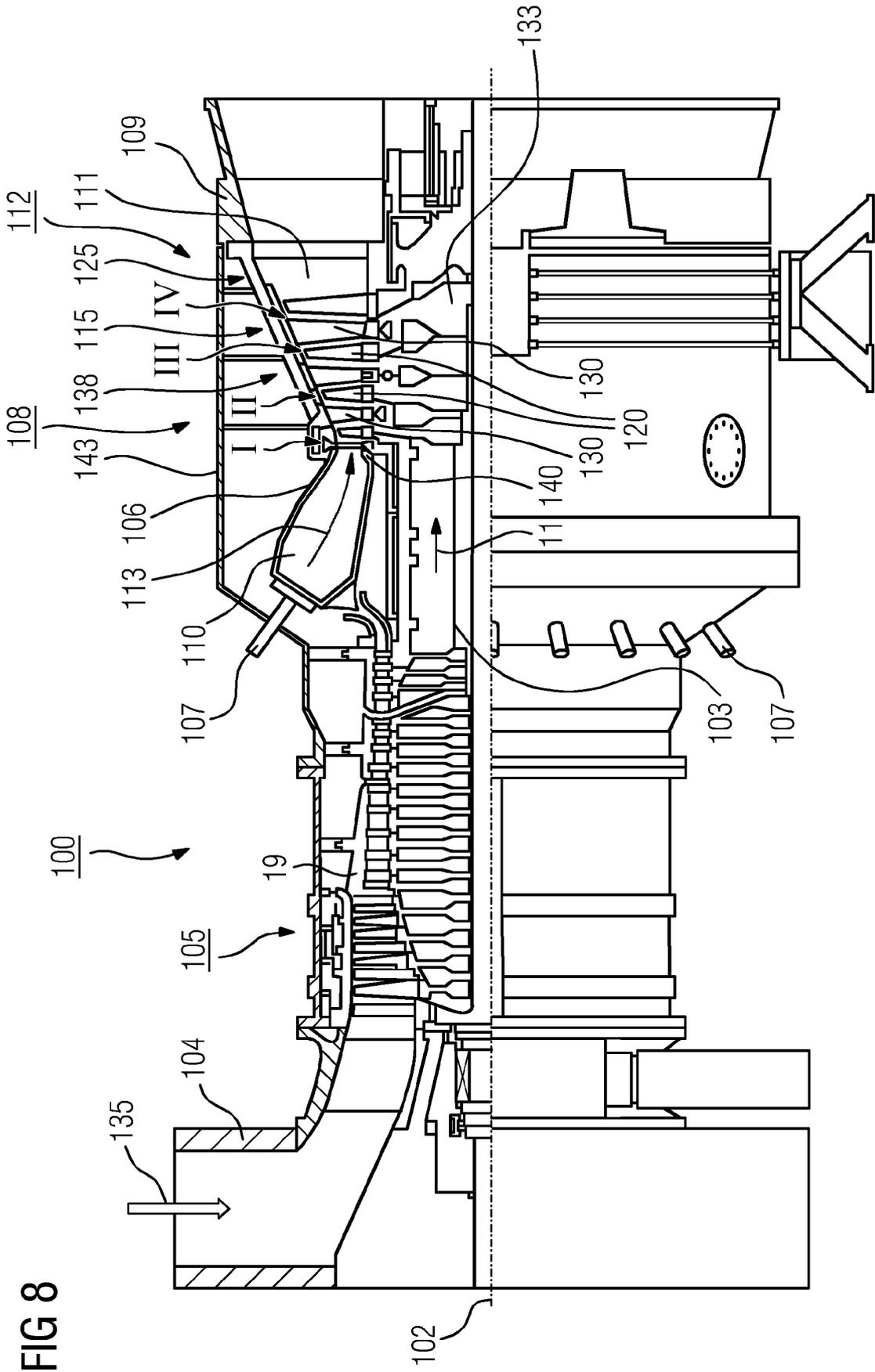


FIG 8

FIG 9

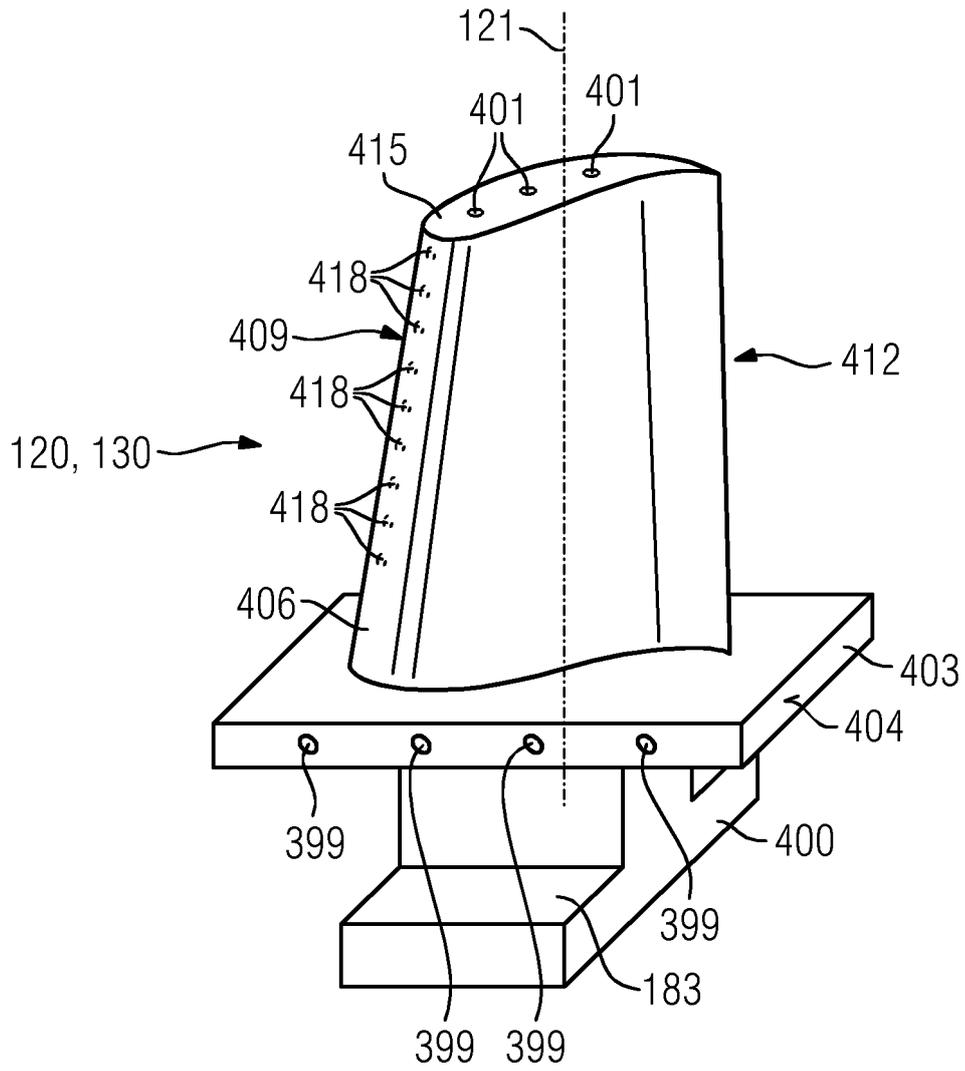


FIG 10

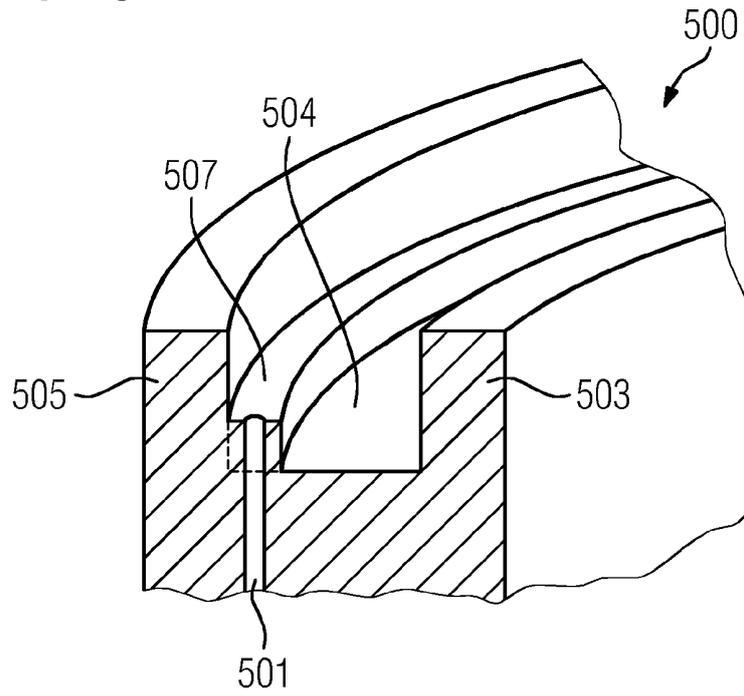


FIG 11

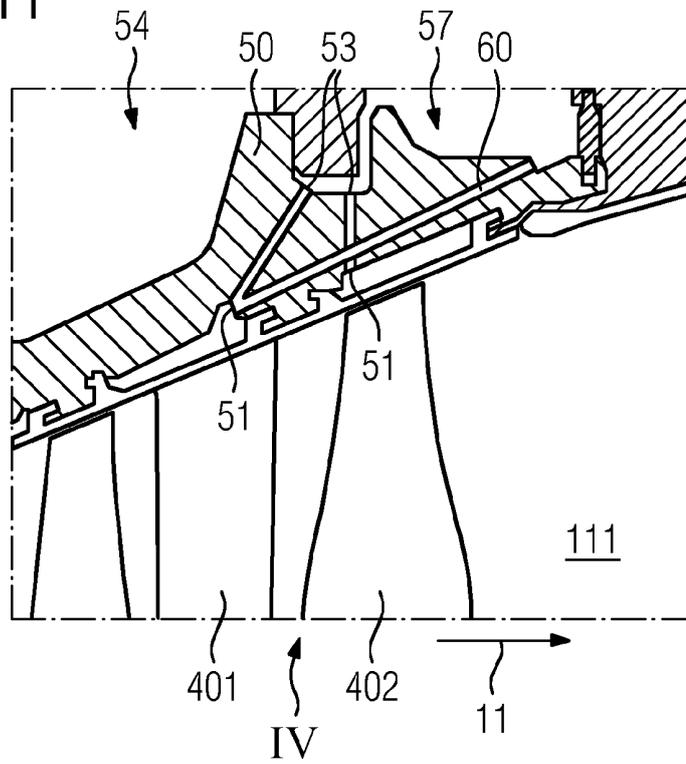


FIG 12

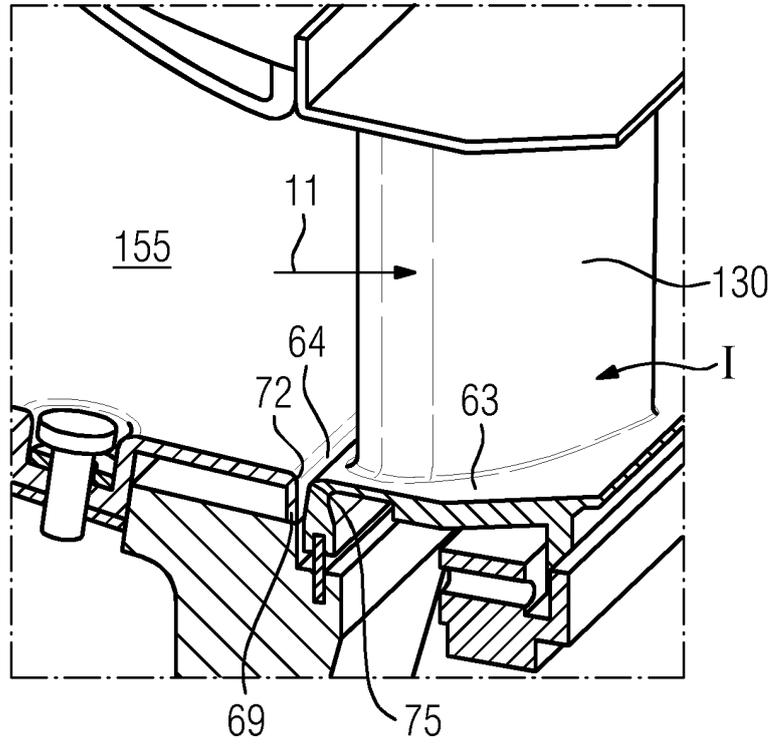


FIG 13

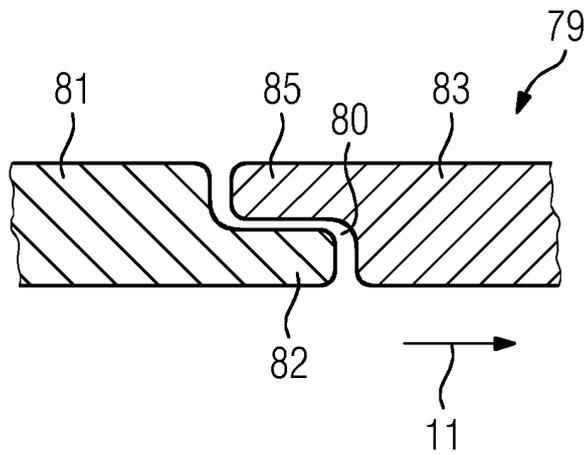


FIG 14

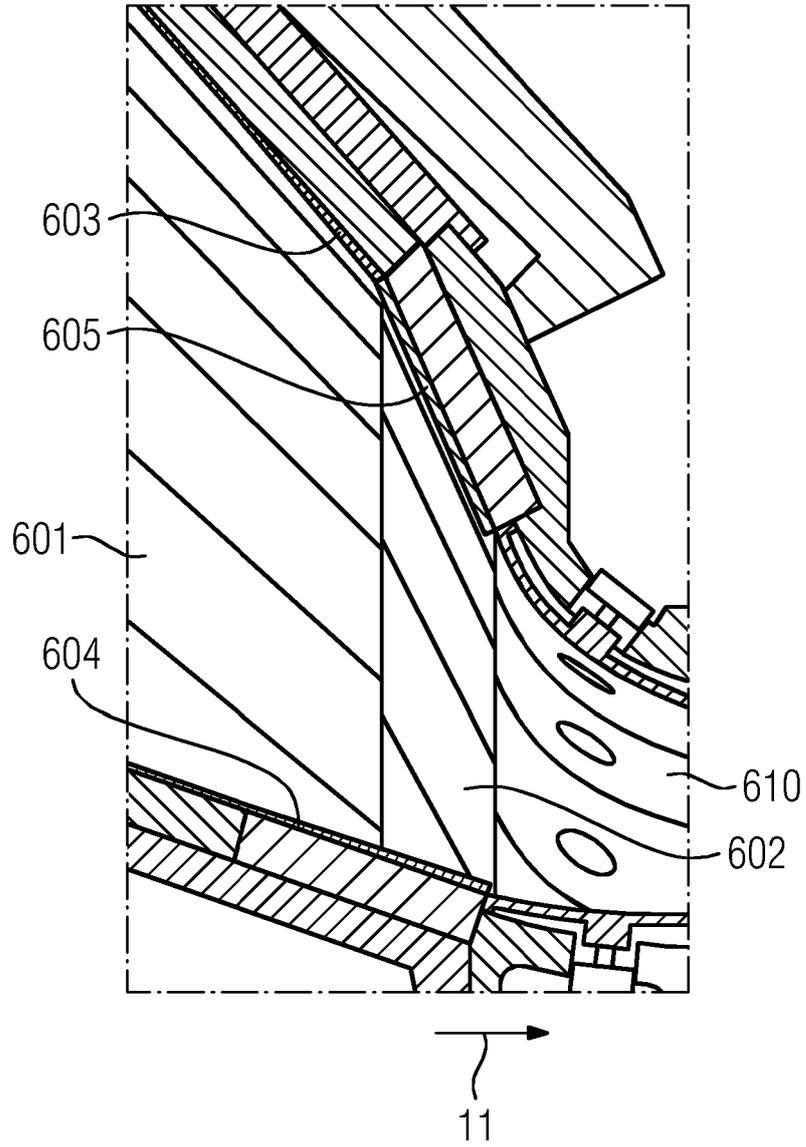


FIG 15

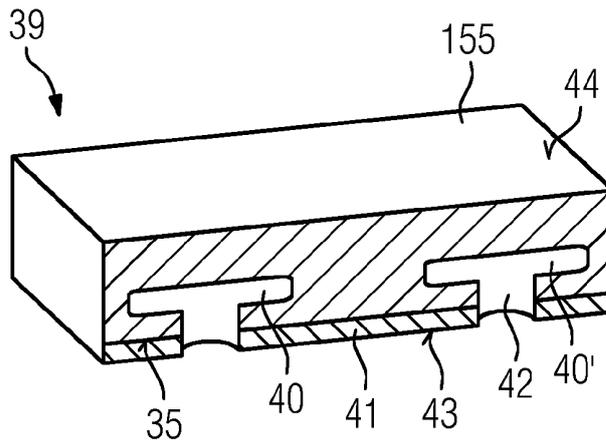


FIG 16

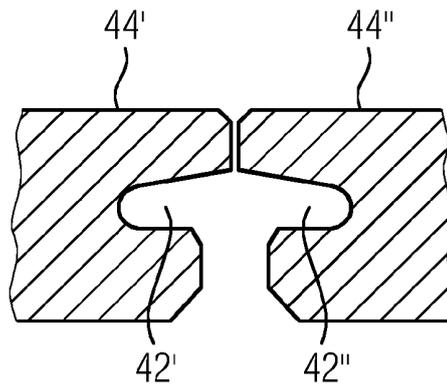


FIG 17

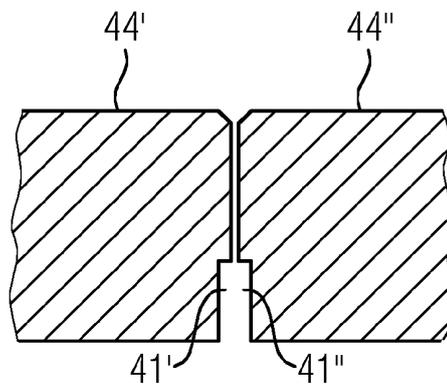


FIG 18

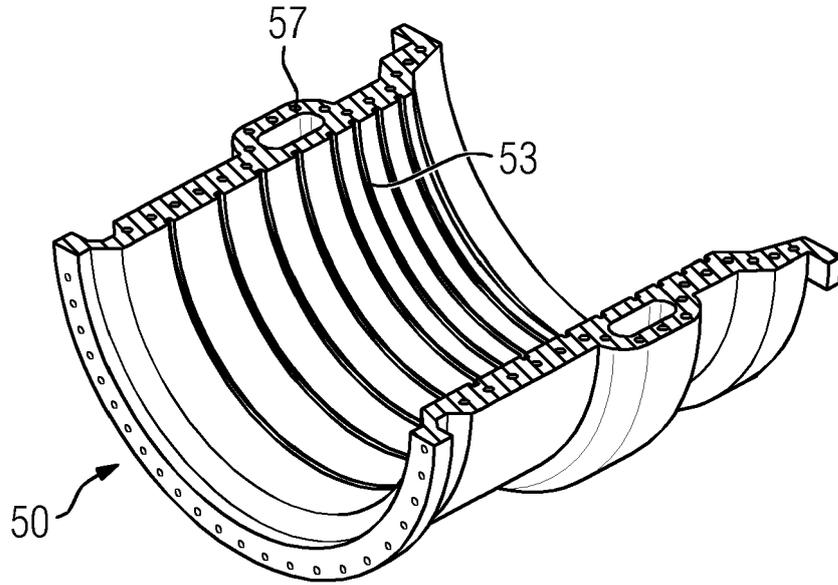


FIG 19

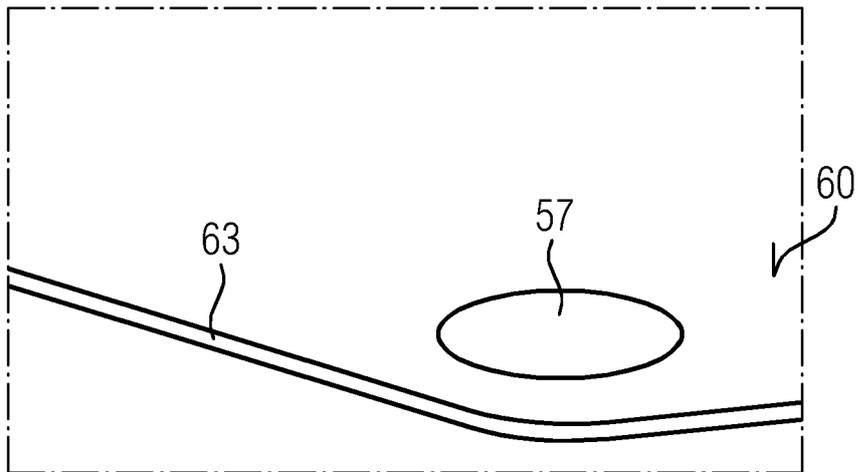


FIG 20

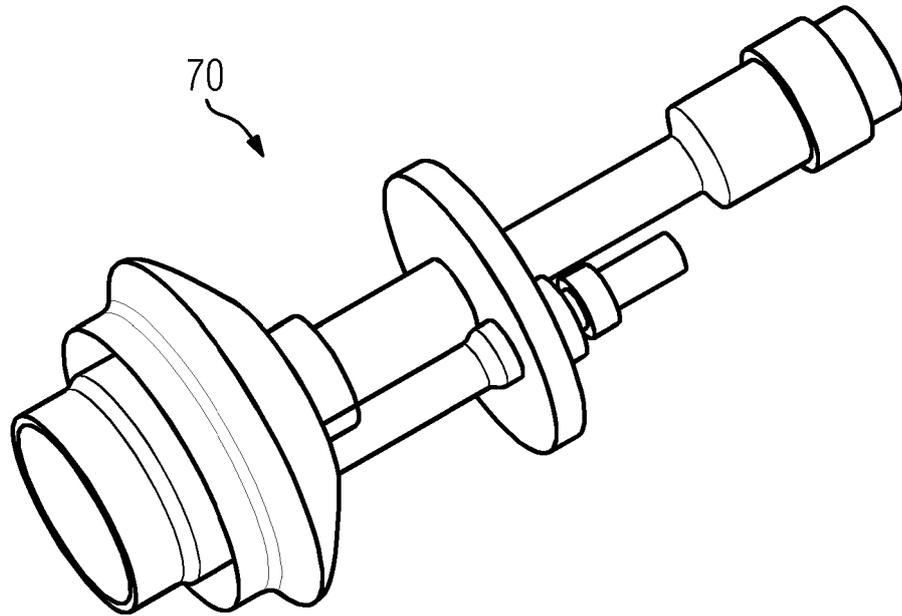


FIG 21

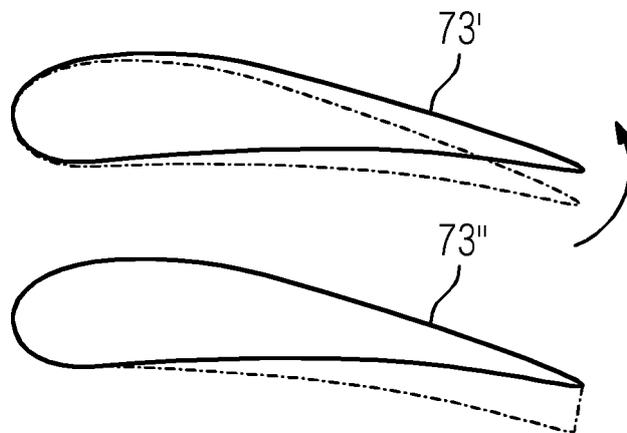


FIG 22

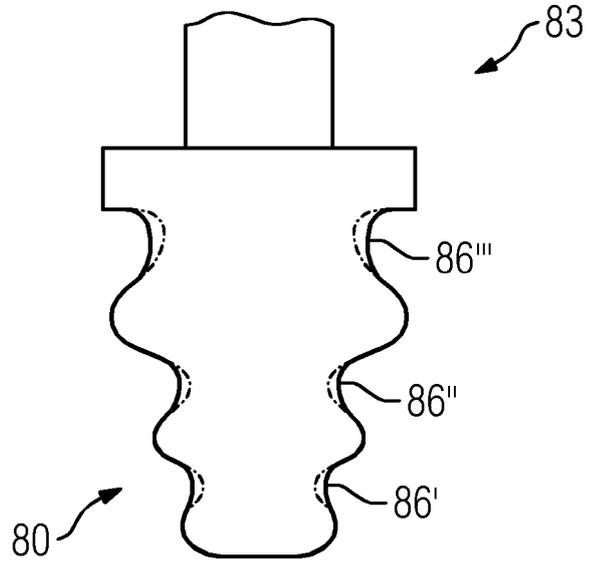


FIG 23

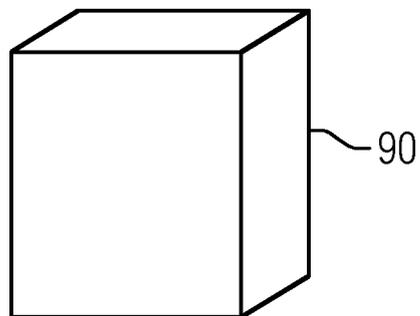
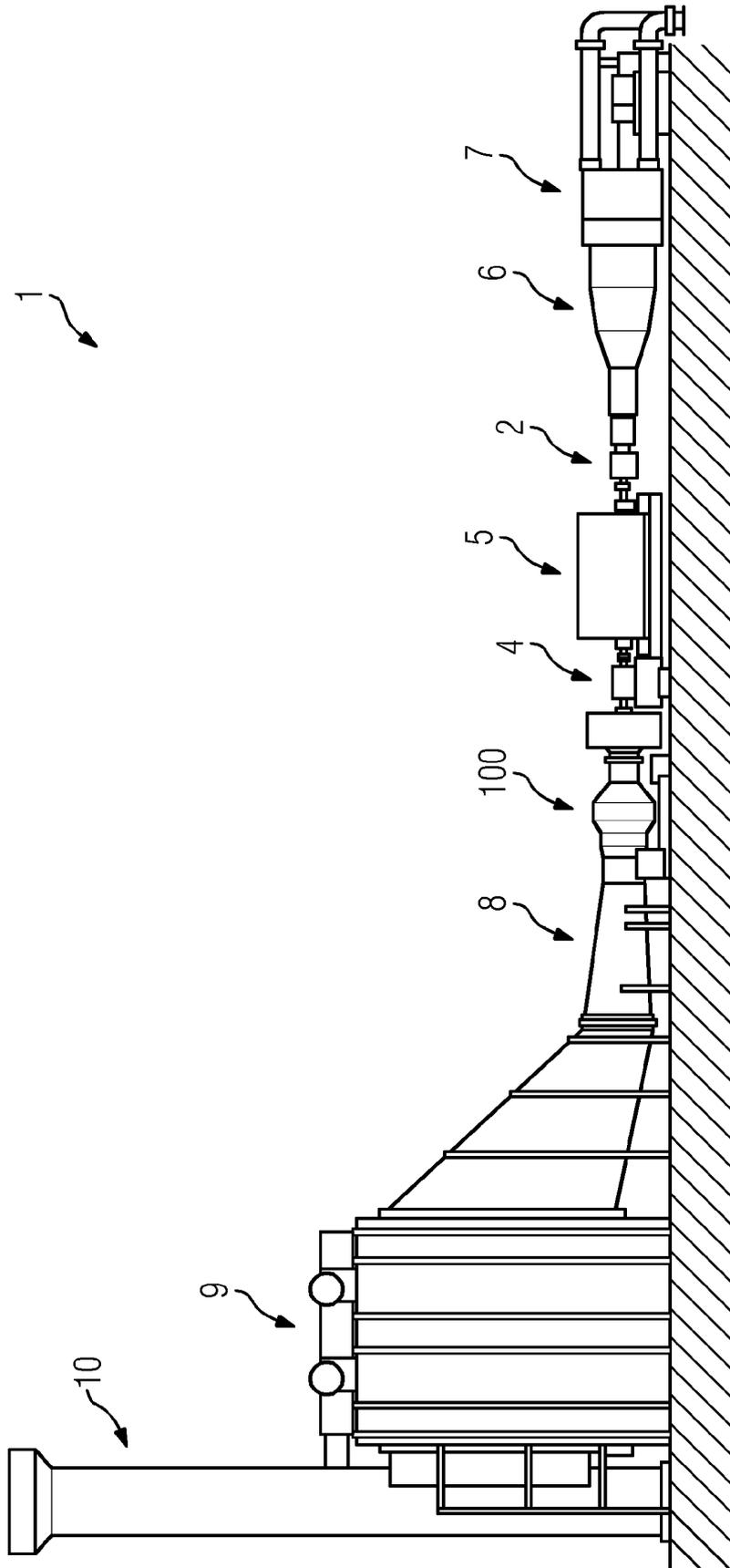


FIG 24



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1204776 B1 [0023] [0043]
- EP 1306454 A [0023] [0043]
- EP 1319729 A1 [0023] [0043]
- WO 9967435 A [0023] [0043]
- WO 0044949 A [0023] [0043]
- EP 0486489 B1 [0024] [0030] [0050]
- EP 0786017 B1 [0024] [0030] [0050]
- EP 0412397 B1 [0024] [0030] [0050]
- EP 1306454 A1 [0024] [0030] [0050]
- US 6024792 A [0049]
- EP 0892090 A1 [0049]