

(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. September 2009 (11.09.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/109446 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*F02C 9/54* (2006.01) *F02C 9/28* (2006.01)  
*F02C 9/22* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/051573

(22) Internationales Anmeldedatum:

11. Februar 2009 (11.02.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

00321/08 5. März 2008 (05.03.2008) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALSTOM Technology Ltd** [CH/CH]; Brown Boveri Str. 7, 5400 Baden (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HOFFMANN, Jürgen** [DE/CH]; Huebacherstrasse 17, 5417 Untersiggenthal (CH). **DAXER, Johann Josef** [AT/CH]; Sonnenstrasse 11, 5415 Nussbaumen (CH). **WIPPEL, Bernhard** [DE/CH]; Landstrasse 49, 5430 Wettingen (CH). **LIEDT-**

**KE, Klaus-Dieter** [DE/CH]; Homrig 11B, 5304 Endingen (CH).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **ALSTOM Technology Ltd**; CHTI Intellectual Property, Brown Boveri Str. 7/664/2, 5401 Baden (CH).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR REGULATING A GAS TURBINE IN A POWER PLANT AND POWER PLANT TO CARRY OUT THE METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG EINER GASTURBINE IN EINEM KRAFTWERK UND KRAFTWERK ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

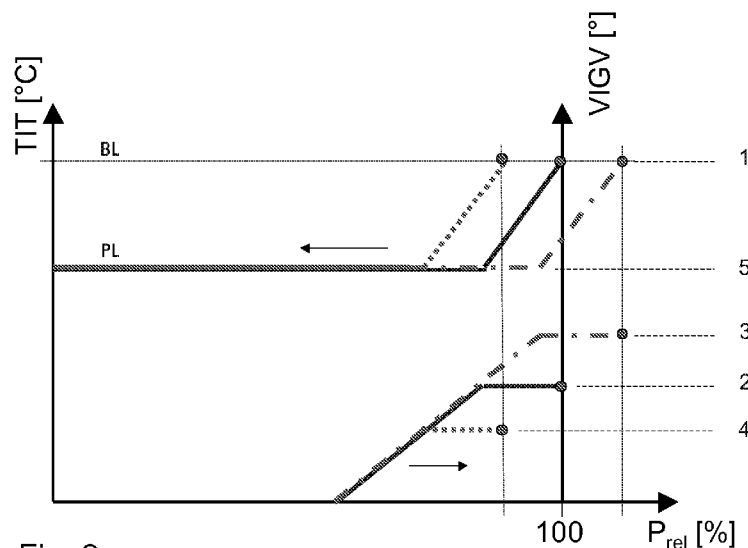


Fig. 2

(57) Abstract: Method for operating a gas turbine in a power plant in which boundary limits on the operating concept are adjusted by a power plant operator during operation for optimization of power plant operation relative to efficiency, lifetime consumption, emissions and power output to the grid. In particular, temperature limits and limits on compressor guide vane position are changed based on optimization goals. In addition to the method, a gas turbine power plant for executing the method is an object of the invention.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/109446 A1



LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,  
SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

---

Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine in einem Kraftwerk in dem zur Optimierung des Kraftwerksbetriebes in Bezug auf Wirkungsgrad, Lebensdauerverbrauch, Emissionen sowie Leistungsbereitstellung an das Netz begrenzende Limite des Betriebskonzeptes während des Betriebes durch einen Kraftwerksoperator angepasst werden. Insbesondere werden Temperaturlimite und Limite der Verdichterleitschaufelposition in Abhängigkeit der Optimierungsziele verändert. Neben dem Verfahren ist ein Gasturbinenkraftwerk zur Ausführung des Verfahrens Gegenstand der Erfindung.

**VERFAHREN ZUR REGELUNG EINER GASTURBINE IN EINEM  
KRAFTWERK UND KRAFTWERK ZUR DURCHFÜHRUNG DES  
VERFAHRENS**

5

**Technisches Gebiet**

10 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Kraftwerkstechnik und betrifft ein Verfahren zum optimierten Betrieb einer Gasturbine in einem Kraftwerk in Bezug auf Leistung, Wirkungsgrad, Emissionen und/ oder Lebensdauerverbrauch. Im Rahmen der Erfindung liegt auch ein Kraftwerk zur Durchführung des Verfahrens.

15

**Stand der Technik**

20 Ein Verfahren zur Regelung einer Gasturbine, das dem Betreiber oder Operator den sicheren Betrieb eines Gasturbinenkraftwerkes erlaubt, wird gewöhnlich als Betriebskonzept oder Fahrkonzept bezeichnet. Die Erfindung bezieht sich auf die Optimierung des Lastbetriebs, d.h. des Teils eines Betriebskonzeptes, der den Betrieb, an dem die Gasturbine mit einem elektrischen Netz verbunden ist und an dies Leistung abgibt, regelt. In dem Betriebskonzept wird festgelegt, wie  
25 verschiedene Parameter der Gasturbine zum sicheren Betrieb der Gasturbine geregelt werden müssen. Das Betriebskonzept wird durch den Regler umgesetzt. Die Leistung einer Gasturbine kann beispielsweise durch Veränderung der mindestens einen Turbineneintrittstemperatur, des Verdichter-  
30 Eintrittsmassenstromes oder beider Parameter eingestellt werden. Zur Einstellung des Verdichter-Eintrittsmassenstroms kann beispielsweise die

Eintrittsgeometrie des Verdichters über ein verstellbares Vorleitgitter verändert werden.

Die Höhe der Turbineneintrittstemperatur bestimmt im wesentlichen den  
5 Lebensdauerverbrauch bzw. die Länge des Inspektionsintervalls der Gasturbine. Sie bestimmt darüber hinaus im wesentlichen die Abgasemissionen der Gasturbine.

Die Leistung einer Gasturbine wird bei konstantem Eintrittsmassenstrom im  
10 wesentlichen durch die Höhe der Turbineneintrittstemperatur bestimmt. Die Gasturbinaustrittstemperatur ist proportional zur Höhe der Turbineneintrittstemperatur und umgekehrt proportional zum Druckverhältnis der Gasturbine.

15 Der Wirkungsgrad eines kombinierten Gas-Dampfturbinen-Kraftwerks, eines sogenannten Kombikraftwerks, ist proportional zur Höhe der Gasturbinaustrittstemperatur und dem Gasturbinenwirkungsgrad. Daraus folgt, dass der Gesamtwirkungsgrad und die Leistung eines Kombi-Kraftwerks proportional zur Gasturbineneintrittstemperatur ist.

20

Der Wirkungsgrad der Gasturbine wird im theoretischen Brayton Cycle bei konstanter Turbineneintrittstemperatur und konstanten  
Komponentenwirkungsgraden proportional zum Druckverhältnis. In der realen Maschine ist das Druckverhältnis bei konstanter Turbineneintrittstemperatur  
25 proportional zum Massenstrom. Real ändern sich jedoch die Komponentenwirkungsgrade als Funktion von Massenstrom und Temperatur. Insbesondere der Kompressorwirkungsgrad ist von dem Massenstrom, der durch die Vorleitreihenstellung geregelt wird, abhängig. Weiter sind beispielsweise Verluste von Eintrittten und Austritten oder Diffusoren eine  
30 Funktion des Volumen- bzw. Massenstromes. Entsprechendes gilt für den Kessel, dessen Druckverlust für die ihn durchströmenden Heissgase sowie den

angeschlossen Wasser- Dampf- Kreislauf. Die Auslegung der Komponenten auf einen Massenstrom hat zur Folge, dass der Wirkungsgrad einer realen Gasturbine und eines realen Gasturbinenkombikraftwerkes nicht proportional zum Druck oder Massenstrom ansteigt, sondern ein Maximum hat. Wird der Massenstrom und damit das Druckverhältnis über dies Maximum angehoben, so sinkt der Wirkungsgrad. Eine Leistungssteigerung des Kraftwerkes über den Betriebspunkt mit Wirkungsgradmaximum hinaus ist in der Regel möglich.

Moderne Gasturbinen werden im oberen Lastbereich, bei einer Lastabsenkung ausgehend von Vollast (oder Baseload) beispielsweise so geregelt, dass zunächst die Turbineneintrittstemperatur (oder Heissgastemperatur), die durch einen Limiter begrenzt ist, reduziert wird. Entsprechend wird der Limiter von Vollastwert auf den Teillastwert reduziert. Anschliessend wird der Ansaugmassenstrom durch eine Regelung des Anstellwinkels mindestens einer verstellbaren Leitschaufelreihe VIGV des Verdichters, der ihrerseits durch ein Limit begrenzt ist, reduziert. Während der Reduktion des Ansaugmassenstromes wird der Brennstoffmassenstrom reduziert, um die Turbineneintrittstemperatur unterhalb des jeweils anzuwendenden Limits zu regeln. Sobald die Turbinenaustrittstemperatur TAT, die bei konstanter Turbineneintrittstemperatur TIT umgekehrt proportional zu dem mit dem abnehmenden Massenstrom sinkenden Druckverhältnis steigt, den relevanten TAT- Limitwert erreicht hat, wird der Brennstoffmassenstrom reduziert, um die TAT unterhalb des Limits zu regeln. Die TIT fällt dann unter ihr Limit. Das Beispiel eines Betriebskonzeptes für eine moderne Gasturbine mit sequentieller Verbrennung ist in der EP0718470 offenbart.

Zum Betrieb einer Gasturbine nach dem in der EP0718470 beschriebenen Konzept ist eine Bestimmung oder näherungsweise Bestimmung einer TIT erforderlich. Als Turbineneintrittstemperatur können verschiedene Temperaturen benutzt werden. Es kann mit einer theoretischen Mischungstemperatur der Heissgase und aller Kühlluftmassenströme nach ISO

2314 / 1989 gearbeitet werden. Es kann bei der Regelung aber beispielsweise auch mit der Heissgastemperatur vor Eintritt in die Turbine, oder der sogenannten „firing Temperature“, einer Mischtemperatur nach der ersten Turbinenleitschaufel, gearbeitet werden.

5

Ein Beispiel für die Bestimmung der TIT ist in der EP1840354 offenbart. Weitere, meist einfachere aber ungenauere Annäherungen, sind dem Fachmann bekannt.

- 10    Herkömmlich ist eine Minimierung der Stromgestehungskosten im Sinne einer flexiblen Anpassung von Gasturbineneintrittstemperatur und/oder der Position des Verdichtervorleitgitters nur bei einer Neuinbetriebnahme möglich, bei welcher die entsprechenden Limite für Teillast und Volllast zum Erreichen bestimmter maximaler oder minimaler Lastwerte festgelegt werden. Möchte
- 15    man beispielsweise bei einer Erhöhung des Brennstoffpreises den Wirkungsgrad unter in Kaufnahme reduzierter Lebensdauer und damit kürzerer Wartungsintervalls durch eine Erhöhung der Temperaturlimite erreichen, wäre hierzu eine Neuinbetriebnahme der Gasturbine erforderlich.

20

### **Darstellung der Erfindung**

- 25    Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Betriebskonzept genanntes Verfahren zur Regelung eines auf einer Gasturbine basierenden Kraftwerks zu schaffen, welches auch ohne Neuinbetriebnahme eine flexible Anpassung des Verfahrens an sich ändernde Optimierungsziele erlaubt.
- 30    Die erfindungsgemässe Lösung der Aufgabe wird dadurch bewerkstelligt, dass verschiedene Limite, die das Betriebskonzept einer Gasturbine bestimmen, wie

z.B. Limite der Turbineneintrittstemperatur und/oder der Winkel mindestens einer Verdichtervorleitreihe, durch den Kraftwerksoperator während des Betriebes den Erfordernissen angepasst werden können.

- 5     Herkömmlich werden die Hauptregelparameter, wie Turbineneintrittstemperatur TIT, Turbinenaustrittstemperatur TAT und der Winkel mindestens einer Verdichtervorleitreihe VIGV innerhalb fester Limite geregelt. Zum Schutz gegen zu hohe Temperaturen oder Volumenströmen, deren Überschreiten schnell zu schweren Schäden an dem Kraftwerk führen würde, sind diese Parameter mit
- 10    mehrfach redundanten Messungen geschützt. Dabei sind mit einem definierten Sicherheitsabstand zu den Limiten der Regelungen Schutzaktionen wie Schnellabschalten oder Trip der Gasturbine in der Regelung implementiert.

- Bei der Anpassung von schutzrelevanten Limiten, wie der TIT, TAT oder der
- 15    VIGV, muss sichergestellt sein, dass die Schwellwerte, an denen Schutzaktionen ausgelöst werden, entsprechend den Änderungen der Limite mit angepasst werden oder so definiert sind, dass sie einen zuverlässigen Schutz im Rahmen der möglichen Variationen der Limitwerte sicherstellen.

- 20    Das erfindungsgemässe Verfahren gibt dem Kraftwerksbetreiber die Möglichkeit, die Stromgestehungskosten jederzeit gemäss den Anforderungen zu minimieren.

- Die Stromgestehungskosten hängen im wesentlichen von den durch den
- 25    Betrieb eines Kraftwerks entstehenden Kosten und Erlösen ab. Kosten sind in erster Linie die vom Kraftwerk zu zahlenden Brennstoffkosten, deren Höhe durch den Nettowirkungsgrad des Kraftwerkes bestimmt wird, den Kosten für Wartung und Instandhaltung des Kraftwerkes, Personalkosten, gegebenenfalls Emissionsabgaben sowie Kapitalkosten, Lizenzkosten und Gebühren für
- 30    Betriebsgenehmigungen. Erlöse erzielt das Kraftwerk durch den Verkauf der

elektrischen Leistung, bei sogenannter „Co-Generation“ durch Prozessdampf und Wärme sowie für die Bereitstellung von Leistungsreserven an das Netz.

Das erfindungsgemässe flexible Gasturbinenbetriebskonzept ermöglicht eine  
5 Optimierung des Betriebes hinsichtlich Minimierung der Stromgestehungskosten. Hierbei kann während des Betriebs zwischen verschiedenen, das Betriebskonzept des Kraftwerkes bestimmenden, Limiten bei konstanter oder sich ändernder Leistungserzeugung variiert werden. Insbesondere werden die Volllast- und Teillastlimite für die mindestens eine  
10 TIT, die Volllast- und Teillastlimite für die mindestens eine TAT sowie das Limit der VIGV Position variiert. Diese Variation der Limite kann beispielsweise der Kraftwerksoperator durch die Auswahl verschiedener Betriebsweisen an der Leitwarte des Kraftwerkes oder der Gasturbine realisieren. Für eine bedienerfreundliche Regelung muss der Operator nicht einzelne Limite  
15 anpassen, sondern kann an der Leitwarte verschiedene Betriebsweisen anwählen und der Regler arbeitet dann automatisch mit dem entsprechenden Satz von Limiten. Dies kann z.B. ein wirkungsgradoptimierter Betrieb, ein Betrieb für maximale Leistung, ein Betrieb mit reduzierten NOx Emissionen, ein Betrieb mit reduzierten Teillast CO Emissionen, ein Betrieb mit verlängerten  
20 Wartungsintervallen oder eine Kombination von Optimierungszielen sein. Wege zur Realisierung dieser Betriebsweisen werden anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele aufgezeigt.

Der Kraftwerksoperator kann über eine Eingabe an einem geeigneten Mensch-  
25 Maschine Interface, typischerweise der sogenannten Operator Station oder dem Kontrollrechner oder Regler des Kraftwerkes, durchführen. Eine Eingabe über eine Leitwarte eines Verbundes von Kraftwerken oder von dem Netzbetreiber ist ebenfalls möglich. Die Optimierungsziele können auch von äusseren Bedingungen abhängig definiert und automatisch angepasst werden.  
30 Beispielsweise können die Optimierungsziele abhängig von der Jahreszeit vorgegeben sein. Beispielsweise kann es Vorteilhaft sein, das Kraftwerk im



- Sommer leistungsoptimiert zu fahren, um den bei Gasturbinen typischen Leistungsrückgang bei hohen ambienten Temperaturen so weit wie möglich auszugleichen und im Winter wirkungsgradoptimiert zu fahren. Unter einem Operator, auch als Fahrer, Leiter oder Führer bezeichnet, hier sind die
- 5 Personen zu verstehen, die den Betrieb des Kraftwerkes direkt oder indirekt steuern oder überwachen.

- Alle erläuterten Vorteile sind nicht nur in den jeweils angegebenen
- 10 Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen, in Kombination mit der Regelung weiterer Parameter oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Neben dem Verfahren ist eine Gasturbine zur Durchführung des Verfahrens Gegenstand der Erfindung. Je nach gewähltem Verfahren oder Kombination von Verfahren muss die Auslegung der Gasturbine angepasst werden, um die Durchführbarkeit des Verfahrens zu gewährleisten.

Die Kühlluftdruckverhältnisse ändern sich bei Gasturbinen abhängig von den Kompressoreintrittsbedingungen und dem Betriebszustand. Ausserdem sind sie von der VIGV- Stellung abhängig. Die Kühlluftdruckverhältnisse von vor dem Kompressorende aus dem Kompressor entnommener Kühlluft sinken dabei typischerweise mit Schliessen der VIGV. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, sind die Druckverhältnisse beispielsweise so eingestellt, dass sie für den Vollastbetrieb mit der zugehörigen TIT eine ausreichende Kühlung im gesamten ambienten Betriebsbereich gewährleisten. Ausserdem muss für Teillast gewährleistet sein, dass das mit schliessen der VIGV bei Teillast abnehmende Kühlluftdruckverhältnis noch für eine von Teillast TIT abhängige ausreichende Kühlung sorgt.

In der Regel werden Gasturbinen mit einem Standard Betriebskonzept entsprechenden Kühlluftdruckverhältnissen ausgelegt. Bei der Auslegung wird ausserdem beispielsweise eine Druckmarge vorgesehen, um Fertigungstoleranzen und andere Unsicherheiten ausgleichen zu können. Während der Inbetriebnahme wird dann, beispielsweise über Blenden, das richtige Druckverhältnis eingestellt.

Bei herkömmlichen Gasturbinen wird diese Auslegung und Einstellung für ein Standard Betriebskonzept durchgeführt. Die erfindungsgemässe Gasturbine zeichnet sich dadurch aus, dass sie für mindestens die in dem jeweiligen Kraftwerk geplanten Variationen der Limite und der sich daraus ergebenden Betriebskonzepte ausgelegt ist. Ausserdem sind die Druckverhältnisse bei Inbetriebnahme entsprechend der geplanten Variationen der Limite und der sich daraus ergebenden Betriebskonzepte, z.B. durch Blenden, eingestellt.

Gemäss einer weiteren Ausgestaltung sind die Systeme des Kraftwerkes so ausgelegt, dass sie einen dem Betriebskonzept entsprechenden verlängerten Wartungsintervall zulassen.

Um die Wahl von leistungsoptimierten Limiten zu erlauben, sind die elektrischen Systeme, d.h. auch Generatoren und Transformatoren so auszulegen, dass die maximale Kraftwerksleistung, die im Rahmen der spezifischen Limite erreichbar ist, an das Netz abgegeben werden kann. Entsprechend muss auch das Brennstoffsystem für den maximal möglichen Brennstoffmassenstrom ausgelegt werden.

Weiter sind in dem Regler und/ oder der zugehörigen Speichereinheit die verschiedenen Sätze von Limitwerten entsprechend der vorgesehenen Betriebskonzepte abgelegt, so dass zwischen den Limiten umgeschaltet werden kann.

Bei einem Kombikraftwerk ist ausserdem der Wasser-Dampfkreislauf inklusive Kessel für alle möglichen Variation der TAT und des Abgasmassenstromes, die sich aus den verschiedenen für das Kraftwerk vorgesehen Limitkombination des Gasturbinebetriebskonzeptes ergeben, auszulegen.

### Kurze Erläuterung der Figuren

- 5 Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Betrachtung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen; diese zeigen schematisch in

10 Fig. 1 ein vereinfachtes Blockschaltbild für ein Kraftwerk mit einer Gasturbine;

Fig. 2 die verschiedenen VIGV Volllast- Limite einer Gasturbine und der zugehörige Verlauf der Turbineneintrittstemperatur über Last im oberen Lastbereich;

15

Fig. 3 den relativen Wirkungsgrad bei Volllast  $\eta_{rel}$  als Funktion der normierten Volllastleistung  $P_{BL}$  bezogen auf den Volllastwirkungsgrad bei Standard Design Bedingungen, wobei die Leistung  $P_{BL}$  durch Variation des VIGV Volllast Limits eingestellt wird;

20

Fig. 4 TIT Volllast und TIT Teillast Limite einer Gasturbine für Standard Design und lebensdaueroptimiertes Betriebskonzept und der zugehörige Verlauf der VIGV- Stellung und TIT über Last im oberen Lastbereich; und

25

Fig. 5      TIT- und TAT Teillast- Limite für CO- Emissionsoptimierten Betrieb im Vergleich zu den Limiten im lebensdaueroptimierten Betrieb sowie der zugehörige Verlauf der VIGV- Stellung und TIT über Last im oberen Lastbereich.

5

### Wege zur Ausführung der Erfindung

10      Bei einem in Fig. 1 wiedergegebenen Kraftwerk ist eine Gasturbine 10 ersichtlich, die einen Verdichter 12, eine Brennkammer 20 und eine Turbine 14 umfasst, und welche ein zentraler Bestandteil ist. Verdichter 12 und Turbine 14 sind auf einer gemeinsamen Welle 16 angeordnet, die einen Generator 18 antreibt. Der Verdichter 12 saugt über einen Lufteinlass 28 und einen Filter 26  
15      Luft aus der Umgebung an, verdichtet sie, und gibt die so verdichtete Luft über ein Plenum an die Brennkammer 20 weiter. Der Luftmassenstrom kann über mindestens eine verstellbaren Leitschaufelreihe 24 geregelt werden. Ein Teil der komprimierten Luft wird am Verdichterende als Kühlluft zur Kühlung lebensdauerkritischer Heissgasteile abgezweigt. Diese Hochdruck- Kühlluft wird  
20      als Brennkammerkühlluft 21 und als Hochdruck- Turbinenkühlluft 29 verwendet. Je nach Design kann sie mit einem Kühlluftkühler auf eine Kühllufttemperatur rückgekühlt werden (nicht dargestellt). Ein zweiter Teil der komprimierten Luft wird im Verdichter als Kühlluft 23 zur Kühlung lebensdauerkritischer Heissgasteile abgezweigt. Um eine bessere Kühlung zu gewährleisten kann die  
25      Kühlluft über einen Kühlluftkühler 25 auf eine Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  gekühlt werden und als rückgekühlte Kühlluft 27 zur Kühlung lebensdauerkritischer Heissgasteile verwendet werden. Der verbleibende Luftmassenstrom wird in der Brennkammer zur Verbrennung eines über eine Brennstoffzufuhr 22  
30      zugeführten Brennstoffs (flüssig oder gasförmig) verwendet. Das entstandene Heissgas wird in der Turbine 14 unter Arbeitsleistung entspannt und kann dann

beispielsweise in einem nachfolgenden Abhitzedampferzeuger zur Erzeugung von Prozessdampf oder Dampf für eine Dampfturbine verwendet werden. Die Messung der Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  sowie die Regelung des Kühlluftkühlers 25, die in den Gasturbinenregler 30 integriert sein kann, sind nicht dargestellt.

5

Für die Regelung der Gasturbine ist ein Regler 30 vorgesehen, der in der Figur als einfacher Block mit wenigen Signalleitungen dargestellt ist. Er kann in der Realität jedoch sehr komplex und mit vielen Ein/ Ausgängen für die verschiedenen Anlagenteile ausgestaltet sein kann. Die Signalleitung 46  
10 verbindet den Gasturbinenregler 30 mit dem Unit Regler der die Unit des Kraftwerks inklusive Gasturbine, Kessel und Wasser- Dampfkreislauf regelt.

In einem dem Regler 30 zugeordneten oder in den Regler 30 integrierten Datenspeicher sind verschiedene Sätze von Limitwerten, die die VIGV, TIT,  
15 TAT und Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  für Teillast und Vollast begrenzen, abgelegt.

Zur Regelung der Gasturbine 10 werden grundlegende Prozessgrößen herangezogen, und zwar insbesondere der Anstellwinkel VIGV der mindestens einen verstellbaren Leitschaufel 24 des Verdichters 12 und die  
20 Turbineneintrittstemperatur TIT am Eingang der Turbine 14. Zur Regelung der VIGV ist eine Datenleitung 45 zwischen der mindestens einen verstellbaren Leitschaufelreihe 24 und einem Eingang der Regelung 30 vorgesehen. Über diese Leitung 45 wird sowohl die Soll-Position der Leitschaufeln an den Stellmechanismus der VIGV geschickt, als auch die gemessene Ist-Position der  
25 VIGV and die Regelung übertragen. Die Turbineneingangstemperatur TIT kann idealisiert am Turbineneintritt gemessen werden und über eine Datenleitung 42 and den Regler übermittelt werden. Praktisch ist dies Aufgrund der hohen TIT bei modernen Gasturbinen nicht möglich, so dass die TIT über das Druckverhältnis der Turbine 14 sowie die TAT angenähert wird. Die TAT wird  
30 über einen Sensor 34 gemessen und über die Datenleitung 44 an den Regler übertragen. Zur Bestimmung des Turbinendruckverhältnisses kann der Druck

vor und nach der Turbine 14 gemessen werden. In der Praxis wird zur Bestimmung des Druckverhältnisses oft vereinfachend die Messung des Ansaugdruckes 31 und des Verdichteraustrittsdruckes 33, deren Messwerte über die Datenleitungen 41 und 43 an den Regler 30 übermittelt werden  
5 angenähert. Die Bestimmung der TIT aus den angegebenen Messgrößen sowie Korrekturen zur Berücksichtigung weiterer Parameter, wie z.B. der relativen Luftfeuchtigkeit oder der VIGV Stellung, sind dem Fachmann bekannt.

In Fig. 2 sind verschiedene VIGV Volllast Limite einer Gasturbine sowie TIT  
10 Volllastlimit 1 und TIT Teillastlimit 5 und der zugehörige Verlauf der Turbineneintrittstemperatur TIT und der VIGV über relative Last  $P_{rel}$  im oberen Lastbereich dargestellt. Diese sind mit durchgezogenen Linien für Standard Design Betrieb, mit gepunkteten Linien für den wirkungsgradoptimierten Betrieb und mit strichpunktiierten Linien für den leistungsoptimierten Betrieb  
15 schematisch dargestellt.

Der Einfluss der Limite auf das Betriebskonzept wird für eine Lastreduktion ausgehend von Volllast erläutert. Für Standard Design Betrieb (durchgezogene Linie), bei dem die VIGV am VIGV Volllastlimit für Standard Design Betrieb 2  
20 und die TIT am Volllastlimit für Standard Design Betrieb 1 sind, wird zunächst die TIT über die Brennstoffmassenstrom geregelt reduziert bis bei hoher Teillast das TIT Teillastlimit für Standard Design Betrieb 5 erreicht wird. Die VIGV bleibt während dieser Lastabsenkung konstant offen am VIGV Volllastlimit für Standard Design Betrieb 2. Sobald das TIT Teillastlimit für Standard Design  
25 Betrieb 5 erreicht wird, wird die TIT konstant gehalten und die Last über die VIGV Position geregelt. Die TIT wird dabei über den Brennstoffmassenstrom konstant auf dem TIT Teillastlimit für Standard Design Betrieb 5 geregelt.

Wird das VIGV Volllastlimit zur Reduktion des maximalen Massenstroms auf  
30 das Limit für den wirkungsgradoptimierten Betrieb 4 verkleinert, verschiebt sich das Betriebskonzept im oberen Lastbereich (gepunktete Linie). Die Volllast wird

bei dem selben TIT Volllastlimit 1 erreicht. Aufgrund des geringeren Massenstroms wird die Volllastleistung kleiner. Die hier nicht dargestellte TAT ist aufgrund des reduzierten Massenstroms erhöht. In dem dargestellten Beispiel sind sowohl die Komponentenwirkungsgrade der Gasturbine und damit der Gasturbinenwirkungsgrad als auch der Wirkungsgrad des nachgeschalteten Wasser- Dampfkreislaufes bei dem reduzierten Massenstrom bzw. der erhöhten Abgastemperatur verbessert, so dass der Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes verbessert wird. Diese Verbesserung im Wirkungsgrad liesse sich durch einfache Lastreduktion mit dem Standard Design Betriebskonzept nicht realisieren, da nach diesem ausgehend von Volllast zunächst die TIT reduziert würde, was eine Wirkungsgradreduktion mit sich bringt.

Wird das VIGV Volllastlimit zur Erhöhung des maximalen Massenstroms auf das Limit für den leistungsoptimierten Betrieb 3 vergrößert, verschiebt sich das Betriebskonzept im oberen Lastbereich (strichpunktierte Linie). Die Volllast wird bei dem selben TIT Volllastlimit 1 erreicht. Aufgrund des erhöhten Massenstroms bei weiter geöffneter VIGV wird die Volllastleistung grösser.

In Fig. 3 ist der relative Wirkungsgrad bei Volllast  $\eta_{rel}$  als Funktion der normierten Volllastleistung  $P_{BL}$  bezogen auf den Volllastwirkungsgrad bei Standard Design Bedingungen dargestellt. Die Volllastleistung  $P_{BL}$  wird durch Variation des VIGV Volllast- Limits eingestellt wird.

Wird in dem gezeigten Beispiel das VIGV Volllast- Limit gegenüber dem Standard Design Limit 2 reduziert, so steigt zunächst der Wirkungsgrad, da sich, wie unter Fig. 2 erläutert, die Wirkungsgrade der Einzelkomponenten bei kleinerem Massenstrom zunächst verbessern. So ist es möglich mit dem VIGV Volllastlimit Limit für wirkungsgradoptimierten Betrieb 4 einen gegenüber dem Standard Design verbesserten Wirkungsgrad zu erzielen.

Wird das VIGV Volllastlimit Limit weiter Reduziert, sinkt mit dem Massenstrom das Druckverhältnis und damit der Wirkungsgrad des theoretischen Prozesses. Ausserdem werden die Hauptkomponenten so weit entfernt von ihrem Designpunkt betrieben, dass die Komponentenwirkungsgrade nicht mehr  
5 ansteigen sonder auch wieder abfallen.

Wird in dem gezeigten Beispiel das VIGV Volllast- Limit gegenüber dem Standard Design Limit 2 erhöht, lässt sich die Leistung unter Inkaufnahme eines geringeren Wirkungsgrades erhöhen. Je weiter das VIGV Volllast- Limit  
10 vergrößert wird, desto steiler fällt der Wirkungsgrad, so dass die Möglichkeit das VIGV Volllast- Limit 3 zu erhöhen, begrenzt ist. Ausserdem kann die VIGV aufgrund der Pumpgrenze des Verdichters bzw. des erforderlichen Sicherheitsabstandes zur Pumpgrenze oder Limite anderer Komponenten nicht beliebig geöffnet werden. Der Sicherheitsabstand gegenüber der Pumpgrenze  
15 ist unter Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen, möglicher Verdichterverschmutzung sowie der Netzanforderungen in Bezug auf Unterfrequenzbetrieb zu bestimmen.

Durch das vorgeschlagene variable VIGV Volllast- Limit kann die Gasturbine in  
20 einem Bereich um das Standard Design Limit 2, der durch die den Sicherheitsabstände zur Pumpgrenze des Verdichters oder Limite anderer Komponenten und das Wirkungsgradoptimum begrenzt ist, betrieben werden.

In Fig. 4 sind die Limite und der Verlauf von TIT und VIGV (durchgezogene  
25 Linien) bei einem lebensdaueroptimierten Betriebskonzept im oberen Lastbereich dargestellt. Als Referenz sind ausserdem die Limite des Standard Design Betriebskonzeptes im oberen Lastbereich und der entsprechende Verlauf von TIT und VIGV über Last als punktierte Linie dargestellt.

30 Zur Realisierung eines lebensdaueroptimierten Betriebskonzeptes wird bei unverändertem VIGV Volllastlimit 2 ein reduziertes TIT Volllastlimit 6 und ein



reduziertes TIT Teillastlimit 7 eingeführt. Aufgrund der reduzierten TIT wird bei gleichem Volllastmassenstrom eine tiefere Volllastleistung erreicht. Der Eckpunkt, bei dem ausgehend von Volllast das TIT Teillastlimit 7 erreicht wird, ist entsprechend der reduzierten Limits ebenfalls zu einer tieferen Last verschoben. Die VIGV fängt entsprechend auch bei tieferer Last zu schliessen an. Um die Lebensdauer bei tiefer Teillast entsprechend anzuheben, kann es ausserdem erforderlich, sein die TAT Limite abzusenken.

Die TIT und TAT Limite können zur Erhöhung der Lebensdauer nicht beliebig reduziert werden. Bei starker Reduktion der Limite kann die Verbrennung instabil werden und es zu Löschpulsationen und/ oder erhöhten Emissionen kommen. Neben der Gasturbine, sind auch die Limite des angeschlossenen Wasser- Dampfkreislaufes inklusive Kessel zu beachten. Bei zu stark vom Auslegungspunkt abweichender resultierender TAT fällt der Wirkungsgrad des Wasser- Dampfkreislaufes stark, so dass der Betrieb trotz erhöhter Lebensdauer unrentabel wird.

Analog zur Lebensdauererhöhung kann eine Reduktion der NO<sub>x</sub> Emissionen durch Reduktion von mindestens dem TIT Volllastlimit 1 erreicht werden. Weiter kann eine Leistungserhöhung durch Erhöhen der Limite bei reduzierter Lebensdauer erreicht werden.

In Fig. 5 sind die Limite und der Verlauf von TIT, TAT und VIGV (durchgezogene Linien) bei einem CO optimiertem Betriebskonzept dargestellt. Als Referenz sind ausserdem die Limite des Standard Design Betriebskonzeptes und der entsprechende Verlauf von TIT und VIGV über Last als punktierte Linie dargestellt.

Je nach Design von Brennkammer und Brenner kann es bei Vormischverbrennern, die für niedrige NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Volllasttemperatur optimiert sind, beim Teillastbetrieb mit reduzierter TIT zu erhöhten CO

Emissionen kommen. Dies ist in der Regel bei dem Standard Designbetriebskonzept kein Problem. Für spezifische Anforderungen, wie z.B. sehr niedrige CO Emissionen im Teillastbetrieb, kann es aber Vorteilhaft sein, die Teillast TIT auf einem gegenüber dem Standard angehobenen Niveau zu halten. Dies wird bei hoher Teillast realisiert, indem ein gegenüber dem Standard erhöhtes TIT Teillastlimit für CO-optimierten Betrieb 8 benutzt wird.

Bei einer Lastreduktion ausgehend von Volllast, wird das erhöhte TIT Teillastlimits für CO-optimierten Betrieb 8 bei einer höheren Last als bei dem Standard- Betriebskonzept erreicht. Dies führt dazu, dass der Ansaugmassenstrom schon bei höherer Last durch Schliessen der VIGV reduziert wird.

Mit, durch Schliessen der VIGV, abnehmenden Massenstrom steigt bei konstanter Teillast- TIT die Abgastemperatur TAT. Sie wird im Standard Betriebskonzept durch das TAT Teillastlimit 9 begrenzt. Sobald die TAT das TAT Teillastlimit für Standard Design Betrieb 9 erreicht hat wird über den Brennstoffmassenstrom nicht die TIT sondern die TAT geregelt.

In dem gezeigten Beispiel ist nicht nur das TIT Teillastlimit angehoben, sondern auch das TAT Teillastlimit vom standard TAT Teillastlimit 9 auf das TAT Teillastlimit für CO-optimierten Betrieb 11 angehoben. Ohne diese Anhebung würde im tiefen Teillastbereich mit der selben TIT gefahren, wie mit dem Standard Betriebskonzept und entsprechend wären auch die gleichen Emissionen zu erwarten. Je nach Design und Erfordernissen ist es sinnvoll nur eines der beiden Limite TIT Teillast oder TAT Teillast für ein CO optimiertes Betriebskonzept anzuheben.

Bei Gasturbinen mit Kühlluftkühler wird die Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  limitiert, und die Kühlleistung des mindestens einen Kühlluftkühlers so geregelt, dass das Limit der Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  nicht überschritten wird. Einerseits kann eine

Veränderung der Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  die Lebensdauer kritischer Heissgasteile beeinflussen, andererseits kann sie, je nach Integration des Kühlers in das Gesamtkraftwerk und Ausnutzung der im Kühler entzogenen Wärme, den Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes beeinflussen. Dabei ist ein

5 Kraftwerk meist so optimiert, dass eine Absenkung der Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  unter das Standard Design Limit zu einer Wirkungsgradeinbusse führt. Unter Inkaufnahme der Wirkungsgradeinbusse kann aber beispielsweise die Lebensdauerpönale einer erhöhten TIT reduziert werden. Das Limit der Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  ist somit ein weiterer Parameter zur Flexibilisierung und

10 Optimierung des Betriebskonzeptes.

Die Limite für TIT, TAT, Kühllufttemperatur  $T_{cool}$  oder andere Limite der verschieden Betriebskonzepte sind nicht notwendig konstante Werte. Sie können je nach Anforderungen als Funktion der Last, der VIGV oder eines anderen

15 Parameters geregelt sein. Die Betriebskonzepte sind ausserdem nicht auf die gezeigten Beispiele beschränkt. Sie können in verschiedener Art kombiniert oder erweitert werden. Beispielsweise kann ein lebensdaueroptimiertes Betriebskonzept mit reduziertem TIT Vollastlimit 6 und reduziertem TIT Teillastlimit 7 mit den verschiedenen VIGV Limits für leistungsoptimierten 3 oder

20 wirkungsgradoptimierten 4 Betrieb kombiniert werden.

Die Eckpunkte in den Fig. 2, 4 und 5, in denen die Regelung z.B. von VIGV Regelung auf TIT Regelung wechselt, sind nicht fest an eine relative Last gebunden. Sie können sich abhängig von den ambienten Bedingungen,

25 insbesondere von Kompressoreintrittstemperatur und Druck und dem Zustand der Gasturbine verschieben. Beispielsweise altert jedes Kraftwerk, was zu einer Leistungsreduktion führt, so dass sich, selbst bei sonst identischen Randbedingungen, die Eckpunkte in Richtung tieferer Last verschieben können.

30 Neben einer Absenkung der TIT und/ oder TAT Limite zur Lebensdauerverlängerung ist es oft auch zweckmässig die Möglichkeit einer

Erhöhung der Limite zu ermöglichen, damit eine Leistungssteigerung unter Inkaufnahme von Lebensdauerverbrauch ermöglicht wird.

5 In einer Ausführung der Erfindung können mehrere Sätze von Limiten angewählt werden, die zu verschiedenen Lebensdauerfaktoren gehören. Diese können es dem Betreiber oder Operator beispielsweise ermöglichen das Kraftwerk mit Standard- Lebensdauer zu betreiben, mit einer um 30%, 50% oder 100% erhöhten Lebensdauer zu betreiben, oder alternativ mit einer um 30% oder 50% reduzierten Lebensdauer zu betreiben.

10

In einer weiteren Ausführung der Erfindung kann der Betreiber oder Operator die gewünschte Lebensdauer innerhalb eines gewünschten Rahmens vorgeben und die TIT und/ oder TAT Limite werden in Abhängigkeit von dieser Ziellebensdauer angepasst.

Die flexible Betriebsweise erlaubt einen auf Wirkungsgrad und Lebensdauer optimierten Betrieb sowie die Bereitstellung einer signifikanten Leistungsreserve. Abhängig von dem Stromnetz, in das das Kraftwerk Leistung einspeist, wird ein Kraftwerk im Normalbetrieb beispielsweise nur bei etwa 90% seiner Volllastleistung betrieben. Dies hat zur Folge, dass es bei Teillast typischerweise mit gegenüber der Auslegung reduziertem Wirkungsgrad betrieben wird. Die erfindungsgemässe flexible Anpassung des Betriebskonzeptes erlaubt es für ein derartiges Kraftwerk nicht nur die Wirkungsgradeinbusse durch Teillastbetrieb zu vermeiden, sondern mit dem wirkungsgradoptimierten Betriebskonzept noch eine Verbesserung des Wirkungsgrades zu realisieren. Die erforderliche Leistungsreserve kann idealerweise durch Anpassung der TIT und VIGV Limite demonstriert werden.

Je nach Stromnetz kann ausserdem eine sogenannte „Spinning Reserve“ verkauft werden. Als „Spinning Reserve“ ist in der Regel die Kapazität bezeichnet, die innerhalb von 10 Minuten zusätzlich an das Netz geliefert

werden kann und für mindestens 2 Stunden kontinuierlich abgegeben werden kann. In einem solchen Netz bietet es sich an, das Kraftwerk mit wirkungsgradoptimiertem oder lebensdaueroptimiertem Betriebskonzept zu betreiben und die mögliche Zusatzleistung, die durch Anpassung der Limite realisiert werden kann, als „Spinning Reserve“ zu verkaufen.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Betriebskonzepte und ihre Kombinationen beschränkt. Sie ist analog auf andere Betriebskonzepte übertragbar, wie z.B. auf ein Betriebskonzept für Gasturbinen mit sequentieller Verbrennung oder Betriebskonzepte ohne eine Teillastabsenkung der TIT oder Konzepte, die zusätzliche Stufungen der verschiedenen Limite vorsehen.

### Bezugszeichenliste

1	TIT Volllast Limit für Standard Design-Betrieb
2	VIGV Volllast Limit für Standard Design-Betrieb
3	VIGV Volllast Limit für leistungsoptimierten Betrieb
4	VIGV Volllast Limit für wirkungsgradoptimierten Betrieb
5	TIT Teillast Limit für Standard Design-Betrieb
6	TIT Volllast Limite für lebensdaueroptimierten Betrieb
7	TIT Teillast Limite für lebensdaueroptimierten Betrieb
8	TIT Teillast Limite für CO-optimierten Betrieb
9	TAT Teillastlimit für Limite für Standard Design-Betrieb
10	Gasturbine
11	TAT Teillastlimit für Limite für CO-optimierten Betrieb
12	Verdichter
14	Turbine
16	Welle
18	Generator

20	Brennkammer
21	Brennkammerkühlluft
22	Brennstoffzufuhr
23	Kühlluft
24	verstellbare Leitschaufelreihe
25	Kühlluftkühler
26	Filter
27	Rückgekühlte Kühlluft
28	Lufteinlass
29	Hochdruck- Turbinenkühlluft
30	Regler
31	Messwertaufnehmer (Kompressoreintrittsbedingungen: Temperatur, Druck und Luftfeuchtigkeit)
32	Messwertaufnehmer (Turbineneintrittstemperatur TIT)
33	Messwertaufnehmer (Kompressoraustrittsdruck)
34	Messwertaufnehmer (Turbinenaustrittstemperatur TAT)
41	Signalleitung (Kompressoreintrittsbedingungen)
42	Signalleitung (Turbineneintrittstemperatur TIT)
43	Signalleitung (Kompressorenddruck)
44	Signalleitung (Turbinenaustrittstemperatur TAT)
45	Signalleitung (VIGV Soll-Position und Ist-Position)
46	Signalleitung/ Signalaustausch zum Unit Controller
TIT	Turbineneintrittstemperatur
TAT	Turbinenaustrittstemperatur
$T_{cool}$	Kühllufttemperatur
VIGV	Anstellwinkel der verstellbaren Leitschaufelreihe
$P_{rel}$	Relative Last bezogen auf die Volllast bei Standard
$P_{BL}$	normierten Volllastleistung
$\eta_{rel}$	relative Wirkungsgrad bei Volllast $\eta_{rel}$
BL	Volllast
PL	Teillast

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Gasturbine (10) in einem Kraftwerk, umfassend mindestens einen Verdichter (12) mit mindestens einer verstellbaren Leitschaufelreihe (24), mindestens eine Brennkammer (20) und mindestens eine Turbine (14), dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Limit des Betriebskonzeptes während des Betriebes, zur Anpassung an Optimierungsziele des Kraftwerkes bezüglich Leistung, Wirkungsgrad, Emissionen und/ oder Lebensdauerverbrauch, durch einen Kraftwerksoperator variiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine während des Betriebes variierte Limit ein schutzrelevantes Limit der Gasturbine ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Volllast- Limit des Anstellwinkel (VIGV) der mindestens einen verstellbaren Leitschaufelreihe (24) des Verdichters (12) variiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass das Volllast- Limit des Anstellwinkel (VIGV) der mindestens einen verstellbaren Leitschaufelreihe (24) des Verdichters (12) zwischen einem maximalen Limit, das durch die um einen Sicherheitshabstand reduzierte Pumpgrenze definiert ist, und einem minimalen Limit, bei dem der grösste Volllastwirkungsgrad erreicht wird, variiert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Volllast- Limit der Turbineneintrittstemperatur (TIT) und/ oder mindestens ein Teillastlimit der Turbineneintrittstemperatur (TIT)

- variiert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teillast- Limit der Turbinenaustrittstemperatur (TAT) variiert wird.
  7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Vollast- Limit der Turbineneintrittstemperatur (TIT) und/ oder ein Teillastlimit der Turbineneintrittstemperatur (TIT) und/ oder mindestens ein Teillast- Limit der Turbinenaustrittstemperatur (TAT) gegenüber dem Standard Design Limit zur Erhöhung der Lebensdauer reduziert wird.
  8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teillastlimit der Turbineneintrittstemperatur (TIT) und/ oder mindestens ein Teillast- Limit der Turbinenaustrittstemperatur (TAT) gegenüber dem Standard Design Limit zur Reduktion der CO Emissionen erhöht wird.
  9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Kühllufttemperaturlimit eines rückgekühlten Kühlluftmassenstroms (27) variiert wird.
  10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Limit zur Bereitstellung von Leistungsreserven gegenüber dem Netz variiert wird.
  11. Kraftwerk zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, umfassend wenigstens eine Gasturbine (10) umfassend mindestens einem Verdichter (12) mit mindestens einer verstellbaren Leitschaufelreihe (24), mindestens eine Brennkammer (20) und mindestens eine Turbine (14)



sowie eine Regelung (30), dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftwerk für den Betrieb innerhalb der verschiedenen einstellbaren Limite ausgelegt ist und es ein Mensch- Maschine Interface zur Auswahl eines Optimierungsziels umfasst.

12. Kraftwerk nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein von der Turbineneintrittstemperatur (TIT) abhängiges minimales Kühlluftinspeisedruckverhältnis für den gesamten Betriebsbereich der Anstellwinkel (VIGV) der mindestens einen verstellbaren Leitschaufelreihe (24) des Verdichters (12) gewährleistet ist.
13. Kraftwerk nach einem der Ansprüche 11 oder 12 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Kessel der mindestens einen Gasturbine (10) nachgeschaltet ist, und dass dieser mindestens ein Kessel für alle Abgasmassenströme und Abgastemperaturen (TAT), die durch die Variation der Betriebslimite auftreten können, ausgelegt ist.
14. Kraftwerk nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Dampfturbine zur Umsetzung des maximal von dem mindestens einen Kessel bei Variation der Betriebslimite der Gasturbine (10) produzierten Dampfmassenstromes in Energie ausgelegt ist.
15. Kraftwerk nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Systeme für die maximal bei Variation der Betriebslimite der Gasturbine (10) erzeugte Leistung ausgelegt sind.
16. Kraftwerk nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffsysteme für den maximal bei Variation der Betriebslimite der Gasturbine (10) erforderlichen Brennstoffmassenstrom ausgelegt sind.

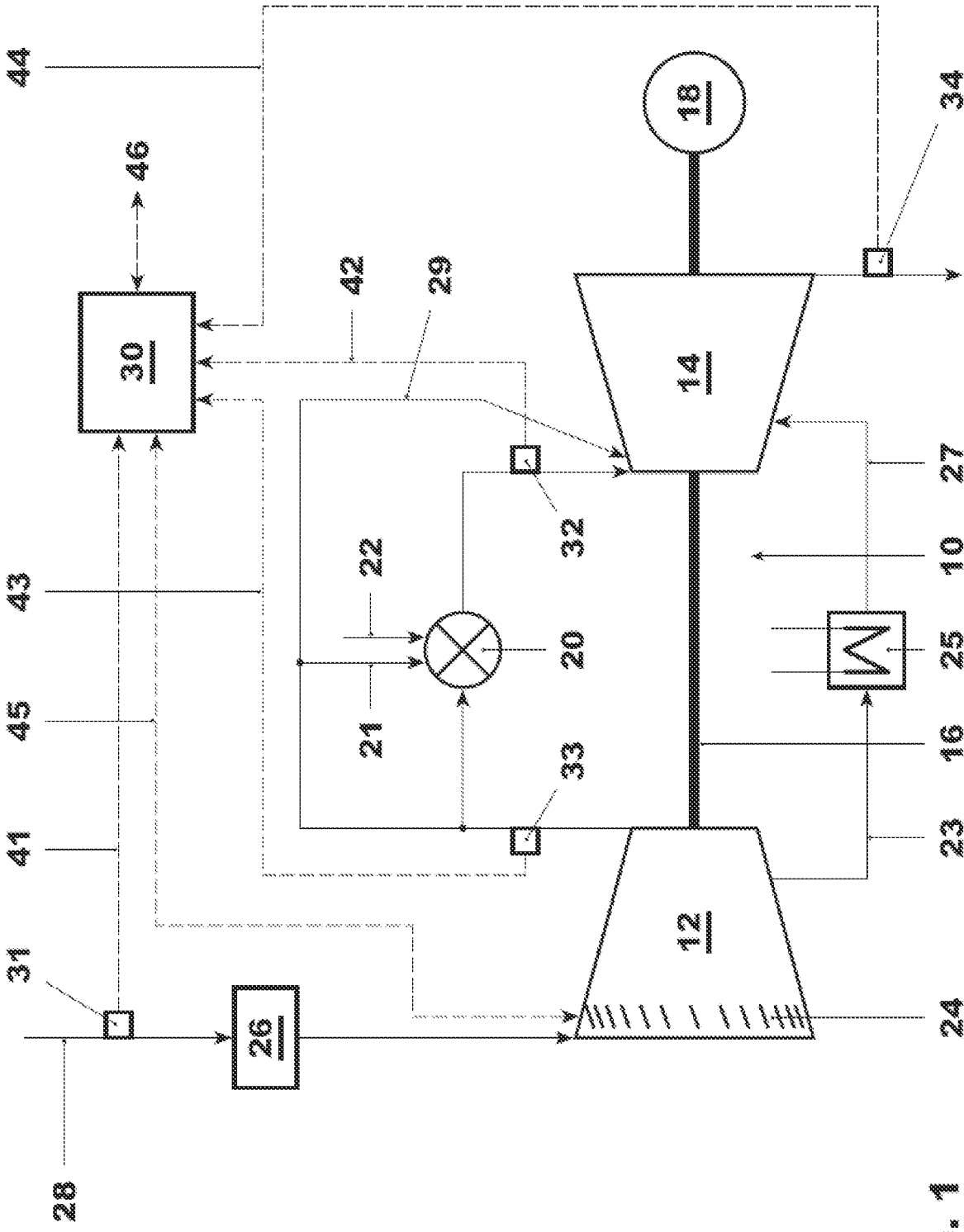


FIG. 1

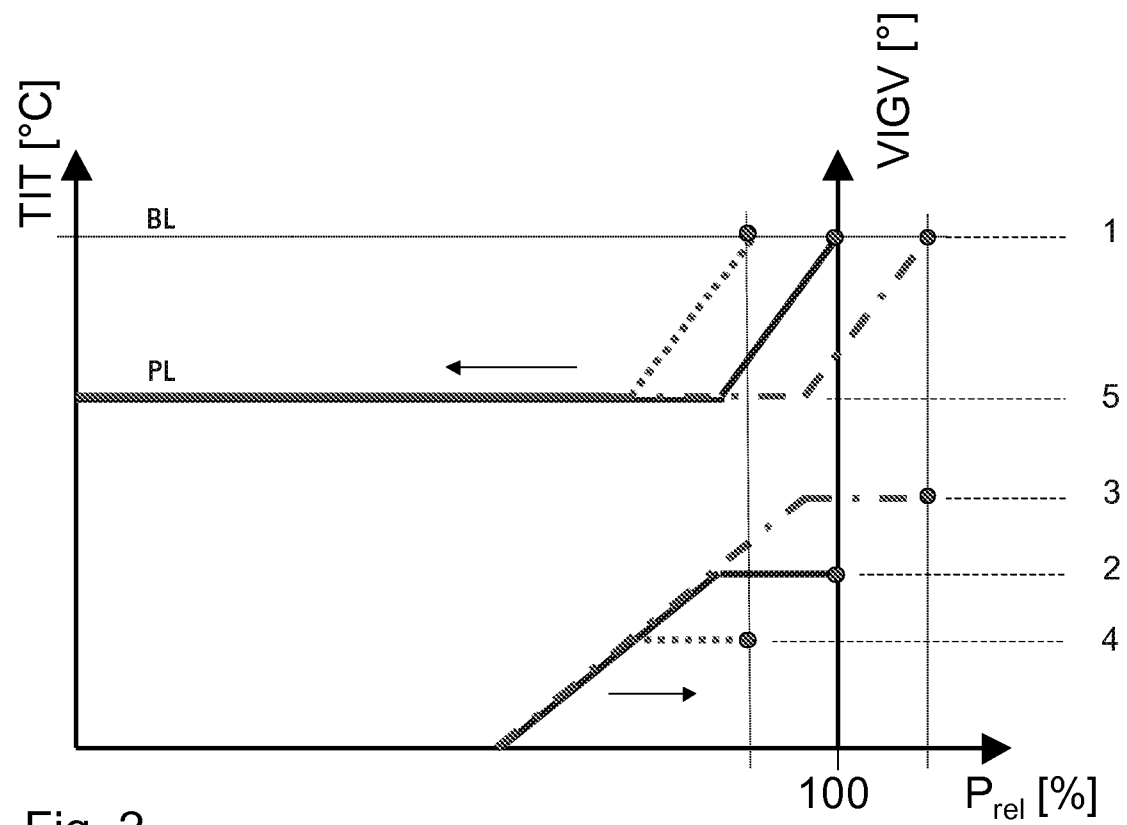


Fig. 2

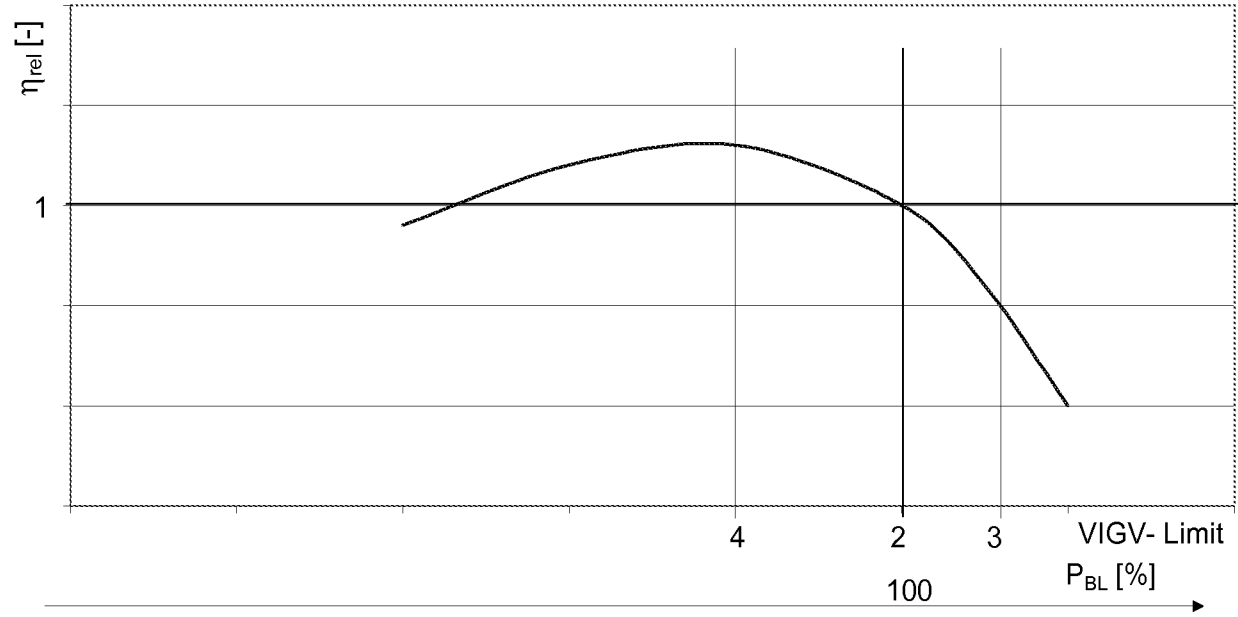


Fig. 3

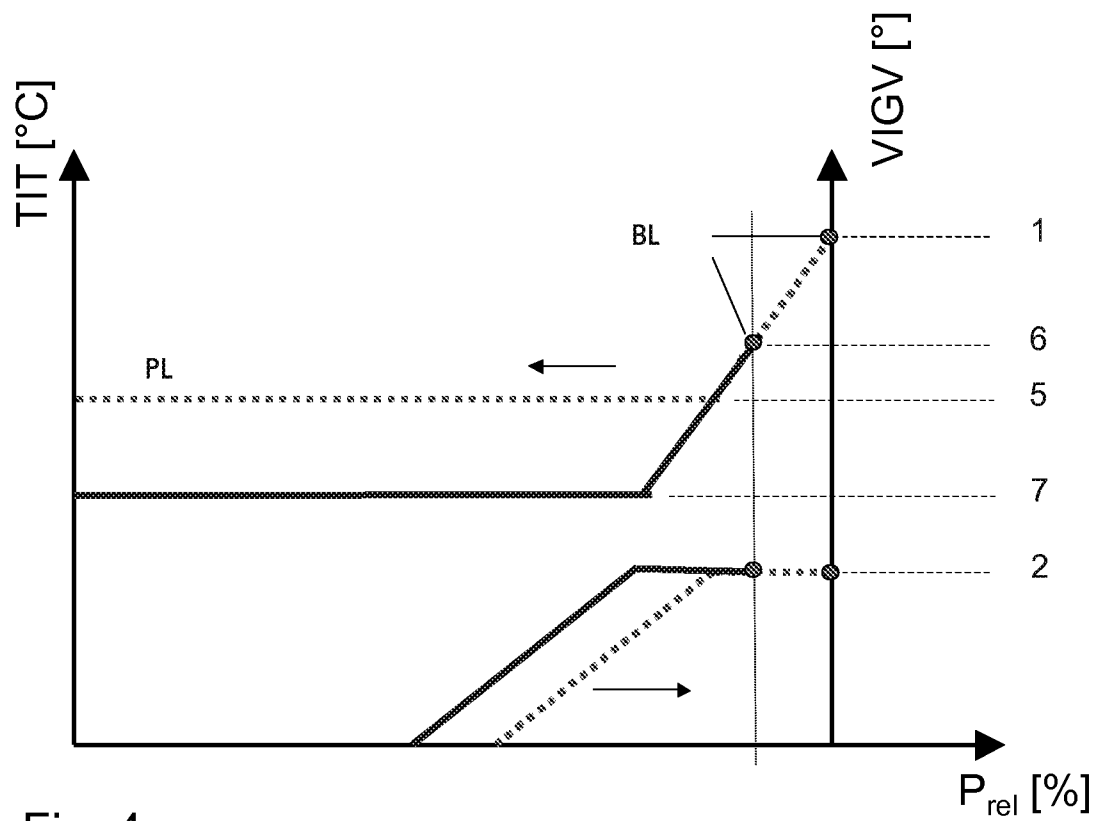


Fig. 4

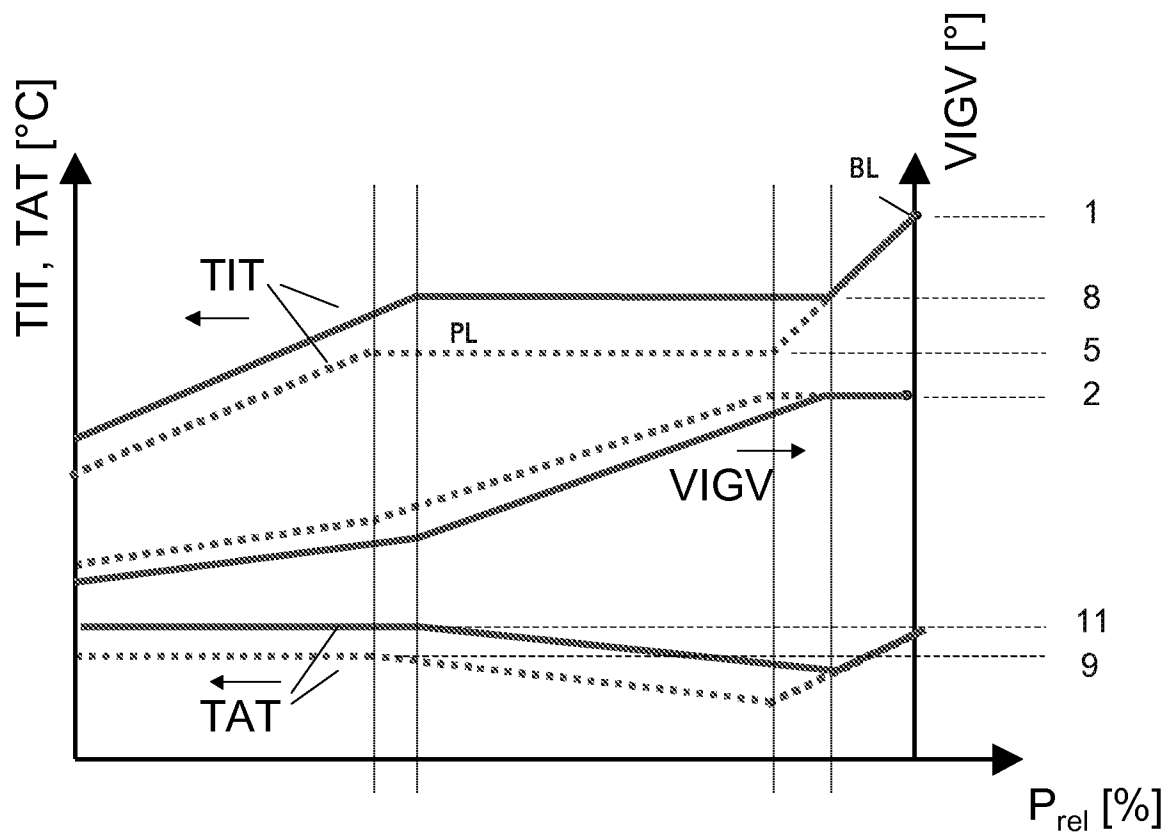


Fig. 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2009/051573

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. F02C9/54 F02C9/28 F02C9/22

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)  
F02C

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, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 256 726 A (GEN ELECTRIC [US]) 13 November 2002 (2002-11-13) paragraphs [0009], [0027] -----	1-16
X	US 6 438 484 B1 (ANDREW PHILIP LYNN [US] ET AL) 20 August 2002 (2002-08-20) column 6, line 33 - line 39 column 6, line 48 - line 52 column 7, line 29 - line 44 -----	1-4, 11, 15, 16
X	DE 103 08 384 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD BADEN [CH]) 9 September 2004 (2004-09-09)  paragraphs [0004], [0007], [0014], [0020] ----- -/-	1, 2, 5, 7-11, 15, 16

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

☒ See patent family annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier 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

17 April 2009

Date of mailing of the international search report

28/04/2009

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Angelucci, Stefano

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/051573

G(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>EP 0 718 470 A (ABB MANAGEMENT AG [CH] ALSTOM [FR]) 26 June 1996 (1996-06-26) cited in the application column 5, line 27 - line 29 column 6, line 17 - line 18 figures</p> <p>-----</p>	11-16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/051573

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1256726	A	13-11-2002	DE 60203560 D1	12-05-2005
			DE 60203560 T2	09-02-2006
			JP 2002371989 A	26-12-2002
			KR 20020081119 A	26-10-2002
			US 2002161550 A1	31-10-2002
US 6438484	B1	20-08-2002	NONE	
DE 10308384	A1	09-09-2004	EP 1597518 A2	23-11-2005
			WO 2004076925 A2	10-09-2004
			US 2006174630 A1	10-08-2006
EP 0718470	A	26-06-1996	CA 2160448 A1	25-06-1996
			DE 4446610 A1	27-06-1996
			JP 3878684 B2	07-02-2007
			JP 8218898 A	27-08-1996
			US 5634327 A	03-06-1997

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/051573

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. F02C9/54 F02C9/28 F02C9/22

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

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
F02C

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 256 726 A (GEN ELECTRIC [US]) 13. November 2002 (2002-11-13) Absätze [0009], [0027]	1-16
X	US 6 438 484 B1 (ANDREW PHILIP LYNN [US] ET AL) 20. August 2002 (2002-08-20) Spalte 6, Zeile 33 - Zeile 39 Spalte 6, Zeile 48 - Zeile 52 Spalte 7, Zeile 29 - Zeile 44	1-4, 11, 15, 16
X	DE 103 08 384 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD BADEN [CH]) 9. September 2004 (2004-09-09)  Absätze [0004], [0007], [0014], [0020]  -/-	1, 2, 5, 7-11, 15, 16

☒ 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

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. April 2009

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/04/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Angelucci, Stefano



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/051573

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>EP 0 718 470 A (ABB MANAGEMENT AG [CH] ALSTOM [FR]) 26. Juni 1996 (1996-06-26) in der Anmeldung erwähnt Spalte 5, Zeile 27 - Zeile 29 Spalte 6, Zeile 17 - Zeile 18 Abbildungen</p> <p>-----</p>	11-16

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/051573

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1256726	A	13-11-2002	DE 60203560 D1	12-05-2005
			DE 60203560 T2	09-02-2006
			JP 2002371989 A	26-12-2002
			KR 20020081119 A	26-10-2002
			US 2002161550 A1	31-10-2002
US 6438484	B1	20-08-2002	KEINE	
DE 10308384	A1	09-09-2004	EP 1597518 A2	23-11-2005
			WO 2004076925 A2	10-09-2004
			US 2006174630 A1	10-08-2006
EP 0718470	A	26-06-1996	CA 2160448 A1	25-06-1996
			DE 4446610 A1	27-06-1996
			JP 3878684 B2	07-02-2007
			JP 8218898 A	27-08-1996
			US 5634327 A	03-06-1997