



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.08.2021 Patentblatt 2021/33

(51) Int Cl.:
F23N 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20157640.2**

(22) Anmeldetag: **17.02.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

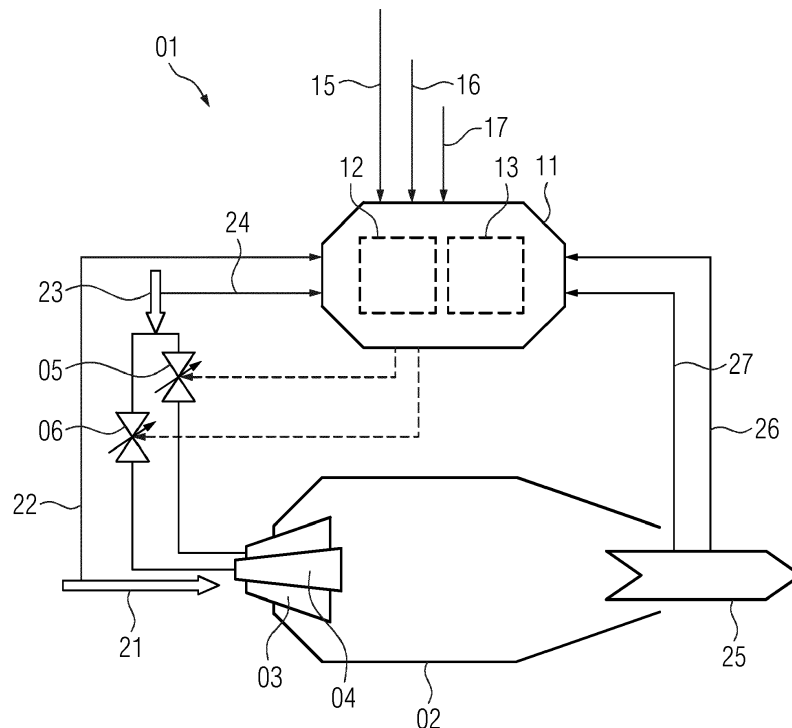
(72) Erfinder:
 • **Deuker, Eberhard**
45481 Mülheim an der Ruhr (DE)
 • **Kriegler, Benedict**
45473 Mülheim a. d. Ruhr (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINER VERBRENNUNGSEINRICHTUNG**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsprozesses einer Gasturbine. Erforderlich ist eine Brennkammer, eine Steuerungseinrichtung, in der ein Berechnungsmodell des Verbrennungsprozesses hinterlegt ist, und eine Abluft-Messeinrichtung. Zunächst erfolgt eine Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für Stickoxide und für Kohlenmonoxid als Schadstoffe. Der tatsächliche Wert zumindest eines der beiden Schadstoffe wird laufend in der Abluft gemes-

sen. Wenn ein Signal zur Reduzierung der Leistung der Gasturbine auf einen geringstmöglichen Wert gegeben wird, so erfolgt eine Berechnung einer minimalen Brennstoffzufuhr, bei der die Grenzwerte eingehalten werden. Sodann wird die Brennstoffzufuhr reduziert bis entweder die berechnete minimale Brennstoffzufuhr erreicht ist oder bis der laufend gemessene Anteil des Schadstoffes den zulässigen Grenzwert erreicht.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Verbrennungseinrichtung, wobei die Erzielung einer minimalen Leistung im Vordergrund steht.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind vielfältige Verfahren zur Steuerung einer Verbrennungseinrichtung bekannt. Diese sind in der Regel an die jeweilige Verbrennungseinrichtung angepasst und unterscheiden sich je nach Art der Verbrennungseinrichtung sowie dessen Aufgabe. Vorliegend betrachtet wird jedoch der Zustand, bei dem die Verbrennungseinrichtung mit einer möglichst geringen Leistung im zulässigen Bereich betrieben werden kann. Diesbezüglich ist es aus dem Stand der Technik bekannt, dass im Teillastbereich mit größer werdendem Abstand von der Nennleistung der relative Gehalt an Schadstoffen, insbesondere die Belastung mit Kohlenmonoxid, zunimmt. Insofern ist der Betrieb der Verbrennungseinrichtung unter Beachtung der Vorgaben für den Gehalt an Schadstoffen auf einen Mindestwert begrenzt, bei dem die Grenzwerte zuverlässig eingehalten werden.

[0003] Aus dem Stand der Technik ist es üblich, dass mittels Berechnungen sowie anhand von Laborversuchen ermittelt wird, welchen Anteil jeweilige Schadstoffe bei abnehmender Leistung aufweisen. Somit wird bei Erstellung der Regeln für die Steuerung des Verbrennungsprozesses die zuvor ermittelte minimale Leistung als Mindestwert festgesetzt.

[0004] Mitunter ist es jedoch gewünscht, dass die Verbrennungseinrichtung mit der geringst-möglichen Leistung betrieben wird, insbesondere um einen Stillstand zu vermeiden.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, eine geringere Leistung als bisher üblich zu ermöglichen, bei der die gegebenen Grenzwerte für die Schadstoffe eingehalten werden.

[0006] Die gestellte Aufgabe wird durch ein erfindungsgemäßes Verfahren nach der Lehre des Anspruchs 1 sowie alternativ nach der Lehre des Anspruchs 2 gelöst. Ein weiter verbessertes erfindungsgemäßes Verfahren als Kombination des Anspruchs 1 und 2 ist im Anspruch 3 angegeben. Vorteilhafte Verfahrensschritte sind in Unteransprüchen angegeben.

[0007] Das gattungsgemäße Verfahren dient zur Steuerung eines Verbrennungsprozesses einer Verbrennungseinrichtung. Um welche Art von Verbrennungseinrichtung es sich hierbei handelt, ist zunächst unerheblich. Zumindest kann das Verfahren vorteilhaft zur Steuerung des Verbrennungsprozesses in einer Brennkammer einer Gasturbine eingesetzt werden. Erforderlich ist in jedem Fall, dass die Verbrennungseinrichtung zumindest eine Brennkammer umfasst und an dieser zumindest ein Brenner angeordnet ist. Mittels des Brenners kann der Brennstoff und die zur Verbrennung des Brennstoffes erforderliche Zuluft in die Brennkammer zur Verbrennung gefördert werden. Weiterhin ist eine Steuerungseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens vorhan-

den. Hierzu ist in der Steuerungseinrichtung ein Berechnungsmodell des Verbrennungsprozesses hinterlegt. Hierbei kann bei einer vorgegebenen Leistung auf Basis des gespeicherten Berechnungsmodell ermittelt werden, ob theoretisch die Schadstoffe innerhalb eines zulässigen Bereichs liegen.

[0008] Dazu ist es erforderlich, dass ein zulässiger Grenzwert für den Anteil an Stickoxiden im Berechnungsmodell der Steuerungseinrichtung hinterlegt ist. Weiterhin ist es analog erforderlich, dass ein zulässiger Grenzwert für den Anteil an Kohlenmonoxid festgesetzt wird. Diese beiden Werte können als unveränderliche Größe definiert sein oder es kann vorgesehen sein, dass eine Anpassung an lokale Gegebenheiten möglich ist. Zum Beispiel kann es sich bei den zulässigen Grenzwerten um gesetzliche Vorgaben handeln.

[0009] Da eine exakte, vollkommen fehlerfreie Berechnung aufgrund der Vielzahl an möglichen Einflussfaktoren, z.B. Umgebungsbedingungen, sowie eine vollkommen konstante Verbrennung in der Verbrennungseinrichtung, z.B. aufgrund von Betriebsschwankungen, nicht realistisch möglich ist, ist es erforderlich eine Toleranz zu berücksichtigen, so dass man ausgehend von dem zulässigen Grenzwert für den jeweiligen Anteil an Stickoxiden respektive an Kohlenmonoxid zu einem jeweiligen Zielwert kommt. Wird ein Zustand ermittelt, bei dem der Zielwert für einen Schadstoff vorhanden ist, so kann man zuverlässig davon ausgehen, dass der zulässige Grenzwert nicht überschritten ist.

[0010] Um den Verbrennungsprozess optimal steuern zu können, ist es weiterhin besonders vorteilhaft, wenn die Art und/oder Qualität des eingesetzten Brennstoffes bekannt ist. Hierzu ist es einerseits möglich das die Parameter hierzu als Vorgabe in der Steuerungseinrichtung eingegeben werden. Alternativ kann vorgesehen sein, dass die Art oder die Qualität des Brennstoffes vor dessen Zuführung zur Verbrennungseinrichtung gemessen bzw. ermittelt wird und das Ergebnis der Steuerungseinrichtung übermittelt wird.

[0011] Für das vorliegende Verfahren als Teil der Steuerung der Verbrennungseinrichtung ist weiterhin ein Signal zur Einstellung einer minimalen Leistung notwendig, so dass im Folgenden die Brennstoffzufuhr zur Verbrennungseinrichtung reduziert wird.

[0012] Zur Erzielung einer möglichst geringen Leistung ist erfindungsgemäß nunmehr vorgesehen, dass die Verbrennungseinrichtung eine Abluft-Messeinrichtung aufweist, mit der zumindest der Anteil eines relevanten Schadstoffes in der Abluft erfasst werden kann.

[0013] Mit dem nunmehr bekannten Anteil des einen Schadstoffes kann die Leistung der Verbrennungseinrichtung bis zum Erreichen des Zielwertes weiter reduziert werden, sofern sichergestellt ist, dass sonstige Grenzwerte zuverlässig eingehalten werden. Während im Stand der Technik aufgrund der unbekanntenen Höhe der tatsächlich auftretenden Schadstoffbelastung bei der Berechnung der geringst-möglichen Brennstoffzufuhr respektive der resultierenden Leistung ein hinreichender

Sicherheitsabstand zur tatsächlichen Einhaltung der Grenzwerte zu berücksichtigen und somit eine große Toleranz zwischen dem zulässigen Grenzwert und dem Zielwert notwendig ist, wird demgegenüber durch die erfindungsgemäße Verfahrensführung eine weitere Leistungsreduktion mit Verkleinerung der Toleranz möglich.

[0014] Betrachtet man nunmehr die relevanten Schadstoffe Kohlendioxid sowie Stickoxide ergeben sich drei verschiedene erfindungsgemäße Verfahren zur Erzielung einer möglichst geringen Leistung.

[0015] In einem ersten erfindungsgemäßen Verfahren wird laufend der Anteil an Stickoxiden in der Abluft gemessen. Ausgehend von dem bekannten Anteil an Stickoxiden wird nunmehr berechnet, ob eine Reduktion des Brennstoffes und somit der Leistung möglich ist, ohne dass der Anteil an Stickoxiden den Zielwert überschreitet. Parallel hierzu wird in der Steuerungseinrichtung anhand des Berechnungsmodells ermittelt, wie weit die Menge an Brennstoff reduziert werden kann, bis dass der Anteil an Kohlenmonoxid theoretisch den Zielwert erreicht. Aufgrund der Unkenntnis über den tatsächlichen Gehalt in der Abluft ist hier eine größere Toleranz zum zulässigen Grenzwert einzuhalten.

[0016] Analog wird in einem zweiten erfindungsgemäßen Verfahren laufend der Anteil an Kohlenmonoxid in der Abluft gemessen. Nunmehr wird ausgehend vom bekannten Anteil an Kohlenmonoxid die mögliche Reduktion des Brennstoffes respektive der Leistung berechnet, bis dass der Zielwert für den Anteil an Kohlenmonoxid erreicht ist. Umgekehrt zum ersten Verfahren wird parallel ermittelt, ob eine Reduktion des Brennstoffes möglich ist, ohne dass der berechnete Anteil an Stickoxiden den Zielwert überschreitet.

[0017] Im Folgenden wird nunmehr die Brennstoffzufuhr bei weiterer laufender Überwachung des Anteils an Stickoxiden (im ersten Verfahren) respektive an Kohlenmonoxid (im zweiten Verfahren) bis zur Erreichung der berechneten minimalen Brennstoffmenge reduziert. Sollte der gemessene Anteil an Stickoxiden respektive Kohlenmonoxid bereits vorher den Zielwert erreichen, wird bereits dann die Reduktion der Brennstoffzufuhr gestoppt. Somit ergibt sich in beiden Verfahren eine angenommene minimale Brennstoffzufuhr und somit minimale Leistung, bei der einer der beiden oder beide Schadstoffe Stickoxide bzw. Kohlenmonoxid den Zielwert erreicht haben. Dabei kann zuverlässig davon ausgegangen werden, dass beide zulässigen Grenzwerte eingehalten werden.

[0018] Ein drittes erfindungsgemäßes Verfahren kombiniert das erste Verfahren mit dem zweiten Verfahren, wobei die Abluft-Messeinrichtung sowohl den Anteil an Stickoxiden als auch den Anteil an Kohlenmonoxid überwachen kann. Gleichfalls wie bei den anderen Verfahren wird bei dem Signal, dass eine minimale Leistung angefahren werden soll, von der Steuerungseinrichtung berechnet, wie weit der Brennstoff respektive die Leistung reduziert werden kann, bis einer der beiden oder beide Zielwerte erreicht wird. Da beide Werte laufend erfasst

werden, kann die Toleranz für zum zulässigen Grenzwert für beide Schadstoffe relativ klein gewählt werden.

[0019] Wie zuvor wird die Brennstoffzufuhr respektive die Leistung solange reduziert, bis die zuvor berechnete minimale Brennstoffzufuhr erreicht ist. Sollte hierbei der Zustand auftreten, bei der einer der beiden gemessenen Werte für den Anteil an Stickoxiden oder an Kohlenmonoxid den Zielwert erreicht, wird die Brennstoffreduktion gestoppt.

[0020] Im einfachsten Fall wird die Berechnung der geringstmöglichen Brennstoffzufuhr einmalig durchgeführt nachdem das Signal zum Herunterfahren der Verbrennungseinrichtung auf eine minimale Leistung gegeben wurde. Besonders vorteilhaft ist es jedoch, wenn im weiteren Verlauf - solange die minimale Leistung gewünscht ist - wiederholt die Berechnung durchgeführt wird, so dass eine erneute Möglichkeit zur weiteren Absenkung der Brennstoffzufuhr bzw. der Leistung - sofern gegeben - ausgenutzt werden kann. Entsprechend wird bei erneuter Berechnung auf Basis der gegebenen Zielwerte für die Schadstoffe und des gemessenen Anteils an Stickoxiden bzw. an Kohlenmonoxid die minimale Brennstoffzufuhr erneut berechnet, bei der die Zielwerte nicht überschritten werden.

[0021] Wird aufgrund der laufenden Messung oder aufgrund einer erneuten Berechnung eine Überschreitung der zulässigen Grenzwerte festgestellt, wird die Brennstoffzufuhr erhöht. Wird demgegenüber aufgrund einer erneuten Berechnung festgestellt, dass beide Zielwerte unterschritten werden, kann eine erneute Reduktion der Brennstoffzufuhr erfolgen.

[0022] Eine erneute Berechnung kann einerseits in regelmäßigen Abständen vorgesehen sein. Beispielsweise kann die Zeitspanne derart gewählt werden, dass sich nach einer Änderung der Brennstoffzufuhr und somit der Leistung der sich hiermit ändernde Anteil an Schadstoffen auf einen im Wesentlichen konstanten Wert eingependelt hat.

[0023] Andererseits kann die laufende Messung der Stickoxide und/oder des Kohlenmonoxids zu einer erneuten Berechnung führen. Beispielsweise kann laufend ein Abgleich zwischen den gemessenen Werten und den zulässigen Grenzwerten und/oder dem Zielwert vorgenommen werden, wobei bei Erreichen einer vorgegebenen absoluten oder relativen Differenz eine erneute Berechnung zur Anpassung der Brennstoffmenge veranlasst wird. Hierbei kann vorgesehen sein, dass die Differenz bei einer Überschreitung des Zielwertes klein und demgegenüber die Differenz bei einer Unterschreitung des Zielwertes größer gewählt wird.

[0024] Ein größeres Potenzial zur Reduzierung der Brennstoffmenge wird ermöglicht, wenn die Verbrennungseinrichtung zumindest einen Hauptbrenner sowie zumindest einen Nebenbrenner umfasst. Um welche Art von Brenner es sich hierbei handeln ist zunächst unerheblich, wobei vorgesehen ist, dass diese eine unterschiedliche Verbrennungscharakteristik aufweisen. Analog wie beim Einsatz eines einzelnen Brenners bzw. ei-

nes einzelnen Brennertyps ist notwendig, dass der Hauptbrenner sowie der Nebenbrenner Brennstoff und/oder Zuluft in die Brennkammer fördern kann.

[0025] Bei Vorhandensein eines Hauptbrenners sowie eines Nebenbrenners ist es möglich, dass Berechnungsmodell dahingehend zu erweitern, dass eine Aufteilung des Brennstoffes auf den Hauptbrenner sowie den Nebenbrenner berechnet wird. Somit kann bei einer gegebenen Brennstoffmenge und der Aufteilung des Brennstoffes der zu erwartende Anteil an Kohlenmonoxid sowie der zu erwartende Anteil an Stickoxiden berechnet werden. Bei Abgleich mit den Zielwerten für Stickoxide bzw. Kohlenmonoxid kann im Folgenden wie zuvor eine minimale Brennstoffzufuhr ermittelt werden, bei der zumindest ein Anteil an Stickoxiden respektive an Kohlenmonoxid den Zielwert bei gegebener Aufteilung des Brennstoffs erreicht. Entsprechend kann, wie zuvor auch, die Brennstoffzufuhr bis zur berechneten minimalen Brennstoffzufuhr reduziert werden.

[0026] Besonders vorteilhaft ist es jedoch, wenn beim Einsatz eines Hauptbrenners sowie eines Nebenbrenners eine optimale Aufteilung des Brennstoffs berechnet wird. Hierzu kann iterativ ein Abgleich zwischen den berechneten Werten für den Anteil an Stickoxiden und Kohlenmonoxid und den Zielwerten bei Veränderung der Aufteilung des Brennstoffs sowie einer Verkleinerung der Brennstoffmenge bis zur Erzielung einer möglichst geringen Differenz zwischen dem berechneten Anteil für die Schadstoffe und den Zielwerten vorgenommen werden.

[0027] Dieses Verfahren eignet sich in besonders vorteilhafter Weise, wenn es sich bei dem Nebenbrenner um einen sogenannten Pilotbrenner handelt.

[0028] Bei diesem Verfahren zur Bestimmung einer vorteilhaften Aufteilung des Brennstoffes ist es dabei vorteilhaft, wenn berücksichtigt wird, bei welchem Schadstoff die Differenz zwischen dem tatsächlich gemessenen Wert bzw. dem theoretisch berechneten Anteil und dem Zielwert größer ist.

[0029] Wenn im ersten Fall die Differenz zwischen dem Anteil an Kohlendioxid und dem zugehörigen Zielwert größer ist als die Differenz zwischen dem Anteil an Stickoxiden und dem zugehörigen Zielwert, so ist es vorteilhaft, wenn die Aufteilung des Brennstoffs dahingehend geändert wird, dass der Anteil für den Hauptbrenner erhöht und der Anteil für den Nebenbrenner reduziert wird.

[0030] Umgekehrt ist es im zweiten Fall vorteilhaft, wenn die Differenz zwischen dem Anteil an Stickoxiden und dem zugehörigen Zielwert größer ist als die Differenz zwischen dem Anteil an Kohlendioxid und dem zugehörigen Zielwert, so ist es vorteilhaft, wenn die Aufteilung des Brennstoffs dahingehend geändert wird, dass der Anteil für den Nebenbrenner erhöht und der Anteil für den Hauptbrenner reduziert wird.

[0031] Wird nach Berechnung einer optimalen Aufteilung der Brennstoffmenge auf den Hauptbrenner und den Nebenbrenner eine Unterschreitung beider Zielwerte berechnet bzw. nach Einstellung entsprechender Brenn-

stoffmenge aufgrund der Messung der Schadstoffe festgestellt, so kann im Folgenden die Brennstoffzufuhr weiter reduziert werden.

[0032] Eine weitere Verbesserung des Verfahrens, insbesondere zur Verkleinerung von notwendigen Toleranzen, wird erreicht, wenn eine Zuluft-Messeinrichtung vorhanden ist, mittels der zumindest eine Eigenschaft der Zuluft bestimmt werden kann. Besonders vorteilhaft ist es hierbei, wenn im Berechnungsmodell die Temperatur sowie die Luftfeuchte der Zuluft bekannt ist. Entsprechend können diese Werte bei der Berechnung der minimalen Brennstoffmenge sowie der optimalen Aufteilung des Brennstoffs berücksichtigt werden.

[0033] Grundsätzlich ist es zunächst mal hinreichend, wenn mit den bekannten Berechnungsgrundlagen (z.B. Verbrennungscharakteristik, Eigenschaften der Verbrennungseinrichtung, Art des Brennstoffs) das Berechnungsmodell erstellt wird, wobei der gemessene Anteil an Schadstoffen die Variable zu Berechnung darstellt.

[0034] Aufgrund der Komplexität eines Verbrennungsprozesses und der möglichen Änderung der Verbrennungscharakteristik, beispielsweise aufgrund unterschiedlicher lokaler Umgebungsbedingungen, ist es weiterhin vorteilhaft, wenn eine Anpassung des Berechnungsmodells möglich ist. Hierzu ist es vorteilhaft, wenn laufend die Berechnungsparameter zusammen möglichst vielen vorhandenen Zustandsdaten gespeichert werden. Zu den Zustandsdaten gehören die Ist-Zustände der Verbrennungseinrichtung bzw. Gasturbine (Temperaturdaten, Vibrationsdaten, usw.), die Art und/oder Qualität des Brennstoffs, die Temperatur und/oder Luftfeuchte der Zuluft, der Anteil an Stickoxiden und/oder Kohlenmonoxid in der Abluft. Unter Berücksichtigung der gespeicherten Daten kann regelmäßig oder kontinuierlich eine Anpassung des Berechnungsmodells vorgenommen werden. Dabei können in besonders vorteilhafter Weise die Methoden des sogenannten Self-Learning eingesetzt werden.

[0035] Generell ist dieses Verfahren nicht auf einer Brennstoffart beschränkt. Auch kann vorgesehen sein, dass bei Vorhandensein von Hauptbrenner und Nebenbrenner verschiedene Brennstoffe eingesetzt werden. Grundsätzlich kann das Verfahren vorteilhaft eingesetzt werden, wenn der Brennstoff gasförmig ist.

[0036] In den nachfolgenden Figuren wird schematisch eine Verbrennungseinrichtung und ein Zeitablauf skizziert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Verbrennungseinrichtung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines möglichen Verlaufs von Parameter über die Zeit bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0037] In der Figur eins wird schematisch eine erfindungsgemäße Verbrennungseinrichtung 01 skizziert. Diese umfasst zunächst einmal die Brennkammer 02 mit

den daran angeordneten Hauptbrenner 03 sowie dem Nebenbrenner 04. Den Brennern 03,04 kann Brennstoff 23 sowie Zuluft 21 zugeführt werden. Abluft 25, d. h. Rauchgas, tritt aus der Brennkammer 02 aus.

[0038] Zur Steuerung des Verfahrens ist eine Steuerungseinrichtung 11 vorhanden, in der ein Berechnungsmodell 12 hinterlegt ist und das in diesem Ausführungsbeispiel einen Datenspeicher 13 umfasst. Der Steuerungseinrichtung 11 werden verschiedene Kenngrößen übermittelt. Zum einen wird der maximale Anteil an Stickoxiden 16 und der maximale Anteil an Kohlenmonoxid 17 fest vorgegeben. Hierbei kann es sich um den jeweils zulässigen Grenzwert oder um den Zielwert handeln. Im ersten Fall kann der Zielwert von der Steuerungseinrichtung berechnet werden. Gleichfalls ist es möglich sowohl den zulässigen Grenzwert als auch den jeweiligen Zielwert als Vorgabe der Steuerungseinrichtung 11 zu übermitteln.

[0039] Weiterhin ist es erforderlich, dass im Berechnungsmodell die Art bzw. die Qualität 24 des Brennstoffes 23 bekannt ist. Hierzu ist beispielhaft vorgesehen, dass dieser 24 laufend erfasst und an die Steuerungseinrichtung 11 übermittelt wird. Weiterhin ist in diesem Ausführungsbeispiel vorgesehen, dass die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit 22 der Zuluft 21 gemessen und an die Steuerungseinrichtung 11 übermittelt wird.

[0040] Weiterhin wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist es, dass der Anteil an Stickoxide 26 und/oder der Anteil an Kohlenmonoxid 27 in der Abluft 25 laufend gemessen und an die Steuerungseinrichtung 11 übermittelt wird.

[0041] Das erfindungsgemäße Verfahren wird ausgelöst durch ein Signal zum Anfahren einer minimalen Leistung, wozu der Steuerungseinrichtung 11 die jeweils erforderliche Soll-Leistung 15 übermittelt wird.

[0042] Bei Durchführung des Verfahrens in der Steuerungseinrichtung 11 auf Grundlage des dort hinterlegten Berechnungsmodells 12 wird die minimale Brennstoffzufuhr und hierbei die optimale Aufteilung auf den Hauptbrenner 03 sowie den Nebenbrenner 04 berechnet. Auf Grundlage des Berechnungsergebnisses wird von der Steuerungseinrichtung 11 ein entsprechend zugehöriges Hauptventil 05 zur Steuerung des Brennstoffflusses zum Hauptbrenner 03 sowie ein entsprechend zugehöriges Nebenventil 06 zur Steuerung des Brennstoffflusses zum Nebenbrenner 04 angesteuert.

[0043] In der Figur 2 wird beispielhaft ein möglicher Verfahrensablauf mit verschiedenen Kenngrößen über die Zeit dargestellt. Ausgehend von einer normalen Leistung der Verbrennungseinrichtung erfolgte zum Zeitpunkt T1 das Signal eine minimale Leistung P_{soll} anzufahren. Nunmehr wird in der Steuerungseinrichtung 11 anhand des Berechnungsmodells 12 eine minimale Leistung bzw. minimale Brennstoffzufuhr berechnet, bei der die vorgegebenen Grenzwerte für den Anteil an Stickoxiden und den Anteil an Kohlenmonoxid eingehalten wird (d. h. zumindest ein Zielwert erreicht wird). Dabei ist in der Steuerungseinrichtung der Zielwert NOx_{max} vorge-

geben. Entsprechend der Berechnung wird nunmehr die Brennstoffzufuhr und somit die Leistung P_{ist} reduziert. Mit der Reduktion der Leistung geht in aller Regel ein Anstieg des Anteils an Schadstoffen, d. h. hier dem Anteil an Stickoxiden NOx_{ist} sowie dem Anteil an Kohlenmonoxid (hier nicht dargestellt) einher - siehe Zeitpunkt T2.

[0044] Nun kann es beispielsweise sein, dass der Zielwert für Kohlenmonoxid in der Berechnung bereits erreicht ist, hingegen noch eine größere Differenz zwischen dem Zielwert für Stickoxide und dem gemessenen Wert NOx_{ist} vorhanden ist. Dies führt zum vorteilhaften Verfahren, die Brennstoffaufteilung zu ändern, sodass sich auch zwischen dem Zielwert für Kohlenmonoxid und dem berechneten Wert eine Differenz ergibt, wobei hiermit eine Reduktion der Differenz zwischen dem Zielwert für Stickoxide und dem gemessenen Wert NOx_{ist} einhergeht - siehe Zeitpunkt T3. Dabei kann eine erneute Reduktion der Brennstoffmenge vorgenommen werden bis die Zielwerte NOx_{max} entsprechend der Berechnung bzw. der jeweiligen Messung im Wesentlichen erreicht werden - siehe Zeitpunkt T4.

[0045] Nun kann es sein, dass eine Stabilisierung des Prozesses eintritt bei der sich der Anteil an Schadstoffen über den Lauf der Zeit reduziert - siehe Zeitpunkt T5. Aufgrund der laufenden Überwachung zumindest eines Schadstoffes ist es möglich bei sich ergebende Differenz eine neue Berechnung auszulösen, sodass eine erneute Absenkung der Brennstoffzufuhr und somit der Leistung P_{ist} möglich wird - siehe Zeitpunkt T6.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsprozesses in einer Verbrennungseinrichtung, insbesondere einer Gasturbine, umfassend eine Brennkammer, in der Brennstoff mit Zuluft verbrannt werden kann, und zumindest einen Brenner, welcher den Brennstoff und/oder die Zuluft in die Brennkammer fördern kann, und eine Steuerungseinrichtung, in der ein Berechnungsmodell des Verbrennungsprozesses hinterlegt ist, und eine Abluft-Messeinrichtung, welche den Anteil an Stickoxiden erfassen kann; mit den Schritten:

- Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für den Anteil an Stickoxiden und Ermittlung eines Zielwertes als Grenzwert abzüglich einer Toleranz;

- Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für den Anteil an Kohlenmonoxid und Ermittlung eines Zielwertes als Grenzwert abzüglich einer Toleranz;

- laufende Erfassung des Anteils an Stickoxiden in der Abluft;

- Erfassung eines Signals zur Einstellung einer minimalen Leistung;

- Berechnung einer minimalen Brennstoffzu-

- fuhr, bei welcher der zu erwartende Anteil an Kohlenmonoxid den Zielwert erreicht;
 - bei laufender Überwachung des Anteils an Stickoxiden in der Abluft, Reduzierung der Brennstoffzufuhr bis zur berechneten minimalen Brennstoffzufuhr respektive bis zur Erreichung des Zielwertes für Stickoxide.
- 5
2. Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsprozesses in einer Verbrennungseinrichtung, insbesondere einer Gasturbine, umfassend eine Brennkammer, in der Brennstoff mit Zuluft verbrannt werden kann, und zumindest einen Brenner, welcher den Brennstoff und/oder die Zuluft in die Brennkammer fördern kann, und eine Steuerungseinrichtung, in der ein Berechnungsmodell des Verbrennungsprozesses hinterlegt ist, und eine Abluft-Messeinrichtung, welche den Anteil an Kohlenmonoxid erfassen kann; mit den Schritten:
- 10
- Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für den Anteil an Stickoxiden und Ermittlung eines Zielwertes als Grenzwert abzüglich einer Toleranz;
 - Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für den Anteil an Kohlenmonoxid und Ermittlung eines Zielwertes als Grenzwert abzüglich einer Toleranz;
 - laufende Erfassung des Anteils an Kohlenmonoxid in der Abluft;
 - Erfassung eines Signals zur Einstellung einer minimalen Leistung;
 - Berechnung einer minimalen Brennstoffzufuhr, bei welcher der zu erwartende Anteil an Stickoxiden den Zielwert erreicht;
 - bei laufender Überwachung des Anteils an Kohlenmonoxid in der Abluft, Reduzierung der Brennstoffzufuhr bis zur berechneten minimalen Brennstoffzufuhr respektive bis zur Erreichung des Zielwertes für Kohlenmonoxid.
- 15
3. Verfahren zur Steuerung eines Verbrennungsprozesses in einer Verbrennungseinrichtung, insbesondere einer Gasturbine, umfassend eine Brennkammer, in der Brennstoff mit Zuluft verbrannt werden kann, und zumindest einen Brenner, welcher den Brennstoff und/oder die Zuluft in die Brennkammer fördern kann, und eine Steuerungseinrichtung, in der ein Berechnungsmodell des Verbrennungsprozesses hinterlegt ist, und eine Abluft-Messeinrichtung, welche den Anteil an Stickoxiden und den Anteil an Kohlenmonoxid erfassen kann; mit den Schritten:
- 20
- Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für den Anteil an Stickoxiden und Ermittlung eines Zielwertes als Grenzwert abzüglich einer Toleranz;
 - Festsetzung eines zulässigen Grenzwertes für den Anteil an Kohlenmonoxid und Ermittlung eines Zielwertes als Grenzwert abzüglich einer Toleranz;
 - laufende Erfassung des Anteils an Kohlenmonoxid in der Abluft;
 - Erfassung eines Signals zur Einstellung einer minimalen Leistung;
 - Berechnung einer minimalen Brennstoffzufuhr, bei welcher der zu erwartende Anteil an Kohlenmonoxid und der zu erwartende Anteil an Stickoxiden jeweils den Zielwert erreichen;
 - bei laufender Überwachung des Anteils an Stickoxiden und des Anteils an Kohlenmonoxid in der Abluft, Reduzierung der Brennstoffzufuhr bis zur berechneten minimalen Brennstoffzufuhr respektive bis zur Erreichung des jeweiligen Zielwertes für Stickoxide respektive Kohlenmonoxid.
- 25
4. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Berechnung wiederkehrend durchgeführt wird, wobei bei Feststellung einer Überschreitung einer der Grenzwerte die Brennstoffzufuhr angehoben wird und bei Feststellung einer Unterschreitung beider Zielwerte abzüglich einer jeweiligen Prozesstoleranz die Brennstoffzufuhr weiter reduziert wird.
- 30
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Berechnung in regelmäßigen Intervallen durchgeführt wird; oder wobei die Berechnung durchgeführt wird, sobald eine vorgegebene Differenz zwischen dem gemessenen Anteil des Schadstoffs in der Abluft und dem hierzu gegebenen Zielwert überschritten wird.
- 35
6. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Verbrennungseinrichtung zumindest einen Hauptbrenner und zumindest einen Nebenbrenner umfasst, welche jeweils Brennstoff und/oder Zuluft in die Brennkammer fördern können; mit den Schritten:
- 40
- bei Berechnung der minimalen Brennstoffzufuhr Bestimmung einer Aufteilung des Brennstoffs auf den Hauptbrenner und den Nebenbrenner, bei welcher der zu erwartende Anteil an Kohlenmonoxid respektive der zu erwartende Anteil an Stickoxiden den Zielwert erreicht;
 - Reduzierung der Brennstoffzufuhr unter Berücksichtigung der zuvor berechneten Aufteilung des Brennstoffs auf den Hauptbrenner und den Nebenbrenner.
- 45
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Nebenbrenner ein Pilotbrenner ist.
- 50
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei bei einer größeren Differenz zwischen dem

- Zielwert und dem berechneten bzw. gemessenen Anteil für Kohlendioxid und einer kleineren Differenz zwischen dem Zielwert und dem berechneten bzw. gemessenen Anteil für Stickoxide die Aufteilung des Brennstoffs mit einem höheren Anteil für den Hauptbrenner und einem geringeren Anteil für den Nebenzbrenner geändert wird; 5
wobei im Folgenden bei Feststellung einer Unterschreitung beider Zielwerte die Brennstoffzufuhr weiter reduziert wird. 10
9. Verfahren nach einer der Ansprüche 6 bis 8, wobei bei einer größeren Differenz zwischen dem Zielwert und dem berechneten bzw. gemessenen Anteil für Stickoxide und einer kleineren Differenz zwischen dem Zielwert und dem berechneten bzw. gemessenen Anteil für Kohlendioxid die Aufteilung des Brennstoffs mit einem höheren Anteil für den Nebenzbrenner und einem geringeren Anteil für den Hauptbrenner geändert wird; 15
wobei im Folgenden bei Feststellung einer Unterschreitung beider Zielwerte die Brennstoffzufuhr weiter reduziert wird. 20
10. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 9, wobei eine Zuluft-Messeinrichtung zumindest eine Eigenschaft der Zuluft, insbesondere die Temperatur und/oder die Luftfeuchte, bestimmen kann, wobei die Eigenschaft in der Steuerungseinrichtung bei der Berechnung der Brennstoffzufuhr und/oder der Aufteilung des Brennstoffs berücksichtigt wird. 25
30
11. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Berechnungsparameter und vorhandene Zustandsdaten, insbesondere Ist-Zustände der Verbrennungseinrichtung und/oder die Art und/oder Qualität des Brennstoffs und/oder die Temperatur und/oder Luftfeuchte der Zuluft und/oder der Anteil an Stickoxiden und/oder Kohlenmonoxid in der Abluft, laufend gespeichert werden und anhand der gespeicherten Daten eine regelmäßige oder kontinuierliche Anpassung des Berechnungsmodells, insbesondere mittels Methoden des sogenannten Self-Learning, vorgenommen wird. 35
40
45
12. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Brennstoff gasförmig ist. 50
55

FIG 1

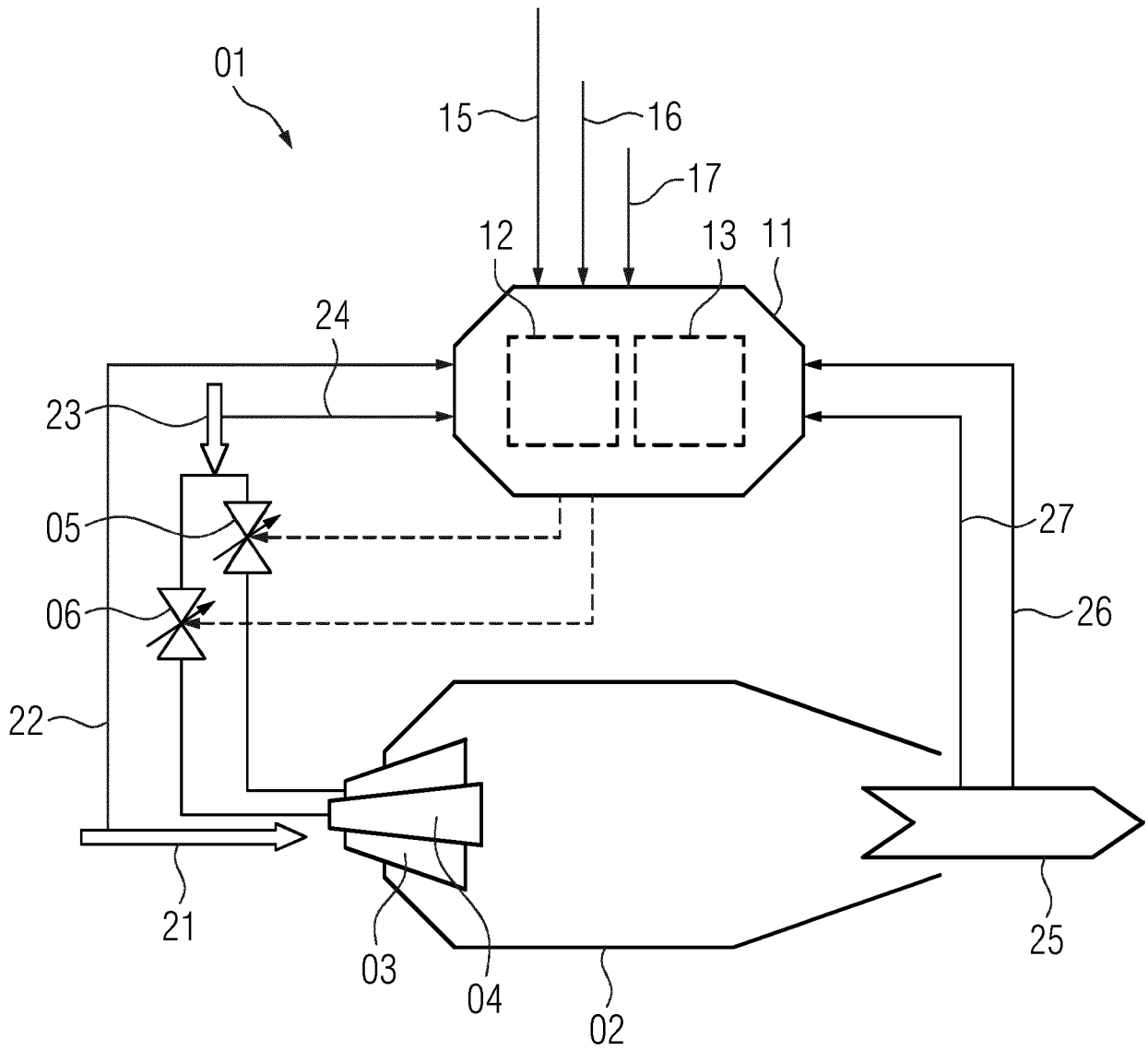
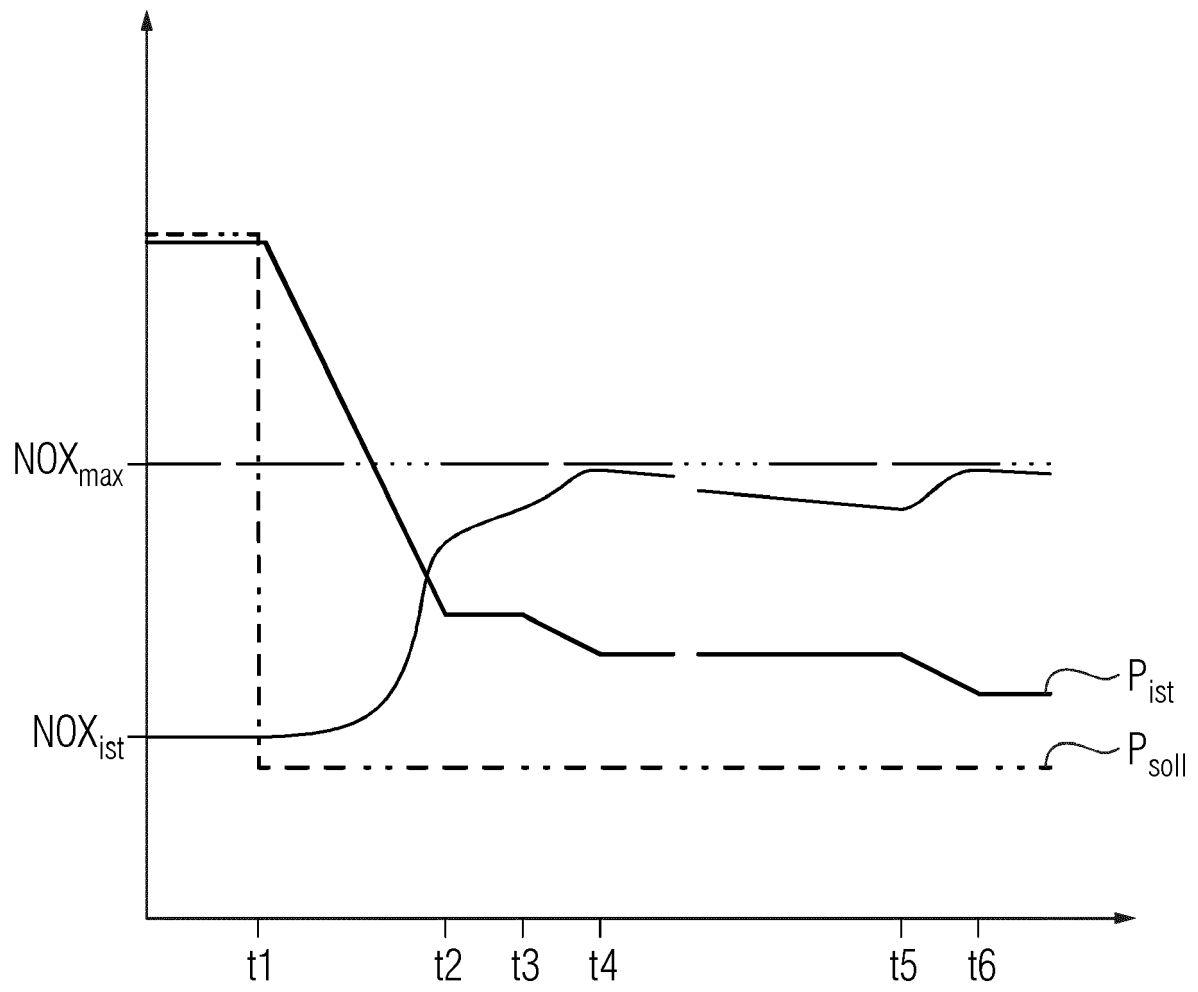


FIG 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 15 7640

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 2013/061301 A1 (ANSALDO ENERGIA SPA [IT]) 2. Mai 2013 (2013-05-02) * Seite 1, Zeilen 5-7, 19-24; Abbildungen 1,2 * * Seite 2, Zeile 6 - Seite 3, Zeile 8 * * Seite 4, Zeile 9 - Zeile 27 * * Seite 5, Zeile 5 - Seite 7, Zeile 15 * -----	1-12	INV. F23N1/00
A	US 4 735 052 A (MAEDA FUKUO [JP] ET AL) 5. April 1988 (1988-04-05) * das ganze Dokument * -----	1-12	
A	US 2011/265487 A1 (GAUTHIER DONALD [US] ET AL) 3. November 2011 (2011-11-03) * das ganze Dokument * -----	1-12	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F23N
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 1. Juli 2020	Prüfer Hauck, Gunther
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 15 7640

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-07-2020

10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2013061301 A1	02-05-2013	CN 104011348 A EP 2771555 A1 WO 2013061301 A1	27-08-2014 03-09-2014 02-05-2013
US 4735052 A	05-04-1988	KEINE	
US 2011265487 A1	03-11-2011	US 2011265487 A1 WO 2011137110 A1	03-11-2011 03-11-2011

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82