

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Mai 2006 (11.05.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/048401 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01D 1/00 (2006.01) **F01D 5/28** (2006.01)

F01D 1/08 (2006.01)

HAVAKECHIAN, Said [CH/CH]; Bruggerstrasse 133,
CH-5400 Baden (CH).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/055587

(74) Gemeinsamer Vertreter: **ALSTOM TECHNOLOGY LTD**; CHTI Intellectual Property, Brown Boveri Str.
7/699/5, CH-5401 Baden (CH).

(22) Internationales Anmeldedatum:

26. Oktober 2005 (26.10.2005)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

1807/04 2. November 2004 (02.11.2004) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALSTOM TECHNOLOGY LTD** [CH/CH]; Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden (CH).

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

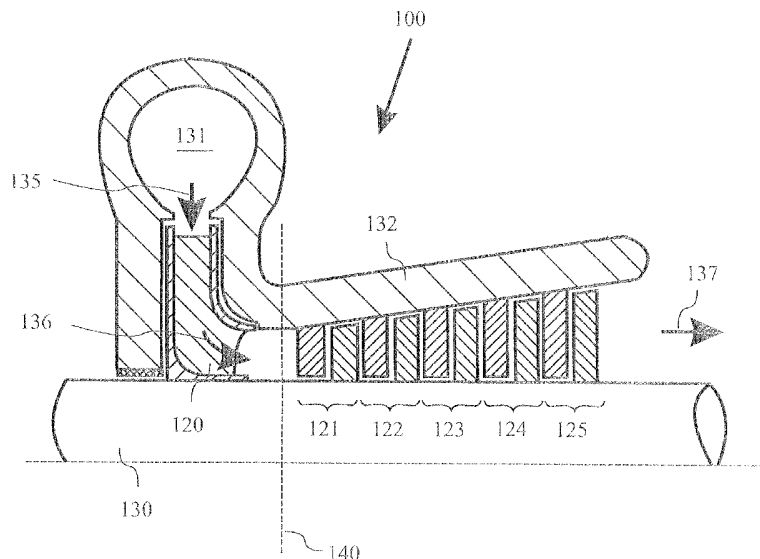
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GREIM, Ralf** [DE/CH]; Bollstrasse 8, CH-5413 Birmenstorf (CH).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTIMISED TURBINE STAGE FOR A TURBINE ENGINE AND LAYOUT METHOD

(54) Bezeichnung: OPTIMIERTE TURBINENSTUFE EINER TURBINENANLAGE SOWIE AUSLEGUNGSVERFAHREN



(57) Abstract: A turbine (100) of a turbine engine is disclosed, in particular, a steam turbine for a steam turbine engine. The turbine comprises at least one radial or diagonal turbine stage (120) with radial or diagonal feed stream and axial exhaust flow and at least one axial turbine stage (121 - 125) with a axial feed steam and axial exhaust flow. The at least one radial or diagonal turbine stage (120) forms the first stage of the turbine (100) and the at least one axial turbine stage (121 - 125) is arranged downstream of the radial or diagonal turbine stage (121) as a further stage of the turbine. The at least one radial or diagonal turbine stage (120) has a higher temperature-resistance than the at least one axial turbine stage (121 - 125). The turbine (100) permits a significant increase in the process temperature of the steam turbine engine, whereby measures to increase the temperature-resistance need only be carried out on the components of the radial or diagonal turbine stage (120).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/048401 A1



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Turbine (100) einer Turbinenanlage, insbesondere eine Dampfturbine einer Dampf turbinenanlage vorgestellt. Die Turbine umfasst wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) mit radialer oder diagonaler Zuströmung und axialer Abströmung sowie wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 - 125) mit axialer Zuströmung und axialer Abströmung. Die wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) bildet die erste Stufe der Turbine (100) und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 - 125) ist stromab der radialen oder diagonalen Turbinenstufe (121) als weitere Stufe der Turbine angeordnet. Die wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) weist eine höhere Temperaturbeständigkeit auf als die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 - 125). Die Turbine (100) ermöglicht es, die Prozesstemperatur der Dampfturbinenanlage erheblich zu erhöhen, wobei Massnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit nur für Bauteile der radialen oder diagonalen Turbinenstufe (120) ergriffen werden müssen.

OPTIMIERTE TURBINENSTUFE EINER TURBINENANLAGE SOWIE AUSLEGUNGSVERFAHREN

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Turbine einer Turbinenanlage, insbesondere eine
5 Dampfturbine einer Dampfturbinenanlage. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Auslegung einer Turbine sowie ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer solchen Turbine ausgestatteten Turbinenanlage.

Stand der Technik

10 Aufgrund der stetigen Bemühungen zur Verbesserung des Wirkungsgrades moderner Turbinenanlagen, insbesondere moderner Dampfturbinenanlagen, erscheint es wünschenswert, die Prozesstemperatur der Turbinenanlagen zu erhöhen. Eine Erhöhung der Prozesstemperatur wirkt sich einerseits insbesondere auf die Hochdruckturbine als auch andererseits auf die Mitteldruckturbine der Turbinenanlage aus, die infolgedessen mit höheren Temperaturen beaufschlagt werden.
15 Dies führt dazu, dass auch bei Dampfturbinen heutzutage bereits Temperaturen erreicht werden, bei denen eine Verwendung herkömmlicher Werkstoffe insbesondere für die Beschaukelung der Turbine, die Strömungskanalwände sowie für die Turbinenwelle ohne Temperaturminderungsmaßnahmen nicht mehr möglich ist.
20

Eine solche Temperaturminderungsmaßnahme kann beispielsweise darin bestehen, die Schaufeln der Turbine mittels eines Kühlfluids zu kühlen. Kühlung von Schaufeln ist bei Gasturbinen bereits seit langem bekannt. Jedoch ist hierzu einerseits ein Kühlfluid in geeigneter Weise bereitzustellen, sei es durch eine externe
25 Bereitstellung oder durch eine Entnahme aus einer der Verdichterstufen der Turbinenanlage. Dies führt zu einer Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrades der Turbinenanlage. Auch werden im Falle einer Filmkühlung oder einer Effusionskühlung der Schaufeln durch das Einströmen des Kühlfluids in die Hauptströmung der Turbine aerodynamische Verluste verursacht.
30

Alternativ könnten die Schaufeln und teilweise auch die Wellen der Turbine aus hochwarmfesten Werkstoffen hergestellt werden, wodurch die Turbine jedoch in der Herstellung sehr teuer wird.

5

Neben der Erhöhung der Prozesstemperatur wird zumeist auch eine Erhöhung des Prozessdrucks angestrebt. Durch die Erhöhung der Prozessparameter kommt es insbesondere innerhalb der ersten Turbinenstufen einer Hochdruckturbine zu nur verhältnismäßig kleinen Volumenströmen des durch die Turbine strömenden Durchströmfluids, zumeist Luft bzw. Rauchgas in Gasturbinen oder Dampf in Dampfturbinen.

Kleine Volumenströme wiederum bedingen kleine Schaufelhöhen der Turbinenschaufeln bei kleinem Schaufelseitenverhältnis. Hierdurch ist es oftmals sehr schwierig, derartige Turbinenbeschaufelungen mit einem guten aerodynamischen Wirkungsgrad auszulegen.

15

Darstellung der Erfindung

Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen. Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Turbine der eingangs genannten Art und ein Verfahren zur Auslegung einer Turbine anzugeben, mit welchen die Nachteile des Standes der Technik gemindert oder vermieden werden.

20

Die Erfindung soll insbesondere dazu beitragen, den Wirkungsgrad einer Turbine einer Turbinenanlage, insbesondere einer Dampfturbine einer Dampfturbinenanlage, zu erhöhen. Gemäß einem weiteren Aspekt soll durch die Erfindung eine kostengünstig herstellbare und wirkungsgradoptimierte Turbine bereitgestellt werden, die mit einer hohen Eintrittstemperatur beaufschlagbar ist.

25

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Turbine gemäß Anspruch 1 sowie durch die Turbinenanlage gemäß dem weiteren unabhängigen Vorrichtungs-

30

anspruch, durch das Verfahren zur Auslegung einer Turbine gemäß dem ersten unabhängigen Verfahrensanspruch sowie durch das Verfahren zum Betreiben einer erfindungsgemäß ausgebildeten Turbinenanlage gemäß dem weiteren unabhängigen Verfahrensanspruch gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung finden sich in den Unteransprüchen.

Die erfindungsgemäß ausgebildete Turbine umfasst wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe mit einer radialen bzw. diagonalen Zuströmung und einer axialen Abströmung. Unter axialer Abströmung ist auch eine Abströmung zu verstehen, bei der die Strömung beim Austritt aus dem Laufrad der betreffenden Turbinenstufe zwar noch eine diagonale Strömungsrichtung aufweist, bei der die Strömung dann aber von dem Strömungskanal in die axiale Richtung umgelenkt wird, bevor die Strömung in eine nachfolgende Turbinenstufe gelangt. Weiterhin umfasst die erfindungsgemäß ausgebildete Turbine wenigstens eine axiale Turbinenstufe mit einer axialen Zuströmung und einer axialen Abströmung.

Jede Turbinenstufe umfasst wenigstens ein Laufrad. Üblicherweise umfasst eine Turbinenstufe ein Leitrad und ein dem Leitrad in Strömungsrichtung nachgeordnetes Laufrad.

Die Zu- und Abströmrichtungen können im Rahmen der Erfindung auch jeweils um einen Toleranzwinkel von der radialen bzw. diagonalen und der axialen Richtung abweichen, wobei jedoch die vornehmliche Strömungsrichtung als solche erhalten bleibt.

Die wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe ist als erste Stufe der Turbine angeordnet und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe ist stromab der wenigstens einen radialen oder diagonalen Turbinenstufe als weitere Stufe der Turbine angeordnet. Die wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe ist dabei so ausgebildet, dass sie eine höhere Temperaturbeständigkeit aufweist als die wenigstens eine axiale Turbinenstufe.

- Die erfindungsgemäße Turbine ist vorzugsweise als Hochdruckturbine ausgebildet, die in einer Turbinenanlage unmittelbar stromab einer Brennkammer oder eines Dampferzeugers der Turbinenanlage angeordnet ist. Die erfindungsgemäß ausgebildete Turbine kann aber auch als Mitteldruckturbine oder auch als Niederdruckturbine ausgebildet sein, wobei dann stromauf der Mitteldruckturbine oder der Niederdruckturbine üblicherweise ein Zwischenerhitzer angeordnet ist. Stromab der erfindungsgemäß ausgebildeten Turbine können eine oder mehrere weitere, in herkömmlicher Weise ausgebildete Turbinen angeordnet sein.
- 10 Da die als erste Stufe der Turbine ausgebildete radiale oder diagonale Turbinenstufe eine höhere Temperaturbeständigkeit aufweist als die wenigstens eine axiale Turbinenstufe, kann die maximale Prozesstemperatur, die bei Nennbetrieb der Turbinenanlage am Eintritt in die Turbine vorliegt, höher sein, als dies der Fall sein dürfte, wenn die axiale Turbinenstufe die Eintrittsturbinenstufe bilden würde. Die
- 15 radiale oder diagonale Turbinenstufe der erfindungsgemäß ausgeführten Turbine ist in der Lage, einen hohen Enthalpieumsatz zu bewerkstelligen mit der Folge, dass die Temperatur des Durchströmfluids am Austritt aus der radialen oder diagonalen Turbinenstufe deutlich niedriger ist als am Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe. Mittels nur einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe ist
- 20 es somit möglich, die Temperatur des Durchströmfluids so weit abzusenken, dass stromab der radialen oder diagonalen Turbinenstufe keine Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit der Bauteile der Turbine, insbesondere der Schaufeln, mehr ergriffen werden müssen, um zu gewährleisten, dass eine maximal zulässige Werkstofftemperatur der Bauteile der nachfolgenden Turbinenstufen
- 25 nicht überschritten wird. Eine solche Maßnahme könnte beispielsweise die Verwendung von hochwarmfestem Werkstoff für die betroffenen Bauteile oder eine Kühlung der Bauteile der jeweiligen Turbinenstufe mittels eines Kühlfluids sein. Durch die Anordnung der radialen oder diagonalen Turbinenstufe als erste Stufe der Turbine müssen lediglich für die radiale oder diagonale Turbinenstufe ein
- 30 oder mehrere Maßnahmen ergriffen werden, um hier die Temperaturbeständigkeit zu erhöhen.

Würde die Turbine hingegen gemäß herkömmlicher Ausführung nur axiale Turbinenstufen umfassen, so wäre hier eine Mehrzahl axialer Turbinenstufen erforderlich, um denselben Enthalpieumsatz und somit dieselbe Temperaturabsenkung zu bewirken, wie dies mit der nur einen radialen oder diagonalen Turbinenstufe bewirkt wird. Demzufolge wären auch für diese Mehrzahl axialer Turbinenstufen geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die Temperaturbeständigkeit dieser axialen Turbinenstufen zu erhöhen, um so zu verhindern, dass eine maximal zulässige Werkstofftemperatur überschritten wird. Eine Turbine, die nur axiale Turbinenstufen umfasst, ist somit bei Verwendung von hochwarmfesten Werkstoffen erheblich teurer in der Herstellung. Werden die betroffenen Bauteile mittels eines Kühlfluids gekühlt, so sind einerseits in den Bauteilen Kühlkanäle vorzusehen. Andererseits wird der Wirkungsgrad der Turbine hierdurch verschlechtert.

Speziell bei Dampfturbinen erweist sich eine Ausführung der ersten Turbinenstufe als radiale oder diagonale Turbinenstufe auch aus dem nachfolgenden Grund als vorteilhaft. Die stetige Erhöhung des Prozessdrucks führt zu kleinen Volumenströmen des Durchströmfluids. Bei kleinen Volumenströmen jedoch ist der Wirkungsgrad einer für diesen kleinen Volumenstrom geeigneten radialen oder diagonalen Turbinenstufe vergleichbar der für diesen kleinen Volumenstrom geeigneten axialen Turbinenstufen. In einer Gesamtwirkungsgradbilanz ist die erfindungsgemäß ausgeführte Turbine somit häufig gleich gut oder sogar besser als eine Turbine, die nur axiale Turbinenstufen umfasst.

Bei besonders hohen Eintrittstemperaturen des Durchströmfluids kann es auch zweckmäßig sein, zwei oder eventuell sogar mehr radiale oder diagonale Turbinenstufen am Eintritt in die Turbine in Reihe zu schalten. Mehrere radiale oder diagonale Turbinenstufen führen aber wieder zu einer Erhöhung der Herstellungskosten. Auch wird hierdurch der Strömungspfad konstruktiv aufwändiger, so dass eine Lösung mit nur einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe zu bevorzugen ist. Grundsätzlich sind bei sehr hohen Eintrittstemperaturen radiale Turbinenstufe gegenüber diagonalen Turbinenstufen zu bevorzugen, da radiale Turbinenstufen

eine nochmals höhere Energieumsetzung im Vergleich zu diagonalen Turbinenstufen ermöglichen.

Besonders vorteilhaft umfasst die erfindungsgemäß ausgebildete Turbine genau
5 eine radiale oder diagonale Turbinenstufe und wenigstens eine axiale Turbinenstufe.

Auch wenn im Rahmen der Beschreibung der Erfindung vereinfachend lediglich von der Turbinenstufe als Ganzes gesprochen wird, so sind von hohen Temperaturen des Durchströmfluids primär diejenigen Bauteile der Turbinenstufe betroffen,
10 die unmittelbar dem heißen Durchströmfluid ausgesetzt sind. Insbesondere sind dies die Schaufeln einer Turbinenstufe sowie oftmals auch die Seitenwände des Durchströmkanals, d.h. die Nabe und häufig auch die Gehäusewand. Demgemäß sind Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit primär auch auf diese Bauteile einer Turbinenstufe anzuwenden. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass
15 infolge von Wärmeleitung auch Bauteile, die nicht dem heißen Durchströmfluid ausgesetzt sind, sehr hohe Temperaturen erreichen können und dann auch für diese Bauteile ebenfalls Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit ergriffen werden müssen.

20

Grundsätzlich kann die Erfindung auf Turbinen und Turbinenanlagen im Allgemeinen angewendet werden. Besonders zweckmäßig wird die Erfindung jedoch auf eine Dampfturbine einer Dampfturbinenanlage angewendet. Dampfturbinenanlagen weisen üblicherweise große Abmessungen auf, wodurch bei herkömmlicher
25 Ausführung der Dampfturbine ein erheblicher Bedarf an hochwarmfestem und somit teurem Werkstoff entstünde, da mehrere axiale Turbinenstufen aus diesem Werkstoff hergestellt werden müssten. Andererseits wurden Dampfturbinen in der Vergangenheit in der Regel so ausgelegt und betrieben, dass nur vergleichsweise niedrige maximale Prozesstemperaturen bei gleichzeitig jedoch einem großen Volumenstrom an Durchströmfluid auftraten. Aufgrund des großen Volumenstroms
30 wiederum war der Einsatz einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe oder einer radialen oder diagonalen Turbine nicht sinnvoll. Erst durch die kombinierte Erhö-

5 hung der Prozesstemperatur und des Prozessdrucks und die hieraus resultierende Verkleinerung des Volumenstroms wird bei Dampfturbinen der Einsatz einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe sinnvoll möglich und führt zu einer Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades und/oder zu geringeren Herstellungskosten sowie zu in den Abmessungen kompakteren Dampfturbinenanlagen.

10 Zweckmäßig ist die radiale oder diagonale Turbinenstufe aus einem ersten Werkstoff und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe aus einem zweiten Werkstoff hergestellt. Der erste Werkstoff weist eine höhere Temperaturbeständigkeit auf als der zweite Werkstoff. So kann die radiale oder diagonale Turbinenstufe beispielsweise aus einer hochwarmfesten Nickel-Basis-Legierung hergestellt sein, während die wenigstens eine axiale Turbinenstufe beispielsweise aus einem üblichen und kostengünstigeren Stahlguss oder einem Nickel-Chrom-Stahl mit geringerer Warmfestigkeit hergestellt sein kann. Wie oben bereits ausgeführt wurde, ist
15 hierbei zu beachten, dass jedoch nicht immer alle Bauteile einer Turbinenstufe aus dem hochwarmfesten Werkstoff hergestellt sein müssen. So genügt es oftmals, nur diejenigen Bauteile aus einem hochwarmfesten Werkstoff herzustellen, die dem heißen Durchströmfluid unmittelbar ausgesetzt sind, wie beispielsweise die Schaufeln und die Welle der Turbinenstufe.

20

25 In einer alternativen oder auch ergänzenden Weiterbildung der Erfindung ist die radiale oder diagonale Turbinenstufe zweckmäßig mit einer Beschichtung aus einem hochwarmfesten Werkstoff, beispielsweise einer Nickel-Basis-Legierung, ausgeführt. Hierbei muss aber sichergestellt sein, dass der Basiswerkstoff, der unter der Beschichtung angeordnet ist und eine geringere Warmfestigkeit aufweist, nicht infolge von Wärmeleitung überhitzt wird. Gegebenenfalls kann es hier erforderlich sein, diesen Werkstoff zusätzlich mittels einer Kühlung zu kühlen.

30 Alternativ oder auch ergänzend ist die radiale oder diagonale Turbinenstufe zweckmäßig aus einem keramischen Werkstoff hergestellt oder mit einer Beschichtung aus einem keramischen Werkstoff ausgeführt. Keramische Werkstoffe bieten den Vorteil, dass die Bauteile nicht nur eine höhere Warmfestigkeit aufwei-

sen, sondern dass die keramisch ausgeführten oder beschichteten Bauteile auch wärmeisolierend wirken und somit beispielsweise über die Schaufelfüße ein verminderter Wärmeeintrag in die Welle erfolgt.

- 5 Die wenigstens eine axiale Turbinenstufe kann dann aus einem gewöhnlichen Turbinenwerkstoff ohne Beschichtung hergestellt sein.

In einer alternativen oder auch ergänzenden Weiterbildung der Erfindung ist die radiale oder diagonale Turbinenstufe gekühlt. Die wenigstens eine axiale Turbinenstufe ist hierbei vorzugsweise ungekühlt.

10

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine Stufenbelastung der radialen oder diagonalen Turbinenstufe der Turbine so gewählt, dass in einem Nennbetrieb der Turbine das Durchströmfluid am Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe eine Temperatur aufweist, die höher ist als eine maximal zulässige Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe, und am Austritt der radialen oder diagonalen Turbinenstufe eine Temperatur aufweist, die gleich oder kleiner einer maximal zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe ist. Umgekehrt bedeutet dies, dass die maximale Prozess-
temperatur der Turbinenanlage bis zu einem Maximalwert gesteigert werden kann, bei dem die obige Bedingung gerade noch erfüllt ist. Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit beschränken sich somit auf die radiale oder diagonale Turbinenstufe.

15

20

25 Durch die erfindungsgemäße Anordnung einer oder mehrerer radialer oder diagonalen Turbinenstufen am Turbineneintritt wird somit in kostengünstiger Weise eine Möglichkeit geschaffen, die maximale Prozess-temperatur der Turbinenanlage erheblich zu steigern. In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung stehen der hiermit erzielbaren Erhöhung des Wirkungsgrads der Turbinenanlage nur die vergleichsweise kostengünstigen Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit der radialen oder diagonalen Turbinenstufen gegenüber.

30

Die Turbine ist zweckmäßig so ausgeführt, dass ein mittlerer Austrittsdurchmesser der radialen oder diagonalen Turbinenstufe gleich einem mittleren Eintrittsdurchmesser der auf die radiale oder diagonale Turbinenstufe folgenden axialen Turbinenstufe ist. Hierdurch kann der Strömungskanal zwischen der radialen Turbinenstufe oder diagonalen und der axialen Turbinenstufe gerade ausgebildet sein.

In einer zweckmäßigen Ausführung der Erfindung sind die radiale oder diagonale Turbinenstufe und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe auf einer gemeinsamen Welle angeordnet. Eine solche gemeinsame Anordnung der Turbinenstufen auf einer Welle ist jedoch nur möglich, wenn die Turbinenstufen durchgängig mit gleicher Drehzahl betrieben werden können.

In einer hierzu alternativen Ausführung der Erfindung ist die radiale oder diagonale Turbinenstufe auf einer ersten Welle und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe auf einer zweiten Welle angeordnet, wobei die Wellen über ein Getriebe, vorzugsweise ein Planetengetriebe, miteinander verbunden sind. Zwar ist eine solche Anordnung zweier Wellen im Vergleich zu der Anordnung nur einer Welle aufwändiger; jedoch können so unterschiedliche Drehzahlen der Turbinenstufen realisiert werden.

Weiterhin sind die radiale oder diagonale Turbinenstufe und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe bevorzugt in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.

In einem weiteren Aspekt stellt die Erfindung ein Verfahren zur Auslegung einer Turbine zur Verfügung. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Verfahrensschritte, wenigstens eine axiale Turbinenstufe stromab einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe anzuordnen, und die radiale oder diagonale Turbinenstufe mit einer höheren Temperaturbeständigkeit auszuführen als die wenigstens eine axiale Turbinenstufe. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere zur Auslegung der oben beschriebenen, erfindungsgemäßen Turbine.

- Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird eine Stufenbelastung der radialen oder diagonalen Turbinenstufe der Turbine so gewählt, dass in einem Nennbetrieb der Turbine das Durchströmfluid am Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe eine Temperatur aufweist, die höher ist als eine maximal zulässige Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe, und
- 5 am Austritt der radialen oder diagonalen Turbinenstufe eine Temperatur aufweist, die gleich oder kleiner einer maximal zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe der Turbine ist.
- 10 In einem weiteren Aspekt stellt die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Turbinenanlage zur Verfügung, wobei die Turbinenanlage einen Dampferzeuger und eine stromab des Dampferzeugers angeordnete erfindungsgemäß ausgebildete Turbine umfasst und einem Durchströmfluid in einer Brennkammer oder in einem Dampferzeuger Wärme zugeführt wird. Das Durchströmfluid wird hierdurch
- 15 auf eine Temperatur erhitzt, die über einer maximal zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe der Turbine liegt. Anschließend wird das Durchströmfluid in der radialen oder diagonalen Turbinenstufe der Turbine so weit entspannt, dass die Temperatur des Durchströmfluids am Austritt aus der radialen oder diagonalen Turbinenstufe gleich oder kleiner der Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe der Turbine ist.
- 20

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert, die in den Figuren illustriert sind. Es zeigen:

25

- Figur 1 eine aus dem Stand der Technik bekannte Hochdruckturbine einer Dampfturbinenanlage;
- Figur 2 eine erste erfindungsgemäß ausgeführte Turbine;
- Figur 3 eine zweite erfindungsgemäß ausgeführte Turbine.

30

In den Figuren sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente und Bauteile dargestellt.

Die dargestellten Ausführungsbeispiele sind rein instruktiv zu verstehen und sollen
5 einem besseren Verständnis dienen, jedoch nicht als Einschränkung des Erfindungsgegenstandes verstanden werden.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt eine aus dem Stand der Technik bekannte, als Hochdruckturbine
10 ausgebildete Turbine 10 einer Dampfturbinenanlage. Das Durchströmfluid ist hier Wasserdampf. Der aus einem Dampferzeuger (in Figur 1 nicht dargestellt) kommende Dampf wird der Turbine 10 über einen Frischdampfstutzen 31 radial zugeführt. In dem radialen Zuströmabschnitt des Frischdampfstutzens 31 findet sich hier ein erstes Leitrad 20LE zur Gleichrichtung und/oder zur Vordrallerzeugung
15 der Dampfströmung. Die Dampfströmung wird anschließend in einem Umlenkabschnitt (im Bereich des Strömungspfeils 36) aus der radialen Strömungsrichtung (Richtung des Strömungspfeils 35) in eine axiale Strömungsrichtung (Richtung des Strömungspfeils 37) umgelenkt. Erst nach erfolgter Umlenkung in die axiale Strömungsrichtung, durchströmt die Dampfströmung das Laufrad 20LA der ersten
20 Turbinenstufe sowie im Anschluss hieran die stromab der ersten Turbinenstufe angeordneten, weiteren axialen Turbinenstufen 21 – 28 der Turbine 10. Alle Turbinenstufen 21 – 28 mit Ausnahme der ersten Turbinenstufe 20 (= 20LE + 20LA) sind als rein axiale Turbinenstufen ausgebildet. Die erste Turbinenstufe 20 ist hier als kombinierte radial-axiale Turbinenstufe ausgeführt, wobei das Leitrad
25 20LE in dem radialen Zuströmabschnitt des Frischdampfstutzens 31 und das Laufrad 20LA in dem axial durchströmten Abschnitt der als Hochdruckturbine ausgebildeten Turbine 10 angeordnet ist. Die Energieumsetzung erfolgt somit ausschließlich in dem rein axial durchströmten Abschnitt. Die Höhe der Energieumsetzung ist aufgrund der in axial durchströmten Laufrädern maximal realisierbaren Strömungsumlenkung in gleichem Maße wie auch bei axialen Turbinen-
30 stufen begrenzt.

Weist der Dampf, der der Dampfturbine zugeführt wird, nun eine hohe oder sehr hohe Eintrittstemperatur auf, die über der zulässigen Erweichungstemperatur des für die Beschaukelung der Laufräder und Leiträder üblicherweise verwendeten Werkstoffs, beispielsweise Stahlguss, liegt, so müssen wenigstens die den Strömungskanal bildenden und/oder die in dem Strömungskanal angeordneten Bauteile derjenigen Turbinenstufen der Turbine, in deren Bereich der Dampf eine Temperatur über der Erweichungstemperatur aufweist, entweder aus einem hochwarmfesten Werkstoff hergestellt oder in geeigneter Weise gekühlt werden. In dem in Figur 1 dargestellten Beispiel sind hiervon die ersten drei Turbinenstufen 20, 21 und 22 betroffen. Hier sind sowohl die Schaufeln der ersten drei Turbinenstufen als auch die Kanalseitenwände des Strömungskanals aus einem hochwarmfesten Werkstoff hergestellt. Mit 40 ist die Heißzonengrenze markiert, stromauf der Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit ergriffen werden müssen. In vielen Fällen ist aufgrund von Wärmeleitung in diesem Bereich auch die Welle aus einem hochwarmfesten Werkstoff herzustellen. Im Nennbetrieb der Turbine 10 weist der Dampf erst stromab der dritten Turbinenstufe 22 eine Temperatur auf, die unter der Erweichungstemperatur des üblicherweise für Turbinenbauteile verwendeten Werkstoffs liegt. Durch die Verwendung von hochwarmfestem Werkstoff für die drei ersten Turbinenstufen 20, 21 und 22 verteuern sich die Herstellungskosten für eine solche Dampfturbine erheblich.

Hier setzt die Erfindung an. Die Figuren 2 und 3 zeigen erfindungsgemäß ausgeführte, als Dampfturbinen ausgebildete Turbinen 100. In beiden Ausführungsbeispielen umfassen die hier dargestellten Turbinen jeweils genau eine radiale Turbinenstufe 120 mit radialer Zuströmung (Richtung des Strömungspfeils 135) und axialer Abströmung (Richtung des Strömungspfeils 137) sowie eine Vielzahl axialer Turbinenstufen 121 – 125 mit jeweils axialer Zuströmung und axialer Abströmung. Die als erste Stufe der Turbine ausgebildete radiale Turbinenstufe 120 schließt sich unmittelbar an den radial verlaufenden Teil eines Frischdampfstrutzens 131 an. Die axialen Turbinenstufen 121 – 125 sind in beiden Ausführungsbeispielen unmittelbar stromab der radialen Turbinenstufe 120 angeordnet.

Um eine Beschickung mit sehr heißem Dampf zu ermöglichen, sind die in den Figuren 2 und 3 dargestellten radialen Turbinenstufen 120 jeweils mit einer höheren Temperaturbeständigkeit ausgeführt als die axialen Turbinenstufen 121 - 125.

- 5 Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass die radiale Turbinenstufe 120 jeweils aus einer hochwarmfesten Nickel-Basis-Legierung oder aus einem keramischen Werkstoff hergestellt ist, wohingegen die axialen Turbinenstufen 121 – 125 jeweils beispielsweise aus einem üblichen Stahlguss oder einem Nickel-Chrom-Stahl hergestellt sind. Alternativ zur Verwendung eines hochwarmfesten Werk-
- 10 stoffs oder auch ergänzend hierzu könnten speziell die Schaufeln der radialen Turbinenstufe 120 auch entweder mit einer wärmeisolierenden Beschichtung oder mit Kühlung ausgeführt sein.

- Die in den Figuren 2 und 3 dargestellten radialen Turbinenstufen 120 ersetzen so-
- 15 mit geometrisch jeweils im wesentlichen die radial-axiale Turbinenstufe 20 aus Figur 1. Bei der Durchströmung der radialen Turbinenstufen 120 gemäß den Figuren 2 und 3 wird jedoch die Temperatur der Dampfströmung soweit abgesenkt, dass die nachfolgenden axialen Turbinenstufen 121 – 125 aus herkömmlichem Turbinenwerkstoff gefertigt sein können. Da radiale und auch diagonale Turbinen-
- 20 stufen 120 wesentlich höher belastet werden können und einen wesentlich höheren Enthalpieumsatz bewerkstelligen können als axiale Turbinenstufen, ist in den hier dargestellten Ausführungsbeispielen der Erfindung jeweils nur eine radiale Turbinenstufe erforderlich, um die Temperatur hinreichend unter die Erweichungs-
- 25 temperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufen 121 – 125 abzusenken. In der aus dem Stand der Technik bekannten Ausführung gemäß Figur 1 hingegen waren für eine hinreichende Temperaturabsenkung drei axiale Turbinenstufen 20, 21 und 22 erforderlich. Bei gleichen Bedingungen des Durchströmfluids am Eintritt in die Turbine müssen bei erfindungsgemäßer Ausführung der Turbine, wie in den Figuren 2 und 3 dargestellt, demzufolge nur die Bauteile der jeweiligen radialen
- 30 Turbinenstufe 120 eine hohe Temperaturbeständigkeit aufweisen. Dies betrifft somit erheblich weniger Bauteile, als dies bei herkömmlich ausgeführten Turbinen der Fall ist.

Da zur Erzielung hoher Wirkungsgrade neben der Prozesstemperatur auch der Prozessdruck erhöht wird, ergeben sich nur vergleichsweise geringe Volumenströme des Durchströmfluids am Eintritt in die Turbinen. Bei kleinen Volumenströmen aber weisen radiale oder diagonale Turbinenstufen einen ähnlichen Wirkungsgrad auf wie axiale Turbinenstufen. Daher sind die in den Figuren 2 und 3 dargestellten Turbinen auch in ihren Gesamtwirkungsgraden zu der Turbine aus Figur 1 vergleichbar bei jedoch deutlich geringeren Herstellungskosten und kompakteren Abmessungen.

Im Folgenden wird das Verfahren zur Auslegung einer Turbine gemäß der Erfindung anhand der in den Figuren 2 und 3 dargestellten Turbinen 100 erläutert. In beiden Beispielen wird von typischen geometrischen und sonstigen Randbedingungen für in Dampfturbinenanlagen verwendeten Hochdruckturbinen ausgegangen, d.h. einem Wellendurchmesser von etwa 880 mm und einer Nenndrehzahl der Turbinenanlage von 50 Hz. Zur Auslegung des Laufrads der radialen Turbinenstufe 120 wird das aus dem Stand der Technik bekannte, sogenannte "Cordier-Diagramm" (siehe bspw. Dubbel, "Taschenbuch für den Maschinenbau", 18. Auflage, R22) verwendet, in dem für einstufige Turbinenmaschinen eine Korrelation zwischen einer Durchmesser-Kenngröße δ_M in Funktion der spezifischen Drehzahl σ_M graphisch wiedergegeben ist, wobei:

$$\delta_M = |\psi_{yM}|^{1/4} / |\varphi_M|^{1/2} \quad \text{und} \quad \sigma_M = |\varphi_M|^{1/2} / |\psi_{yM}|^{3/4}$$

$$\text{mit } \varphi_M = c_m / u_m \quad \text{und} \quad \psi_{yM} = \Delta h / (u_m^2 / 2)$$

Hierdurch ist eine akzeptable Effizienz der Turbinenstufe mit einem isentropen Wirkungsgrad von etwa 90% gewährleistet.

In beiden Ausführungsbeispielen wird davon ausgegangen, dass der Eintrittsdruck bei Nennbetrieb der Turbine am Eintritt in die Turbine 300 bar und der Dampf-massendurchsatz etwa 400 kg/s beträgt. Dies stellen typische Werte für moderne Dampfturbinen dar.

Soll nun die Turbineneintrittstemperatur 620° C betragen - was ein typischer Wert für eine modern ausgelegte, superkritische Dampfturbine ist -, so ergeben sich unter Zuhilfenahme des Cordier-Diagramms die nachfolgend aufgeführten Werte, wenn am Austritt aus der radialen Turbinenstufe eine Austrittstemperatur von 565° C und weniger gegeben sein soll:

$$\varphi_M = 0.30; \psi_{yM} = 6.50 \Rightarrow \delta_M \approx 2.9; \sigma_M \approx 0.14$$

Bei einer Temperatur von 565°C und weniger müssen für die Bauteile stromab der radialen Turbinenstufe keine Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit ergriffen werden, da dieser Temperaturwert unterhalb der Erweichungstemperatur des für die axialen Turbinenstufen üblicherweise verwendeten Werkstoffs liegt.

Die so ausgelegte radiale Turbinenstufe 120 erzeugt einen Druckabfall des Dampfes von 300 bar am Eintritt in die radiale Turbinenstufe auf 217 bar am Austritt aus der radialen Turbinenstufe, d.h. das Druckverhältnis liegt bei etwa 1.4. Die Temperatur am Austritt aus der radialen Turbinenstufe liegt bei etwa 560° C. Die Drehzahl der radialen Turbinenstufe liegt bei 50 Hz, bei einem mittleren Durchmesser von $D_M \approx 1120$ mm und einer Schaufelbreite von 23 mm am Eintritt und 41 mm am Austritt.

Das stromab der radialen Turbinenstufe 120 angeordnete Leitrad der ersten axialen Turbinenstufe 121 kann dann mit einer typischen axialen Zuströmung und einer Schaufelhöhe von etwa 60 mm bei einem angenommenen Durchflusskoeffizienten von etwa 0.24 arbeiten. Das Leitrad der ersten axialen Turbinenstufe 121 weist hierzu einen mittleren Eintrittsdurchmesser auf, der gleich dem mittleren Austrittsdurchmesser des Laufrads der radialen Turbinenstufe 120 ist. Somit kann ein gerader Durchströmungskanal im Bereich des Übergangs von der radialen Turbinenstufe 120 auf die axiale Turbinenstufe 121 realisiert werden.

Wie an dem vorstehenden Ausführungsbeispiel verdeutlicht wurde, ist es möglich, eine radiale oder diagonale Turbinenstufe so auszulegen, dass diese bei einem

typischen Nennbetriebszustand einer Dampfturbine, bei dem die Dampfturbine mit Dampf bei hoher oder sehr hoher Eintrittstemperatur beschickt wird, mit einem guten Wirkungsgrad arbeitet. Die so ausgelegte Turbinenstufe sorgt dann im Betrieb dafür, dass die stromab angeordneten axialen Turbinenstufen nur gewöhnlichen, weitaus niedrigeren Temperaturbelastungen ausgesetzt sind, auch wenn die Eintrittstemperatur am Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe deutlich über einer zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufen liegt.

- 10 Zusätzlich kann bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 die radiale Turbinenstufe 120 bei gleicher Drehzahl betrieben werden wie die axialen Turbinenstufen 121 - 125. Hierdurch ist es möglich, die radiale Turbinenstufe 120 und die axialen Turbinenstufen 121 - 125, wie in Figur 2 dargestellt, auf einer gemeinsamen Welle 130 anzuordnen. Auch kann hier ein durchgehendes, gemeinsames Gehäuse 132 zum Einsatz kommen.

In dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel wird von einer Eintrittstemperatur in die als Dampfturbine ausgebildete Turbine 100 von 700° C ausgegangen. Dies stellt einen typischen Wert für ultra-superkritische Turbinen dar. Wiederum ist am Austritt aus der radialen Turbinenstufe 120 eine Temperatur von 565° C oder weniger gefordert. Aus diesen Anforderungen ergeben sich unter Zuhilfenahme des Cordier-Diagramms folgende Kenngrößen:

$$\varphi_M = 0.30; \psi_{yM} = 4.00 \Rightarrow \delta_M \approx 2.6; \sigma_M \approx 0.19$$

Die so ausgelegte radiale Turbinenstufe 120 erzeugt einen Druckabfall der Dampfströmung von 300 bar am Eintritt in die radiale Turbinenstufe auf 145 bar am Austritt aus der radialen Turbinenstufe, d.h. das Druckverhältnis liegt bei etwa 2.1. Die Temperatur am Austritt aus der radialen Turbinenstufe 120 liegt bei etwa 565° C. Die Drehzahl der radialen Turbinenstufe 120 beträgt 100 Hz, bei einem mittleren Durchmesser von $D_M \approx 1120$ mm und einer Schaufelbreite von 13 mm am Eintritt und 32 mm am Austritt.

- Das stromab der radialen Turbinenstufe 120 angeordnete Leitrad der ersten axialen Turbinenstufe 121 kann dann mit einer typischen axialen Zuströmung und einer Schaufelhöhe von etwa 100 mm bei einem angenommenen Durchflusskoeffizienten von etwa 0.22 arbeiten. Das Leitrad der ersten axialen Turbinenstufe 121 weist einen mittleren Eintrittsdurchmesser auf, der gleich dem mittleren Austrittsdurchmesser des Laufrads der radialen Turbinenstufe 120 ist. Somit kann im Bereich des Übergangs von der radialen Turbinenstufe 120 auf die erste axiale Turbinenstufe 121 ein gerade verlaufender Durchströmungskanal realisiert werden.
- 10 Allerdings beträgt die Drehzahl der axialen Turbinenstufen 121 – 125 hier nur 50 Hz, während die Drehzahl der radialen Turbinenstufe 120 100 Hz beträgt.

- Dieses Ausführungsbeispiel zeigt, dass es auch im Falle einer sehr hohen Eintrittstemperatur am Eintritt in die Turbine ausgehend von einem typischen Nennbetriebszustand einer Dampfturbine möglich ist, als Eintrittsstufe der Dampfturbine eine radiale oder diagonale Turbinenstufe vorzusehen. Die so ausgelegte und mit gutem Wirkungsgrad arbeitende radiale Turbinenstufe 120 sorgt im Betrieb dann dafür, dass die stromab angeordneten axialen Turbinenstufen 121 – 125 nur deutlich niedrigen Temperaturbelastungen ausgesetzt sind, auch wenn die Eintrittstemperatur am Eintritt in die radiale Turbinenstufe 120 sehr deutlich über einer zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufen 121 – 125 liegt. Die Heißzonengrenze 140, stromauf der Maßnahmen zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit ergriffen werden müssen, verläuft hier zwischen der radialen Turbinenstufe 120 und der ersten axialen Turbinenstufe 121.

- 25 Jedoch sind die radiale Turbinenstufe 120 und die axialen Turbinenstufen 121 – 125 in diesem Ausführungsbeispiel bei unterschiedlicher Drehzahl zu betreiben, so dass es hier nicht möglich ist, die radiale Turbinenstufe 120 und die axialen Turbinenstufen 121 – 125 auf einer gemeinsamen Welle anzuordnen. Die hohe Drehzahl der radialen Turbinenstufe 120 resultiert aus der Forderung, eine hohe Temperaturabsenkung bzw. einen hohen Enthalpieumsatz in der radialen Turbinenstufe zu erzielen. Eine hohe Temperaturabsenkung bzw. ein hoher Enthalpie-

umsatz ist nur möglich, wenn entweder die radiale Turbinenstufe schnell drehend ausgeführt ist oder alternativ die radiale Turbinenstufe einen sehr großen Durchmesser aufweist oder alternativ die Beschau felung der Turbinenstufe aerodynamisch sehr hoch belastet ist. Die beiden letzten Alternativen sind hier ungeeignet,
5 da ein sehr großer Durchmesser sehr kleine Schaufelbreiten bedingen würde und eine sehr hohe aerodynamische Belastung der Schaufeln einen schlechten Stufenwirkungsgrad zur Folge hätte.

Daher ist es hier zweckmäßig, die radiale Turbinenstufe 120 schneller drehen zu
10 lassen als die axialen Turbinenstufen 121 -125. Die radiale Turbinenstufe 120 ist daher auf einer Teilwelle 130-I und die axialen Turbinenstufen 121 –125 auf einer anderen Teilwelle 130-II angeordnet. Hierbei ist es möglich, den ersten Turbinenabschnitt, der die radiale Turbinenstufe 120 umfasst, sowie auch den zweiten Turbinenabschnitt, der die axialen Turbinenstufen 121 – 125 umfasst, zwar auf ge-
15 trennten Wellen, aber jedoch in einem gemeinsamen Gehäuse 132 oder auch in zwei voneinander getrennten Gehäusen unterzubringen.

Die beiden in Figur 3 dargestellten Teilwellen 130-I, 130-II sind über ein in Figur 3 nicht dargestelltes Getriebe miteinander verbunden. Die Wellen können aber auch
20 über ein Planetengetriebe miteinander verbunden sein, wobei beispielsweise die Teilwelle 130-I, auf der die radiale Turbinenstufe 120 angeordnet ist, die Teilwelle 130-II, auf der die axialen Turbinenstufen 121 –125 angeordnet sind, in dem Planetengetriebe umschließt.

25 Die in den Figuren 2 und 3 dargestellten Turbinen 100 können als Hochdruckturbinen von Dampfturbinenanlagen angeordnet sein, wobei dann stromauf des Frischluftstutzens 131 ein Dampferzeuger angeordnet ist.

Die in den Figuren 2 und 3 dargestellten Dampfturbinen können aber auch als Mitteldruckturbinen von Dampfturbinenanlagen angeordnet sein, wobei dann strom-
30 auf des Frischluftstutzens in der Regel ein Zwischenüberhitzer angeordnet ist.

Die im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 beschriebenen Turbinen und Turbinenanlagen sowie die beschriebenen Verfahren stellen beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung dar, die von einem Fachmann durchaus in vielfältiger Weise ohne Weiteres modifiziert werden können, ohne den Erfindungsgedanken
 5 hierdurch zu verlassen.

Bezugszeichenliste

	10	Turbine
	20LE	Leitrad der radialen Turbinenstufe
10	20LA	Laufgrad der radialen Turbinenstufe
	21 – 28	axiale Turbinenstufen
	30	Welle
	31	Frischdampfstutzen
	32	Gehäuse
15	35, 36, 37	Strömungsrichtung des Durchströmfluids
	40	Heißzonengrenze
	100	Turbine
	120	radiale oder diagonale Turbinenstufe
20	121 – 125	axiale Turbinenstufen
	130	gemeinsame Welle
	130-I, 130-II	Teilwellen
	131	Frischdampfstutzen
	132	Gehäuse
25	135, 136, 137	Strömungsrichtung des Durchströmfluids
	140	Heißzonengrenze

Patentansprüche

1. Turbine (100) einer Turbinenanlage, insbesondere Dampfturbine einer Dampfturbinenanlage, mit
5 wenigstens einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe (120) mit radialer oder diagonaler Zuströmung und axialer Abströmung sowie mit wenigstens einer axialen Turbinenstufe (121 – 125) mit axialer Zuströmung und axialer Abströmung,
wobei jede Turbinenstufe wenigstens ein Laufrad umfasst,
10 und die wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) als erste Stufe der Turbine angeordnet ist und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) stromab der radialen oder diagonalen Turbinenstufe (120) als weitere Stufe der Turbine angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 die wenigstens eine radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) eine höhere Temperaturbeständigkeit aufweist als die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125).
2. Turbine gemäß Anspruch 1, wobei die Turbine genau eine radiale oder
20 diagonale Turbinenstufe (120) sowie wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) umfasst.
3. Turbine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) aus einem ersten Werkstoff und die
25 wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) aus einem zweiten Werkstoff hergestellt ist, wobei der erste Werkstoff eine höhere Temperaturbeständigkeit aufweist als der zweite Werkstoff.
4. Turbine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) mit einer Beschichtung aus einem tem-
30 peraturbeständigen Werkstoff beschichtet ist.

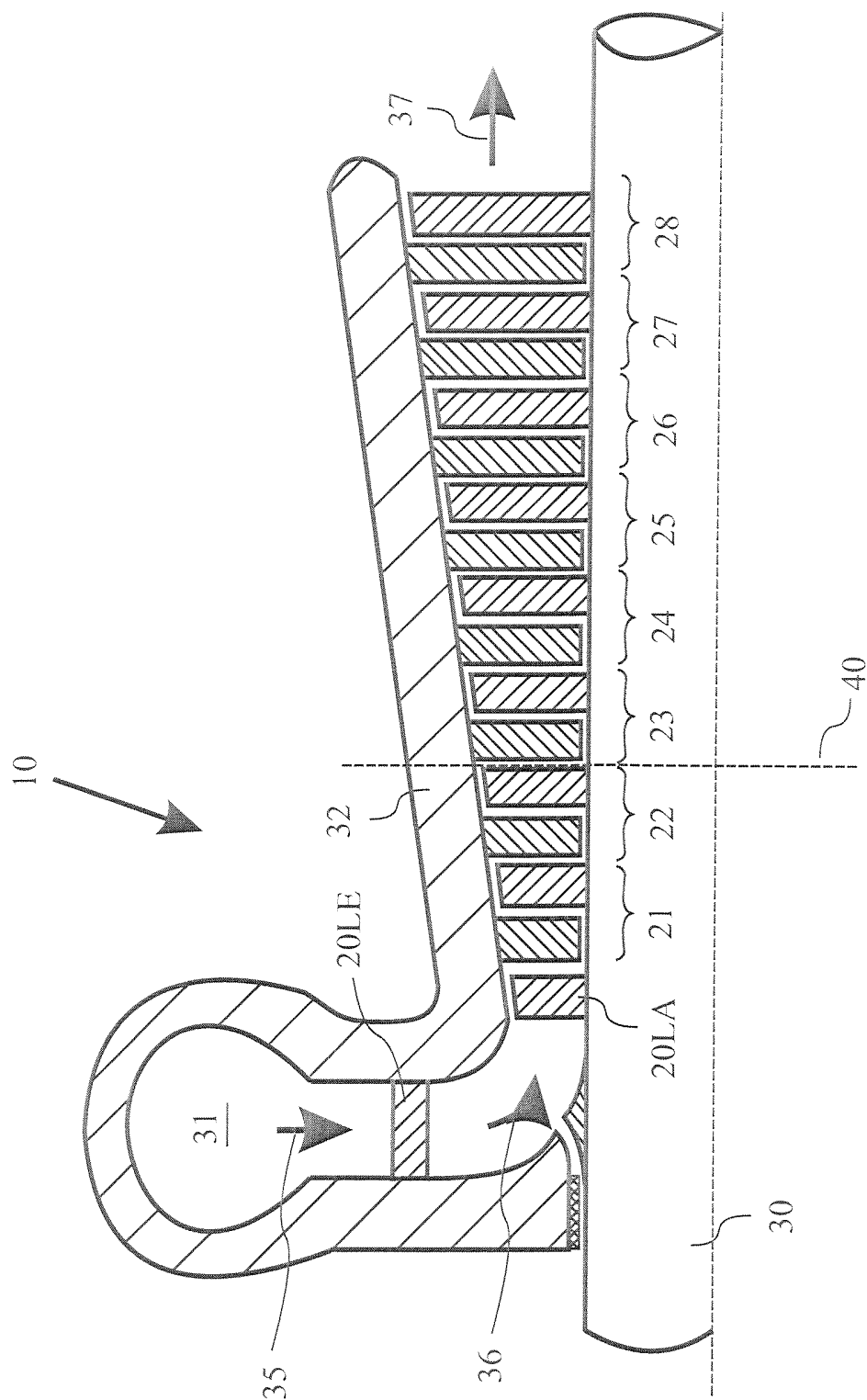
5. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) aus einer hochwarmfesten Nickel-Basis-Legierung hergestellt ist oder mit einer Beschichtung aus einer hochwarmfesten Nickel-Basis-Legierung beschichtet ist.
5
6. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) aus einem keramischen Werkstoff hergestellt ist oder mit einer Beschichtung aus einem keramischen Werkstoff beschichtet ist.
10
7. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) aus einem gewöhnlichen Turbinenwerkstoff ohne Beschichtung hergestellt ist.
- 15 8. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) gekühlt ist und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) vorzugsweise ungekühlt ist.
- 20 9. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Stufenbelastung der radialen oder diagonalen Turbinenstufe (120) der Turbine so gewählt ist, dass in einem Nennbetrieb der Turbine (100) ein Durchströmfluid am Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) eine Temperatur aufweist, die höher ist als eine maximal zulässige Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe, und das Durchströmfluid am Austritt aus der radialen oder diagonalen Turbinenstufe (120) eine
25 Temperatur aufweist, die gleich oder kleiner einer maximal zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe ist.
- 30 10. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Temperaturabfall des Durchströmfluids zwischen dem Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe und dem Austritt aus der radialen oder diagonalen

Turbinenstufe wenigstens 50° C, vorzugsweise mehr als 60°C und insbesondere mehr als 120° C beträgt.

11. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein mittlerer Austrittsdurchmesser der radialen oder diagonalen Turbinenstufe gleich einem mittleren Eintrittsdurchmesser der der radialen oder diagonalen Turbinenstufe nachfolgend angeordneten axialen Turbinenstufe ist.
12. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) auf einer gemeinsamen Welle (130) angeordnet sind.
13. Turbine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) auf einer ersten Welle (130-I) und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) auf einer zweiten Welle (130-II) angeordnet sind und die Wellen über ein Getriebe, vorzugsweise ein Planetengetriebe, miteinander verbunden sind.
14. Turbine gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die radiale oder diagonale Turbinenstufe (120) und die wenigstens eine axiale Turbinenstufe (121 – 125) in einem gemeinsamen Gehäuse (132) angeordnet sind.
15. Turbinenanlage, insbesondere Dampfturbinenanlage, mit einer Brennkammer oder einem Dampferzeuger und mit einer Turbine gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Turbine unmittelbar stromab der Brennkammer oder dem Dampferzeuger angeordnet ist.
16. Verfahren zur Auslegung einer Turbine, insbesondere zur Auslegung der Turbine gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend, wenigstens eine axiale Turbinenstufe stromab einer radialen oder diagonalen Turbinenstufe anzuordnen, und

die radiale oder diagonale Turbinenstufe mit einer höheren Temperaturbeständigkeit auszuführen als die wenigstens eine axiale Turbinenstufe.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, wobei eine Stufenbelastung der radialen oder diagonalen Turbinenstufe der Turbine so gewählt wird, dass in einem Nennbetrieb der Turbine ein Durchströmfluid am Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe eine Temperatur aufweist, die höher ist als eine maximal zulässige Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe, und das Durchströmfluid am Austritt aus der radialen oder diagonalen Turbinenstufe eine Temperatur aufweist, die gleich oder kleiner einer maximal zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe der Turbine ist.
18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 16 oder 17, wobei ein Temperaturabfall des Durchströmfluids zwischen dem Eintritt in die radiale oder diagonale Turbinenstufe und dem Austritt aus der radialen oder diagonalen Turbinenstufe so gewählt wird, dass der Temperaturabfall wenigstens 50° C, vorzugsweise mehr als 60°C und insbesondere mehr als 120° C beträgt.
19. Verfahren zum Betreiben einer Turbinenanlage gemäß Anspruch 15, wobei einem Durchströmfluid in der Brennkammer oder in dem Dampferzeuger Wärme zugeführt wird und das Durchströmfluid hierdurch auf eine Temperatur erhitzt wird, die über einer maximal zulässigen Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe der Turbine liegt, und anschließend das Durchströmfluid in der radialen oder diagonalen Turbinenstufe der Turbine unter Abgabe einer technischen Arbeit so weit entspannt wird, dass die Temperatur des Durchströmfluids am Austritt aus der radialen oder diagonalen Turbinenstufe gleich oder kleiner der Erweichungstemperatur des Werkstoffs der axialen Turbinenstufe der Turbine ist.



Fi. 10

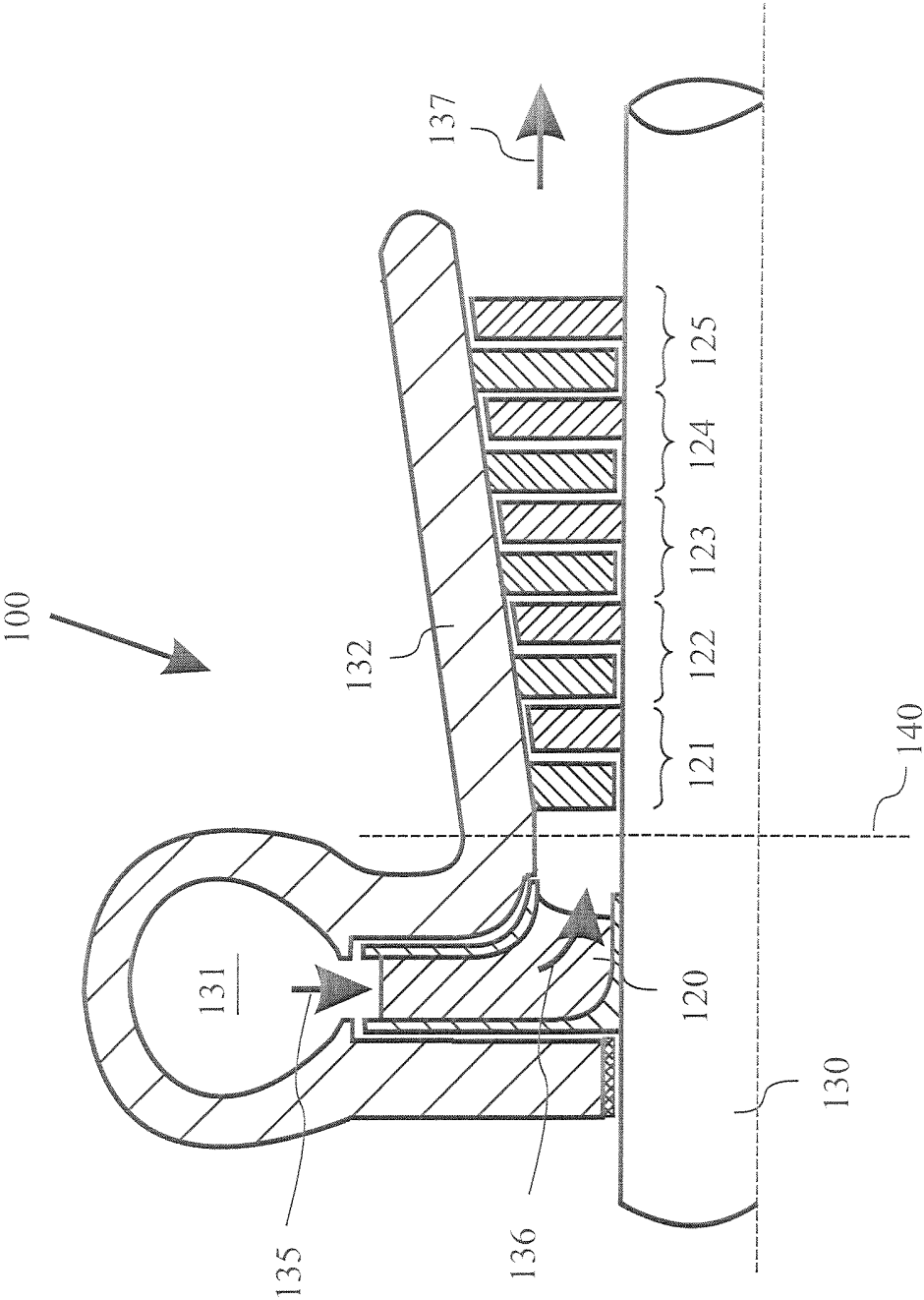


Fig. 2

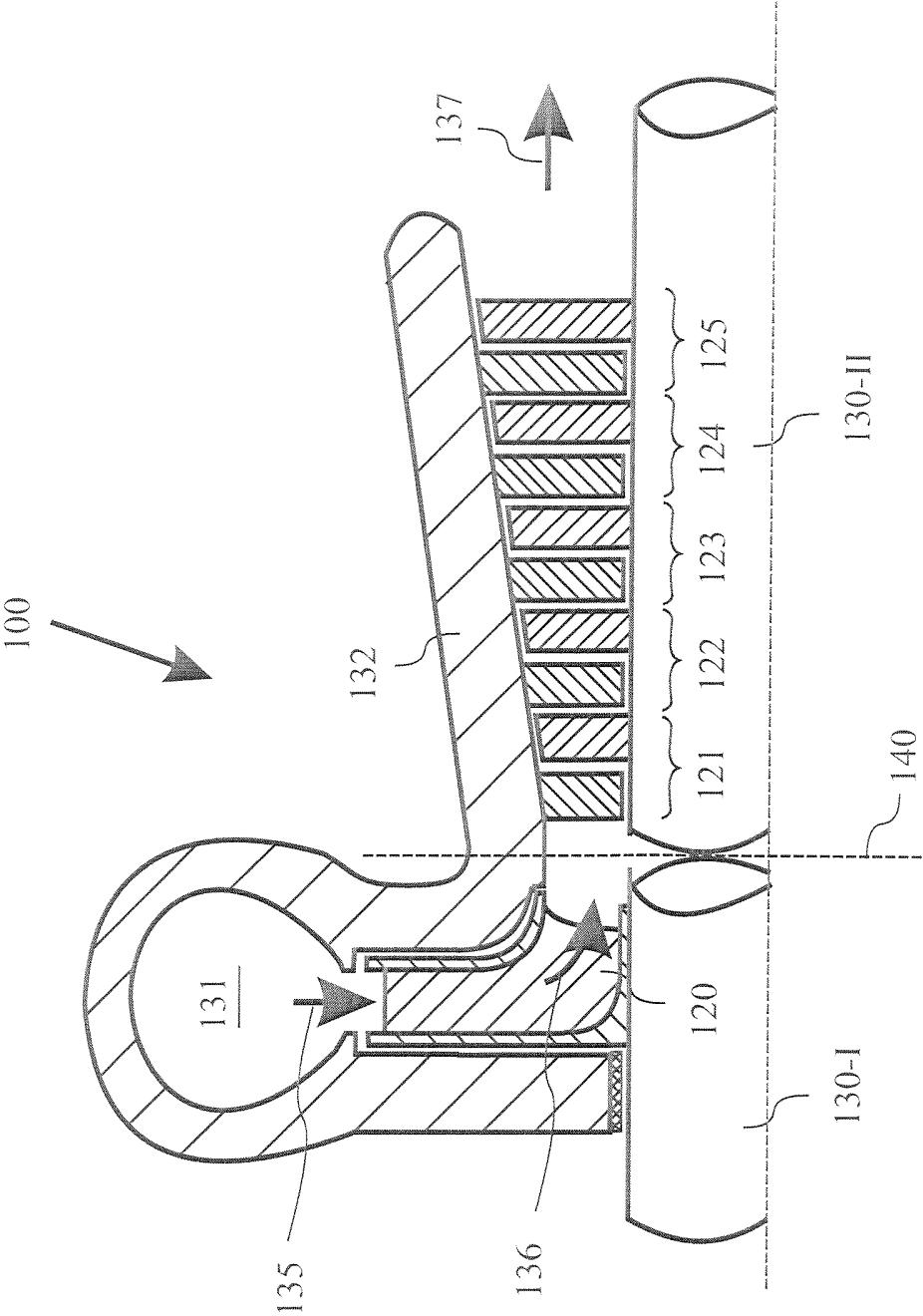


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/055587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F01D1/00 F01D1/08 F01D5/28

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F01D

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

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

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 23 45 637 A1 (KONINKLIJKE MACHINEFABRIEK STORK B.V) 27 March 1975 (1975-03-27) page 4, line 16 - page 7, line 4 figure 2	1-8, 11, 12, 14-19
Y	US 6 182 439 B1 (SIGA MASAO ET AL) 6 February 2001 (2001-02-06) column 35, line 11 - line 57	1-7, 11-19
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 14, 22 December 1999 (1999-12-22) & JP 11 257007 A (HITACHI LTD), 21 September 1999 (1999-09-21) abstract; figures 2-4	1, 8
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 January 2006

Date of mailing of the international search report

18/01/2006

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Steinhauser, U

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2005/055587

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 010 281 A (CERVENKA ADOLPH J ET AL) 28 November 1961 (1961-11-28) figure 1 -----	1,13
A	DE 10 30 358 B (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 22 May 1958 (1958-05-22) column 7, line 3 - line 16 -----	1,16
A	US 2002/189229 A1 (HIDAKA KISHIO ET AL) 19 December 2002 (2002-12-19) paragraphs '0009! - '0011!, '0027!, '0123!, '0131!, '0132!, '0148!, '0150! table 1 -----	3-7, 16-19
A	US 4 571 935 A (RICE ET AL) 25 February 1986 (1986-02-25) column 21, line 44 - line 68 -----	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/055587

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 2345637	A1	27-03-1975	DE 2345636 A1	03-04-1975
			NL 7203334 A	18-09-1973
US 6182439	B1	06-02-2001	NONE	
JP 11257007	A	21-09-1999	NONE	
US 3010281	A	28-11-1961	NONE	
DE 1030358	B	22-05-1958	NONE	
US 2002189229	A1	19-12-2002	NONE	
US 4571935	A	25-02-1986	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

F01D1/00

F01D1/08

F01D5/28

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F01D

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

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

EPO-Internal, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 23 45 637 A1 (KONINKLIJKE MACHINEFABRIEK STORK B.V) 27. März 1975 (1975-03-27) Seite 4, Zeile 16 - Seite 7, Zeile 4 Abbildung 2	1-8, 11, 12, 14-19
Y	US 6 182 439 B1 (SIGA MASAO ET AL) 6. Februar 2001 (2001-02-06) Spalte 35, Zeile 11 - Zeile 57	1-7, 11-19
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1999, Nr. 14, 22. Dezember 1999 (1999-12-22) & JP 11 257007 A (HITACHI LTD), 21. September 1999 (1999-09-21) Zusammenfassung; Abbildungen 2-4	1, 8
	----- -/-- -----	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

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

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

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

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

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

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

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Januar 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/01/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Steinhauser, U

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 3 010 281 A (CERVENKA ADOLPH J ET AL) 28. November 1961 (1961-11-28) Abbildung 1	1,13
A	DE 10 30 358 B (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 22. Mai 1958 (1958-05-22) Spalte 7, Zeile 3 - Zeile 16	1,16
A	US 2002/189229 A1 (HIDAKA KISHIO ET AL) 19. Dezember 2002 (2002-12-19) Absätze '0009! - '0011!, '0027!, '0123!, '0131!, '0132!, '0148!, '0150! Tabelle 1	3-7, 16-19
A	US 4 571 935 A (RICE ET AL) 25. Februar 1986 (1986-02-25) Spalte 21, Zeile 44 - Zeile 68	1-19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/055587

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
DE 2345637	A1	27-03-1975	DE	2345636 A1	03-04-1975			
			NL	7203334 A	18-09-1973			
US 6182439	B1	06-02-2001	KEINE					
JP 11257007	A	21-09-1999	KEINE					
US 3010281	A	28-11-1961	KEINE					
DE 1030358	B	22-05-1958	KEINE					
US 2002189229	A1	19-12-2002	KEINE					
US 4571935	A	25-02-1986	KEINE					