
Beschrieben wird ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage (1), deren Betrieb sowohl durch wenigstens eine Prozessregelung (2), die betriebsrelevante Prozesse der Gasturbinenanlage (1) zumindest auslöst und/oder beeinflusst, geregelt wird, als auch durch eine separate und unabhängig zur Prozessregelung (2) betriebene Schutzeinheit (6) unter Zugrundelegung mindestens eines ersten Grenzwertes für einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter überwacht wird, wobei die Gasturbinenanlage (1) notausgeschaltet wird, sobald der mindestens eine erste Grenzwert überschritten wird. Die Offenbarung zeichnet sich dadurch aus, dass im Falle eines durch die Schutzeinheit (6) erfassbaren definierten transienten Betriebszustandes der Gasturbinenanlage (1), der mindestens eine erste Grenzwert des sicherheitsrelevanten Betriebsparameters auf einen zweiten Grenzwert angehoben wird, wobei die Gasturbinenanlage (1), sobald dieser zweite Grenzwert überschritten wird, durch ein Notausschalten der Gasturbinenanlage (1) geschützt wird. Weiter können sekundäre Schutzfunktionen in der Prozessregelung (2) durchgeführt werden.

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM SICHEREN BETRIEB EINER GASTURBINENANLAGE

TECHNISCHES GEBIET

Die Offenbarung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage, deren Betrieb sowohl durch wenigstens eine Prozessregelung geregelt wird, die betriebsrelevante Prozesse der Gasturbinenanlage auslöst und/oder beeinflusst, als auch durch eine separate und unabhängig zur Prozessregelung betriebene Schutzeinheit unter Zugrundelegung mindestens eines ersten Grenzwertes für einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter überwacht wird, wobei die Schutzeinheit die Gasturbinenanlage notauschaltet, sobald dieser mindestens eine erste Grenzwert überschritten wird.

STAND DER TECHNIK

Der Betrieb von Gasturbinenanlagen unterliegt hohen Sicherheitsanforderungen, die in internationalen Normen festgelegt sind, wie beispielsweise die Normenreihe IEC 61508, in der die funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektronischer Systeme spezifiziert ist sowie die Anwendung funktionaler Sicherheitsmethoden zur Vermeidung systematischer Fehler sowie zur sicheren Beherrschung von Systemausfällen oder Systemstörungen näher erläutert ist. Eine auf der vorstehenden Norm aufbauende Zusatznorm IEC 61511 beschäftigt sich mit der

funktionalen Sicherheit von sicherheitstechnischen Systemen für die Prozessindustrie, zu der auch der Betrieb von Gasturbinenanlagen zu rechnen ist.

Ein wesentlicher Aspekt der funktionalen Sicherheit beim Betrieb von sicherheitsrelevanten Prozessindustrieanlagen, im Weiteren wird vornehmlich auf den Betrieb von Gasturbinenanlagen abgehoben, betrifft die strikte Trennung zwischen prozessregelungstechnischen Aspekten, die sich auf einen reibungslosen Betrieb sämtlicher Komponenten der Gasturbinenanlage beziehen, und Schutzüberwachungsaufgaben, die beim Auftreten technischer Störungen innerhalb der Gasturbinenanlage dafür sorgen, dass bei Überschreiten eines für die Gasturbinenanlage sowie insbesondere für deren Umgebung vorherrschenden signifikanten Gefahrenpotenzials die Gasturbinenanlage notausgeschaltet wird. Das diesbezügliche Normenwerk für den sicheren Betrieb prozesstechnischer Anlagen fordert eine vollständige funktionale Unabhängigkeit zwischen der die Schutzfunktion übernehmenden Schutzeinheit und einer die prozessregelungstechnischen Aufgaben übernehmenden Prozessregelung einer Gasturbinenanlage. So darf die Prozessregelung einer Gasturbinenanlage die Schutzeinheit in keinem Fall daran hindern, ihrer Schutzfunktion nachzukommen. Dies gilt insbesondere für Personaleingriffe auf die Prozesssteuerung, die im kommerziellen Betrieb einer Gasturbine keinen Einfluss auf die Funktionalität der Schutzeinheit haben dürfen.

Gilt es beispielsweise die Gasturbinenanlage vor überhöhten Wellendrehzahlen zu schützen, so bedarf es lediglich einer Überwachung der Wellendrehzahl und der Vorgabe eines maximal zulässigen Grenzwertes für die Wellendrehzahl, der bei Überschreiten zu einem Gefährdungspotenzial für die Umgebung der Gasturbinenanlage führt. Die Schutzeinheit sorgt in einem derartigen Fall ohne Zwischenschaltung und Abfrage weiterer Systemkomponenten für eine Notausschaltung der Gasturbinenanlage, um diese und die Umgebung vor Schäden zu schützen.

Dieses normative Unabhängigkeitserfordernis tritt jedoch insbesondere beim Betrieb von Gasturbinenanlagen in Konflikt mit für den Gasturbinenanlagenbau typischen

Gegebenheiten. Zum einen sind die in der Schutzeinheit vorzugebenden Schutzkriterien nicht für jede Schutzfunktion allgemein gültig, sondern können von jeder einzelnen Gasturbinenanlage individuell abhängen. Dies bedeutet jedoch, dass zumindest während der Inbetriebnahme von Gasturbinenanlagen ein Zugang zur rechnergestützten Schutzeinheit vorhanden sein muss, um auf diese Weise die Funktionalität der Schutzeinheit individuell, beispielsweise durch entsprechendes Fachpersonal, einzustellen bzw. abzustimmen.

Des Weiteren treten während des Betriebes von Gasturbinenanlagen besondere Betriebszustände auf, in denen beispielsweise Stellventil-Positionen durchaus als korrekt zu beurteilen sind, die jedoch in einer anderen Betriebssituation unverzüglich zu einem erhöhten Gefährdungspotenzial führen würden. Derartige Betriebszustände betreffen vornehmlich so genannte transiente Betriebszustände, in denen die Gasturbinenanlage von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand überführt wird. Transiente Betriebszustände treten beispielsweise beim Anfahren oder bei Laständerungen der Gasturbinenanlage auf, in denen beispielsweise Änderungen in der Brennstoffzuführung vorgenommen werden. Um mit Hilfe einer Schutzeinheit auch derartige Betriebszustände bzw. Betriebszustandsänderungen korrekt abzubilden und ein Gefährdungspotenzial eindeutig zu bestimmen, bedarf es einer Vielzahl sensoruell erfassbarer Statusinformationen aus der Gasturbinenanlage, die zudem eine komplizierte Bewertungslogik erfordern kann. Ein derartiger Ansatz widerspricht jedoch dem Wunsch nach einer möglichst einfachen Bewertungslogik und Überprüfbarkeit durch die Schutzeinheit. Darüber hinaus sollten bereits aus Gründen des Wettbewerbes die zur Realisierung der Schutzfunktionsaufgaben erforderlichen Kosten möglichst gering gehalten werden.

DARSTELLUNG DER OFFENBARUNG

Der Offenbarung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage, deren Betrieb sowohl durch wenigstens eine Prozessregelung geregelt wird, die betriebsrelevante Prozesse der

Gasturbinenanlage zumindest auslöst und/oder beeinflusst, als auch durch eine separate und unabhängig zur Prozessregelung betriebene Schutzeinheit unter Zugrundelegung mindestens eines ersten Grenzwertes für einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter (auch als schutzrelevante Betriebsparameter oder sicherheitsrelevante Betriebsgrösse bezeichnet) überwacht wird, wobei die Gasturbinenanlage notausgeschaltet wird, sobald der mindestens eine erste Grenzwert überschritten wird, derart weiterzubilden, dass die normativ geforderte Schutzfunktion beim Betrieb von Gasturbinenanlagen realisiert werden kann und dies mit möglichst technisch einfachen und kostengünstigen Mitteln. Insbesondere gilt es, dem Erfordernis der vollständigen Unabhängigkeit zwischen Schutzeinheit und Prozessregelung nachzukommen, so dass stets gewährleistet ist, dass die Funktionalität der Schutzeinheit nicht durch die Prozessregelung außer Kraft gesetzt werden kann.

Die Prozessregelung kann beispielsweise durch mindestens einen geschlossenen Regelkreis realisiert werden. Mit dem geschlossenen Regelkreis wird mindestens eine Regelgrösse, wie z.B. die Leistung, ein Druck oder eine Temperatur des Gasturbinenprozesses auf einen Zielwert geregelt. Dabei erhält die Prozessregelung Signale von Sensoren die die Regelgrösse des Systems direkt oder indirekt bestimmen und berechnet die Steuersignale für Aktuatoren, die die Regelgrösse direkt oder indirekt beeinflussen. Dies kann z.B. ein Steuersignal für einen Aktuator für ein Brennstoffregelventil sein um eine Heissgastemperatur oder Abgastemperatur zu beeinflussen oder z.B. ein Steuersignal für einen Aktuator für verstellbare Verdichterleitschaufeln sein, um den Ansaugmassenstrom des Verdichters zu regeln und damit einen Druck oder eine Temperatur zu beeinflussen. Der Zielwert kann von den Betriebsbedingungen der Gasturbine abhängen. Die Schutzeinheit, auch als Schutzrechner bezeichnet, erhält Signale von Sensoren die schutzrelevante Grössen direkt (z.B. eine Abgastemperatur) oder indirekt (z.B. eine Heissgastemperatur, die als Funktion der Abgastemperatur und des Druckverhältnisses über die Turbine angenähert wird) messen oder ermitteln und löst bei einem Überschreiten eines Grenzwertes der schutzrelevanten Grösse eine Schutzfunktion, typischerweise ein Notausschalten oder Schnellentlasten der Gasturbine, aus. Das Notausschalten kann beispielsweise über das Schliessen eines

Schnellschlussventils (auch Tripventil genannt), mit dem die Brennstoffzufuhr zur Gasturbine unterbunden wird, erfolgen.

Die Lösung der der Offenbarung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 8 ist eine lösungsgemäße Vorrichtung zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage. Den lösungsgemäßen Gedanken weiterbildende Merkmale sind in den Unteransprüchen angegeben sowie der weiteren Beschreibung, insbesondere unter Bezugnahme auf Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

Lösungsgemäß zeichnet sich ein Verfahren zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage gemäß den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1 dadurch aus, dass im Falle eines transienten Betriebszustandes der Gasturbinenanlage, bei dem die Gasturbinenanlage von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand überführt wird, dieser transiente Zustand mithilfe eines geeignet ausgewähltem Prozesssignals durch die Schutzeinheit erkannt werden kann, und das dadurch durch das der mindestens eine erste Grenzwert des sicherheitsrelevanten Betriebsparameters auf einen zweiten Grenzwert angehoben wird, wobei die Gasturbinenanlage, sobald dieser zweite Grenzwert überschritten wird, durch ein Notausschalten der Gasturbinenanlage geschützt wird, ohne dass dieser Schutz durch ein Ausgabesignal der Prozessregelung beeinflusst oder ausser Kraft gesetzt werden kann.

Beispielsweise wird der zweite Grenzwert des jeweils sicherheitsrelevanten Betriebsparameters für eine Zeitspanne angewandt, in der Stellvorgänge von einzelnen Stellgliedern der Gasturbinenanlage vorgenommen werden.

In an sich bekannter Weise erfolgt die systemrelevante funktionelle Einflussnahme auf sämtliche Komponenten der Gasturbinenanlage durch die Prozessregelung, die für einen reibungslosen Anlagenbetrieb sorgt. Hierzu sind sämtliche gasturbinenspezifische Prozesse, die in den unterschiedlichen Komponenten der Gasturbinenanlage ablaufen, systemspezifisch aufeinander abzustimmen. Dies setzt

die genaue Kenntnis über anlagenspezifische Betriebsgrößen voraus, die mit Hilfe einer Vielzahl in der Gasturbinenanlage vorgesehener Sensoren erfasst werden und zur weiteren Aus- und Bewertung der Prozessregelung zugeführt werden.

Im Rahmen der Prozessregelung erfolgt auf der Grundlage einer vorgegebenen Regelungslogik, auf die situativ auch während des Betriebes der Gasturbinenanlage, beispielsweise durch Betriebspersonal, zugegriffen werden kann, die Ansteuerung und Regelung betriebsrelevanter Prozessgrößen, deren Überwachung durch eine in der Prozessregelung abgelegte Betriebssicherheitslogik vorgenommen wird, d.h. der reibungslose Betrieb einer Gasturbinenanlage wird durch die Prozessregelung selbst überwacht. Auf diese Weise ist es möglich, in den Systemkomponenten der Gasturbinenanlage auftretende Hardware-Fehler, beispielsweise bei Ventilstellungen oder bei der Dosierung von Luft- bzw. Brennstoffzufuhrmengen etc., rechtzeitig zu detektieren und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Derartige Korrekturen können durch die Prozessregelung zur Behebung kleiner Fehler, die nur mit geringem Risikopotential verbunden sind, behoben werden. Handelt es sich hingegen um fehlerhafte Befehlseingaben durch Bedienpersonal oder um in der Regelungslogik auftretende systematische Fehler, so können derartige, mit einem hohen Risikopotential für die Gasturbinenanlage sowie dessen Umfeld verbundene Gefahrensituationen nicht oder in einem nicht ausreichenden Maße durch die in der Prozessregelung implementierte Sicherheitslogik erfasst werden. Derartige, mit einem hohen Risiko- bzw. Gefahrenpotential verbundene Betriebszustände gilt es durch die separat vorgesehene Schutzeinheit zu detektieren und entsprechend zu entschärfen, beispielsweise im Wege der Notausschaltung der Gasturbinenanlage.

Zur Beurteilung des tatsächlich vorhandenen Gefahrenpotentials der im Betrieb befindlichen Gasturbinenanlage ist es erforderlich, dass der Schutzeinheit wenigstens ein sicherheitsrelevanter Betriebsparameter der Gasturbinenanlage direkt zur Verfügung gestellt wird, d.h. der wenigstens eine unmittelbar an der Gasturbinenanlage sensorisch erfasste sicherheitsrelevante Betriebsparameter wird direkt der Schutzeinheit zugeführt.

In besonders bevorzugter Weise werden als sicherheitsrelevante Betriebsparameter folgende Messgrößen von der Gasturbinenanlage erfasst: Drehzahl der Welle, an der Welle auftretende Vibrationen, Amplituden und/oder Frequenz von Brennkammerpulsationen sowie Prozesstemperaturen innerhalb jeweiliger Komponenten der Gasturbinenanlage, so beispielsweise Verdichterauslasstemperatur, Brennkammertemperatur, Gasturbinenauslasstemperatur, um nur einige zu nennen.

Eine besondere Klasse sicherheitsrelevanter Betriebsparameter sind die Stellungssignale von Ventilen, insbesondere von Brennstoffregelventilen (kontinuierliche Positionsanzeige oder binäre Endschalersignale). Diese Parameter zeigen das Gefahrenpotential einer Betriebssituation nur mittelbar an, in Kombination miteinander oder mit anderen Betriebsparametern. Das Gefahrenpotential wird über logische Schlussfolgerungen erkannt. So zeigt zum Beispiel das Fehlen der Positionsmeldung „geschlossen“ eines Brennstoffabsperrentils bei gleichzeitiger Abwesenheit eines Flammensignales aus der Brennkammer die Gefahrensituation an, dass Brennstoff in die Turbine strömt und sich unverbrannt weiter im Prozesspfad ausbreiten und mit Luft zu einem explosiven Gemisch vermischen kann.

Sollte wenigstens ein von der Schutzeinheit überwachter, sicherheitsrelevanter Betriebsparameter einen diesem zugeordneten und in der Schutzeinheit abgelegten ersten Grenzwert überschreiten, so befindet sich die Gasturbinenanlage in einem Zustand mit einem signifikant hohen Gefährdungspotential für die Gasturbinenanlage selbst sowie deren Umgebung, so dass die Schutzeinheit ein Signal generiert, durch das die Gasturbinenanlage notausgeschaltet wird.

Befindet sich die Gasturbinenanlage jedoch in einem transienten Betriebszustand, der beispielsweise beim Anfahren der Gasturbine oder bei einem Lastwechsel auftritt, so unterliegen auch die sicherheitsrelevanten Betriebsparameter signifikanten Größenänderungen, die fallweise zu Grenzwertüberschreitungen innerhalb der Schutzeinheit führen, wodurch die Gasturbinenanlage zu deren Schutz notausgeschaltet würde. In diesen Fällen indiziert die Grenzwertüberschreitung noch

nicht unmittelbar eine Gefahr, da die Überschreitung von vorneherein durch die Betriebslogik zeitlich beschränkt ist und da sich bei korrekter Ausgestaltung des transienten Prozesses in dieser Zeit keine Gefahrensituation entwickeln kann. Die Grenzwertüberschreitung kann also kurzzeitig, gegebenenfalls unter Überprüfung zusätzlicher Randbedingungen, toleriert werden. In diesen Fällen würde ein Sicherheitsabschalten einen kontinuierlichen Betrieb der Gasturbinenanlage verhindern.

Um derartige Notabschaltungen während transients Betriebszuständen zu vermeiden, sieht das lösungsgemäße Verfahren eine vorübergehende Anhebung des wenigstens einen in der Schutzeinheit abgelegten Grenzwertes ausschließlich für den Betriebsfall vor, in dem sich die Gasturbinenanlage in einem transienten Betriebszustand befindet. Im Falle von binären Stellungssignalen von Prozessventilen, ist die „Anhebung des Grenzwertes“ als Aufhebung oder Relaxzierung der logischen Bedingungen für die Auslösung des Abschaltsignals zu verstehen.

Durch die ausschließlich für die Zeitspanne eines transienten Betriebszustandes vorgenommene Anhebung des wenigstens einen Grenzwertes, mit dem der jeweils sensorisch erfasste sicherheitsrelevante Betriebsparameter verglichen wird, wird die Restriktivität, mit der die Schutzeinheit die Gasturbinenanlage sicherheitsüberwacht, vorübergehend herabgesetzt, so dass transiente Betriebszustände einer Gasturbinenanlage unterbrechungsfrei durchfahren werden können. Zur Feststellung, ob ein transienter Betriebszustand vorliegt, wird nicht die Prozessregelung herangezogen, da es nicht möglich sein darf, dass die Auslösung der Schutzaktion durch eigene Ausgabesignale der Prozessregelung oder durch Manipulationen des Bedienungspersonals verhindert wird.

Ein transienter Betriebszustand kann durch die Schutzeinheit auf eine der folgende Weisen erkannt werden:

- durch ein geeignet ausgewähltes Prozesssignal, das einen definierten Wert einnimmt oder einen Grenzwert überschreitet, oder wie weiter oben beschrieben, gegebenenfalls durch Gradientenbildung. Transiente Zustände,

die für Wellenschwingungen relevant sind, können zum Beispiel durch die Auswertung des zeitlichen Verlaufes der Wellengeschwindigkeit mit geringer logischer Komplexität erkannt werden.

- dadurch, dass eine „unzulässige“ Signalkombination (z.B. von Ventilstellungen) nur innerhalb eines zeitlich begrenzten Toleranzfensters auftaucht und wieder verschwindet (siehe die Erläuterung oben). In diesem Fall erkennt die Schutzeinheit, dass ein transienter Betriebszustand vorliegt und unterlässt die Auslösung der Schutzreaktion für ein vorbestimmtes Zeitfenster. Diese „Erkennung“ lässt sich gegebenenfalls noch durch zusätzliche logische Beschränkungen stützen – beispielsweise durch eine Beschränkung der Frequenz, in der solche Toleranzfenster zugelassen werden können.

Ein wesentliches Merkmal der Offenbarung besteht darin, dass in der Prozessregelung eine sekundäre Schutzfunktion implementiert werden kann. Der Prozessregelung stehen ohnehin sämtliche, sensorisch erfassten, regelungsrelevanten Betriebsparameter zur Verfügung, die durch geeignete Analyse das Vorliegen und die Dauer eines transienten Betriebszustandes zweifelsfrei belegen. Diese Erkennung des Betriebszustandes ist ohnehin bereits durch das Abfahren bestimmter Sequenzen in der Software konfiguriert. Der aktuelle Betriebszustand wird durch den aktuellen Schritt in der gerade ablaufenden Betriebssequenz eindeutig festgelegt. Das bedeutet, dass der „zusätzliche Schutz in der Prozessregelung“ genauer an den vorgesehenen Betriebsablauf angepasst werden kann, und bei transienten Betriebszuständen durch den Prozessregler rascher auf Abweichungen reagiert werden kann, als durch die eigentliche Schutzeinheit. Das heisst, der Schutz in der Prozessregelung kommt ohne oder mit einer kürzeren Zeitverzögerungen aus. Auch vorübergehende Anhebungen des Grenzwertes können z.B. manuell an die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden. Dieser sekundäre Schutz ist unter allen Umständen nur ein zusätzlicher Schutz zu der primären Schutzfunktion der Schutzeinheit und kann diese nicht ausser Kraft setzen.

Das bedeutet, dass die sekundäre Schutzfunktion in der Prozesslogik in ihren Schutzkriterien strenger sein kann, als die primäre Schutzfunktion in der Schutzeinheit. Grenzwerte für die Auslösung von Schutzaktionen können näher an das Betriebsfenster gelegt werden, das für eine individuelle Maschine benötigt wird. Das heisst, die Differenz zwischen dem Wert einer überwachten Grösse (z.B. Temperatur, Druck, Vibration, Pulsation oder Drehzahl usw.), an dem eine Schutzfunktion in der Prozesslogik ausgelöst wird und den Werten, die im normalen Betrieb der Gasturbine erwartet werden, kann kleiner gewählt werden, als die Differenz zwischen dem Wert der selben überwachten Grösse, an dem eine Schutzfunktion in der Schutzeinheit ausgelöst wird und den Werten, die im normalen Betrieb der Gasturbine erwartet werden. Es ist möglich die Parameter der sekundären Schutzfunktion während der Inbetriebnahme jeder Maschine individuell angepasst durch das Inbetriebnahmepersonal einstellen zu lassen. Toleranzzeiten für das Auftreten potentiell gefährlicher Ventilstellungen können zeitlich und logisch unmittelbar an die betriebliche Sequenz gekoppelt werden, da in der Prozesssteuerung alle Information darüber vorhanden ist, ob sich die Maschine in einer transienten Betriebssequenz befindet und in welchem Schritt sie sich genau zu jedem gegebenen Zeitpunkt befindet.

Es bleibt aber zu beachten, dass die sekundäre Schutzfunktion des Prozessreglers weniger zuverlässig ist. Sie sind mit weniger „Sicherheitsintegrität“ ausgestattet, als die primären Schutzfunktionen in der Schutzeinheit, da sie Fehlerpotentialen (siehe oben) der Betriebslogik ausgesetzt ist und insbesondere auch durch Entscheidungen des Betriebspersonales beeinflusst werden kann. Daher ist die unabhängige Schutzeinheit unabdingbar. Diese Schutzeinheit ist autark, d.h. sie kann während des Betriebes nicht von aussen beeinflusst werden. Insbesondere können die Grenzwerte der Schutzeinheit weder von dem Prozessregler noch über Eingabemittel, wie eine Tastatur, einen Touch-Bildschirm oder andere Mensch-Maschine Interface beeinflusst werden. Die schutzrelevanten Grenzwerte können auch nicht durch Eingabe von Kommandosignalen, d.h. beispielsweise der Vorgabe einer Sollleistung oder der Auswahl einer bestimmten Betriebsart (Brennstoffauswahl, Frequenzunterstützung, Spitzenleistung oder ähnliches) direkt beeinflusst werden.

Die Grenzwerte der Schutzeinheit können typischerweise nur durch den tatsächlichen Betriebszustand der Gasturbine beeinflusst werden, beispielsweise kann in der Schutzeinheit ein für Betrieb mit Öl ein anderer Grenzwert für eine Heissgastemperatur vorgegeben sein als für den Betrieb mit Gas.

Beispielsweise für den Fall der Überwachung von an der Welle der Gasturbinenanlage auftretenden Vibrationen durch die Schutzeinheit vermag der diesbezüglich höher gesetzte zweite Grenzwert Vibrationsstärken zu tolerieren, die unweigerlich zu Maschinenschäden führen würden, sofern die Vibrationsstärke über einen längeren Zeitraum anhalten würde. Da sich die Gasturbine in diesem Fall jedoch in einem transienten Betriebszustand befindet, ist davon auszugehen, dass die erhöhten Wellenvibrationen nur vorübergehend auftreten, so dass die Schutzeinheit in diesem Falle kein Signal zur Notausschaltung generiert. Um zu erkennen, dass die Gasturbine sich in einem transienten Betriebszustand befindet, kann in diesem Fall der Gradient der Drehzahl in der Schutzeinheit gebildet werden. Weiter kann die absolute Drehzahl bei der Festlegung des Grenzwertes berücksichtigt werden. Sollten hingegen auch während eines festgestellten transienten Betriebszustandes Vibrationen an der Welle auftreten, die zur Zerstörung der Gasturbinenanlage und einer damit verbundenen hohen Gefahr für die Umgebung führen können, so wäre der höher gesetzte zweite Grenzwert überschritten und die Gasturbinenanlage zu ihrem Schutz notausgeschaltet.

Des Weiteren können während transientser Betriebszustände Ventilstellungskombinationen auftreten, die bei einem normalen Betriebszustand der Gasturbinenanlage zu einem erhöhten Gefahrenpotential führen würden. Beispielsweise könnten sich auf diese Weise explosive Gas- oder Gasgemische in ungeschützten Gasturbinenbereichen ansammeln, die zur Explosion führen könnten. Aufgrund der jedoch nur kurzfristig andauernden Ventilstellungskombination ist ein damit verbundenes Risikopotenzial vertretbar gering, so dass signifikante Gefährdungen von Maschine oder Umgebung ausgeschlossen werden könne. Um zu vermeiden, dass die Schutzeinheit eine derartige gefährliche Ventilstellungskombination während eines transienten Betriebszustandes als

Auslöseereignis für die Notausschaltung der Gasturbinenanlage detektiert, wird der Schutzeinheit eine Zeitverzögerung auferlegt, innerhalb der die Schutzeinheit eine derartige, als gefährlich einzustufende Ventilstellungskombination als tolerabel einstuft. In diesem Zusammenhang wird der erste Grenzwert, der eine Zeitspanne umfasst, für den Fall des transienten Betriebszustandes auf einen zweiten, höheren Grenzwert, d.h. eine größere Zeitspanne angehoben, in der die Schutzeinheit trotz festgestellter gefährlicher Ventilstellung kein Notsignal generiert.

Als Auslösung zur Erkennung eines transienten Betriebszustands kann hier die Änderung einer oder mehrerer Ventilstellungen in der Schutzeinheit genutzt werden.

Das vorstehend skizzierte lösungsgemäße Verfahren ist mit einer Vorrichtung durchführbar, die zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage mit wenigstens einer Prozessregelung, die Signale generiert, die in der Gasturbinenanlage betriebsrelevante Prozesse zumindest auslösen und/oder diese beeinflussen, sowie mit einer zur Prozessregelung separaten Schutzeinheit, der wenigstens ein erster Grenzwert für einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter zugrunde gelegt ist und die bei Überschreiten des ersten Grenzwertes die Gasturbine notausschaltet. Die lösungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass eine Sensoreinheit vorgesehen ist, die schutzrelevante Betriebsparameter von der Gasturbine erfasst, die der Schutzeinheit zuführbar sind, und dass die Schutzeinheit eine Logik aufweist, mit der sie bestimmte transiente Betriebszustände, d.h. Übergangszustände von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand, erkennen kann. Die Schutzeinheit verfügt über ein den ersten Grenzwert auf einen zweiten, höheren Grenzwert anhebendes Mittel. Wobei sie, sobald die Logik einen definierten transienten Betriebszustand erkannt hat, von dem ersten Grenzwert auf den zweiten Grenzwert umschaltet. Weiter verfügt die Schutzeinheit über eine Schnittstelle zur Sensoreinheit, über die wenigstens eine sensorisch erfasste Betriebsgröße, die einem sicherheitsrelevanten Betriebsparameter entspricht, direkt, d.h. ohne Zwischenschaltung der Prozessregelung übertragbar ist. Schließlich vermag die Schutzeinheit bei Überschreiten des zweiten Grenzwertes die Gasturbine notauszuschalten.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Bevorzugte Ausführungsformen der Offenbarung werden im Folgenden anhand der Zeichnungen beschrieben, die lediglich zur Erläuterung dienen und nicht einschränkend auszulegen sind. In der Zeichnung zeigt die Fig. 1 eine Vorrichtung zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

In Fig. 1 sind schematisch all jene Komponenten illustriert, die für einen sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage 1 erforderlich sind. Zunächst gilt es, die Gasturbinenanlage 1 mit Hilfe einer rechnerbasierten Prozessregelung 2 betriebskonform zu betreiben. Hierzu werden der Prozessregelung 2 an der Gasturbine 1 sensoruell erfasste betriebsrelevante Prozess- bzw. Betriebsparameter 3b, die nur zur Prozessregelung, sowie alle Betriebsparameter 3a', die sowohl schutzrelevant sind als auch zur Prozessregelung erforderlich sind, zur weiteren Be- und Auswertung zugeführt. Die Prozessregelung 2 generiert Regelsignale, die über Signalleitungen (nicht gezeigt) den einzelnen Komponenten der Gasturbinenanlage 1 zugeführt werden.

Zusätzlich ist separat und unabhängig von der Prozessregelung 2 eine Schutzeinheit 6 vorgesehen, die gleichfalls als selbständig arbeitender Prozessrechner ausgebildet ist. Die Schutzeinheit 6 erhält sensorisch erfasste Betriebsparameter 3a, die sicherheitsrelevante Betriebsparameter darstellen unmittelbar von den jeweiligen, an der Gasturbinenanlage 1 vorgesehenen Sensoren.

Innerhalb der Schutzeinheit 6 erfolgt jeweils ein Vergleich des wenigstens einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter mit einem ersten Grenzwert. Im Falle eines Überschreitens des ersten Grenzwertes sendet die Schutzeinheit 6 ein Signal aus, das über die Leitungen 7 und 5 unverzüglich zu einer Notausschaltung der

Gasturbinenanlage 1 führt. Sicherheitsrelevante Betriebsparameter 3a', die ausserdem für die Prozessregelung benötigt werden, werden von der Schutzeinheit 6 an die Prozessregelung 2 übertragen.

Um zu vermeiden, dass die Gasturbinenanlage 1 innerhalb eines transienten Betriebszustandes aufgrund der restriktiv vorgegebenen ersten Grenzwerte durch die Schutzeinheit 6 notabgeschaltet wird, erfolgt ausschließlich während eines derartigen transienten Betriebszustandes eine Anhebung der in der Schutzeinheit 6 abgelegten Grenzwerte auf jeweils höhere Grenzwerte. Auf diese Weise wird die in der Schutzeinheit 6 abgelegte Sicherheitspolitik aufgeweicht. Die Detektion eines transienten Betriebszustandes erfolgt durch die Schutzeinheit 6 auf Basis der ihr zugeführten sicherheitsrelevanten Betriebsparameter 3a, die Schutzeinheit eine eigene Logik zur Erkennung definierter transientser Betriebszustände umfasst. In dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel verfügt die Schutzeinheit 6 darüber hinaus über eine Sicherheits-Notabschaltung 8, die gegebenenfalls manuell betätigt werden kann.

Vorzugsweise ist unmittelbar vor der Gasturbinenanlage 1 eine Schalteinheit 9 zwischengeschaltet, die ein Notausschaltsignal erzeugt, sofern zwei der drei Signalleitungen 5 unterbrochen sind.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Gasturbinenanlage
- 2 Prozessregelung
- 3 Betriebsparameter
- 3a Sicherheitsrelevante Betriebsparameter
- 3a' Sicherheits- und regelungsrelevante Betriebsparameter
- 3b Regelungsrelevante Betriebsparameter
- 4 Signalleitungen
- 5 Signalleitungen
- 6 Schutzeinheit
- 7 Signalleitungen
- 8 Sicherheitsnotausschaltung
- 9 Schaltmodul

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage (1), deren Betrieb sowohl durch wenigstens eine Prozessregelung (2), die betriebsrelevante Prozesse der Gasturbinenanlage (1) zumindest auslöst und/oder beeinflusst, geregelt wird, als auch durch eine separate und unabhängig zur Prozessregelung (2) betriebene Schutzeinheit (6) unter Zugrundelegung mindestens eines ersten Grenzwertes für einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter (3a) überwacht wird, wobei die Gasturbinenanlage (1) durch die Schutzeinheit (6) notausgeschaltet wird, sobald der mindestens eine erste Grenzwert überschritten wird, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Falle eines durch die Schutzeinheit (6) erkennbaren transienten Betriebszustandes der Gasturbinenanlage (1), bei dem die Gasturbinenanlage (1) von einem ersten Betriebszustand in einen zweiten Betriebszustand überführt wird, der mindestens einen ersten Grenzwert des sicherheitsrelevanten Betriebsparameters auf einen zweiten Grenzwert angehoben wird, wobei die Gasturbinenanlage (1), sobald dieser zweite Grenzwert überschritten wird, durch ein Notausschalten der Gasturbinenanlage (1) geschützt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine sicherheitsrelevante Betriebsparameter (3a), dem jeweils ein erster und zweiter Grenzwert zugeordnet wird, aus den nachfolgenden Betriebsparametern für eine Gasturbinenanlage (1) ausgewählt wird:

- Drehzahl der Welle der Gasturbinenanlage (1),
- Vibrationen der Welle der Gasturbinenanlage (1),
- Amplitude und/oder Frequenz der Brennkammerpulsationen der Gasturbinenanlage (1),
- Temperaturen, denen Komponenten der Gasturbinenanlage (1) ausgesetzt sind,

- Ventilstellungen in Kombinationen miteinander oder mit anderen Betriebsparametern.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der zweite Grenzwert des jeweils sicherheitsrelevanten Betriebsparameters (3a) für eine vorgegebene Zeitspanne angewandt wird, in der transiente Betriebszustände einer Gasturbinenanlage unterbrechungsfrei durchfahren werden können .
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass der zweite Grenzwert des wenigstens einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameters (3a) derart gewählt wird, so dass sichergestellt wird, dass die Gasturbinenanlage (1) durch die Schutzeinheit (6) bei Erreichen eines für die Umgebung der Gasturbinenanlage (1) als gefährlich einzustufenden Gefahrenpotenzials notausgeschaltet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Prozessregelung (2) auf der Grundlage von an der Gasturbinenanlage (1) sensorisch erfassten Betriebsparametern (3, 3a', 3b) den Betriebszustand der Gasturbinenanlage (1) ermittelt und feststellt, ob sich die Gasturbinenanlage (1) in einem transienten Betriebszustand befindet oder nicht, und abhängig von dem ermittelten Betriebszustand aber unabhängig von der Schutzeinheit (6) ein Schutzentlasten oder Notabschalten der Gasturbine (1) bei Überschreiten von Betriebslimiten durchführt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Betriebslimiten der Betriebsparameter (3, 3a', 3b), mit denen in der Prozessregelung (2) ein Schutzentlasten oder Notabschalten der Gasturbine (1) bei Überschreiten von Betriebslimiten durchführt, näher an den Werten liegen, die die überwachten Betriebsparameter (3, 3a', 3b) im störungsfreien Betrieb der Gasturbine (1) einnehmen, als die Grenzwerte der Schutzeinheit (6).

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Prozessregelung (2) über wenigstens ein Eingabemittel Kommandosignale während des Betriebes der Gasturbinenanlage (1) zugeführt werden können, durch die Einfluss auf die Prozessregelung (2) genommen werden kann, und dass die Schutzeinheit (6) autark und ohne jegliche diesbezüglichen Eingabemittel arbeitet.

8. Vorrichtung zum sicheren Betrieb einer Gasturbinenanlage (1) mit wenigstens einer Prozessregelung (2), die Signale generiert, die in der Gasturbinenanlage (1) betriebsrelevante Prozesse zumindest auslösen und/oder diese beeinflussen, sowie mit einer zur Prozessregelung (2) separaten Schutzeinheit (6), die über eine Schnittstelle zu einer Sensoreinheit verfügt, über die wenigstens eine sensorisch erfasste sicherheitsrelevante Betriebsgröße (3a), direkt, d.h. ohne Zwischenschaltung der Prozessregelung (2), übertragbar ist, wobei wenigstens ein erster Grenzwert für einen sicherheitsrelevanten Betriebsparameter (3a) zugrunde gelegt ist und die Schutzeinheit (6) bei Überschreiten des ersten Grenzwertes die Gasturbinenanlage (1) notausschaltet, dadurch **gekennzeichnet**, dass von der Schutzeinheit (6) eine Signalleitung zur Übertragung von sicherheits- und regelungsrelevanten Betriebsparameter (3a') zur Prozessregelung (2) führt und dass die Schutzeinheit (6) eine die sicherheitsrelevanten Betriebsparameter (3a) auswertende Logik umfasst, die einen transienten Zustand der Gasturbine (1) erkennen kann und bei Erkennung eines transienten Zustandes den ersten Grenzwert auf einen zweiten, höheren Grenzwert anheben kann und dass die Schutzeinheit (6) bei Überschreiten des zweiten Grenzwertes die Gasturbinenanlage (1) notausschaltet.

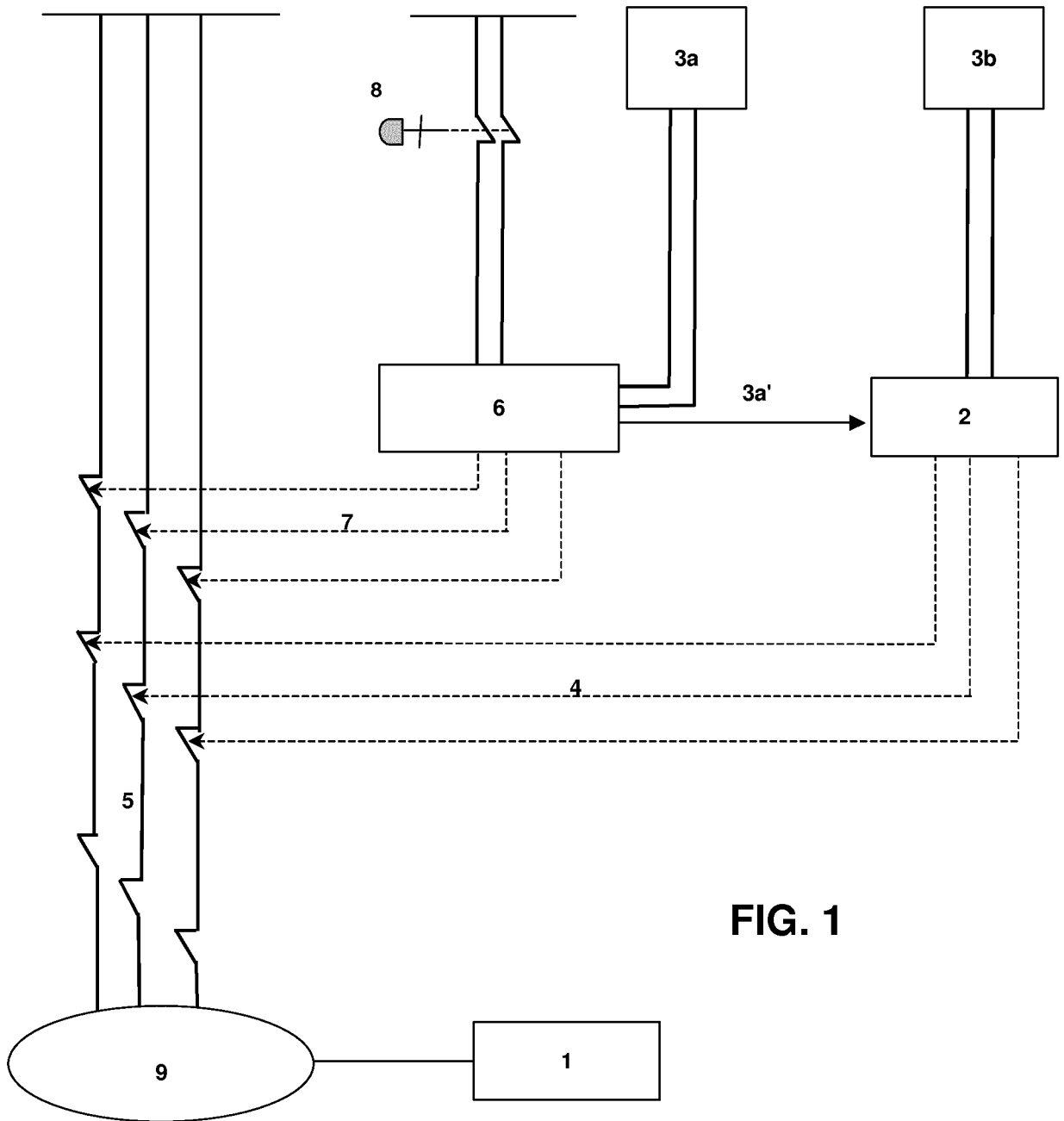


FIG. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/056361

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02C9/28 F02C9/46 F01D21/14
ADD.
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 F01D
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/109038 A1 (MATTHEWS PETER JOHN D [CA] MATTHEWS PETER JOHN DAVID [CA]) 26 May 2005 (2005-05-26)	1,3,4, 6-8
Y	figure 2 paragraphs [0004], [0005], [0016], [0017], [0019]	2,5
Y	----- US 2007/005219 A1 (MURAMATSU HIRONORI [JP] ET AL) 4 January 2007 (2007-01-04) paragraph [0009]	2
Y	----- US 2006/225403 A1 (TSUZUKI SADACHIKA [JP] ET AL) 12 October 2006 (2006-10-12) paragraph [0004]	2
Y	----- US 2005/217273 A1 (MURAMATSU HIRONORI [JP] ET AL) 6 October 2005 (2005-10-06) paragraph [0006] - paragraph [0007]	5

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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 18 June 2013	Date of mailing of the international search report 26/06/2013
---	--

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 Klados, Iason
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2013/056361

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005109038	A1	26-05-2005	CA 2547214 A1 01-12-2005
			EP 1692381 A1 23-08-2006
			JP 2007511701 A 10-05-2007
			US 2005109038 A1 26-05-2005
			US 2006156736 A1 20-07-2006
			WO 2005113962 A1 01-12-2005

US 2007005219	A1	04-01-2007	US 2007005219 A1 04-01-2007
			US 2011005296 A1 13-01-2011

US 2006225403	A1	12-10-2006	JP 2006291762 A 26-10-2006
			US 2006225403 A1 12-10-2006

US 2005217273	A1	06-10-2005	CA 2503098 A1 30-09-2005
			GB 2412752 A 05-10-2005
			JP 4434814 B2 17-03-2010
			JP 2005291069 A 20-10-2005
			US 2005217273 A1 06-10-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/056361

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02C9/28 F02C9/46 F01D21/14
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02C F01D

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/109038 A1 (MATTHEWS PETER JOHN D [CA] MATTHEWS PETER JOHN DAVID [CA]) 26. Mai 2005 (2005-05-26)	1,3,4, 6-8
Y	Abbildung 2 Absätze [0004], [0005], [0016], [0017], [0019]	2,5
Y	US 2007/005219 A1 (MURAMATSU HIRONORI [JP] ET AL) 4. Januar 2007 (2007-01-04) Absatz [0009]	2
Y	US 2006/225403 A1 (TSUZUKI SADACHIKA [JP] ET AL) 12. Oktober 2006 (2006-10-12) Absatz [0004]	2
Y	US 2005/217273 A1 (MURAMATSU HIRONORI [JP] ET AL) 6. Oktober 2005 (2005-10-06) Absatz [0006] - Absatz [0007]	5

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
18. Juni 2013	26/06/2013

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 Klados, Iason
--	--

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/056361

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005109038 A1	26-05-2005	CA 2547214 A1	01-12-2005
		EP 1692381 A1	23-08-2006
		JP 2007511701 A	10-05-2007
		US 2005109038 A1	26-05-2005
		US 2006156736 A1	20-07-2006
		WO 2005113962 A1	01-12-2005

US 2007005219 A1	04-01-2007	US 2007005219 A1	04-01-2007
		US 2011005296 A1	13-01-2011

US 2006225403 A1	12-10-2006	JP 2006291762 A	26-10-2006
		US 2006225403 A1	12-10-2006

US 2005217273 A1	06-10-2005	CA 2503098 A1	30-09-2005
		GB 2412752 A	05-10-2005
		JP 4434814 B2	17-03-2010
		JP 2005291069 A	20-10-2005
		US 2005217273 A1	06-10-2005
