



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.08.2013 Patentblatt 2013/34

(51) Int Cl.:
F01K 21/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12155506.4**

(22) Anmeldetag: **15.02.2012**

(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

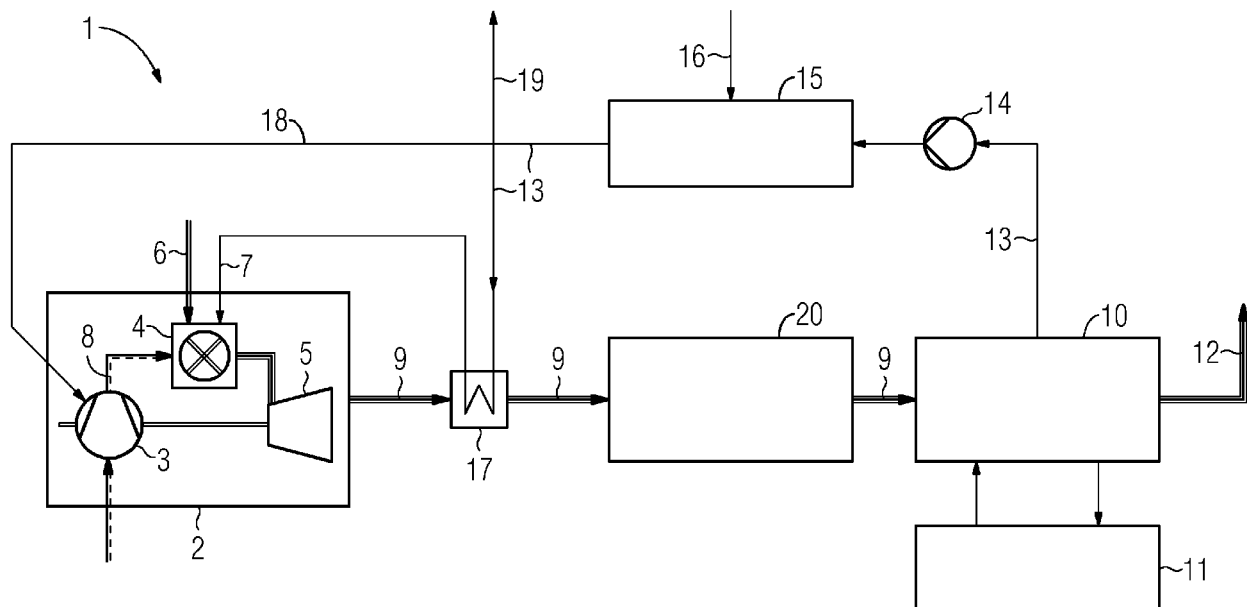
(72) Erfinder:
• **Brunhuber, Christian**
91275 Auerbach (DE)
• **Graeber, Carsten**
91056 Erlangen (DE)
• **Zimmermann, Gerhard**
91315 Höchstadt/Aisch (DE)

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

(54) **Reduzierung des Wasserverbrauches bei der Verstromung von Wasserstoff mit Gasturbinen**

(57) Die Erfindung betrifft Kraftwerksanlage (1) umfassend eine Gasturbine (2), der ein Verdichter (3), ein Verbrennungssystem (4) und eine Turbine (5) zugeordnet sind, eine in das Verbrennungssystem (4) mündende Brennstoffzuleitung (6), eine in das Verbrennungssystem (4) mündende Wasserdampfzuleitung (7) und eine abgasseitig mit der Turbine (5) verbundene Abgasleitung

(9), wobei eine Abgaskühleinrichtung (10) zum Auskondensieren von im Abgas enthaltenem Wasser in die Abgasleitung (9) geschaltet ist und die Abgaskühleinrichtung (10) über eine Wasserleitung (13) mit der Wasserdampfzuleitung (7) verbunden ist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Kraftwerksanlage.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kraftwerksanlage, insbesondere zur Verstromung von Wasserstoff, und ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage und liegt in der neuen Prozessführung, bei der Wasser aus dem Abgas auskondensiert und zur Verbrennung zurückgeführt wird. Dabei erfolgt die Kühlung mit einem trockenen Verfahren, um den Wasserbedarf des Prozesses so klein wie möglich zu halten. Auf diese Weise sinken auch der Bedarf an frischem Deionat und die Betriebskosten des Prozesses.

[0002] Das zugrunde liegende technische Problem ergibt sich aus dem in Zukunft weiter anwachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien in den Stromübertragungsnetzen. Um die erneuerbaren Energien effektiv nutzen zu können, sind Energiespeicher nötig, z.B. die Elektrolyse von Wasser und die Speicherung der Energie in Form von Wasserstoff.

[0003] Zur Verstromung von reinem Wasserstoff wurden bisher im kommerziellen Maßstab Brennstoffzellen herangezogen. Die Verstromung von reinem Wasserstoff in Gasturbinen zur kommerziellen Energieerzeugung wurde in der Vergangenheit nicht betrieben.

[0004] Die Verbrennung/Verstromung von reinem Wasserstoff mit Gasturbinen wird nur in kleinerem Maßstab z.B. in der chemischen Industrie oder in Forschungs- und Demonstrationsprojekten betrieben. Dabei muss der Wasserstoff vor der Verbrennung in Gasturbinen für niederkalorische Gase stark mit Inerten wie Stickstoff oder Wasser verdünnt werden.

[0005] Die heutige Nutzung von Gasturbinen zur Energieerzeugung erfolgt größtenteils mit dem Brennstoff Erdgas. Bekannt sind jedoch Gasturbinen, in denen niederkalorische Gase mit hohem Wasserstoffanteil (bis ca. 50 bis 60 Volumenprozent Wasserstoff, der Rest sind Kohlenmonoxid bzw. Inerte wie Stickstoff oder Wasser), die z.B. bei der Kohlevergasung oder chemischen Prozessen entstehen, verstromt werden können.

[0006] Nachteilig an der Nutzung dieser Gasturbinen für die Verbrennung reinen Wasserstoffs durch Zumischen von Wasser sind somit der aus der Zumischung von deionisiertem Wasser resultierende hohe Wasserverbrauch und entsprechende Kosten.

[0007] Aufgabe ist es, eine Kraftwerksanlage für die Verstromung des Wasserstoffs mit Gasturbinen für niederkalorische Gase bereitzustellen, bei der der Wasserbedarf gegenüber einer herkömmlichen Anlage reduziert ist, sowie ein Verfahren zur Verstromung niederkalorischer Gase entsprechend weiterzuentwickeln.

[0008] Die Erfindung löst die auf eine Kraftwerksanlage bezogene Aufgabe, indem sie vorsieht, dass bei einer Kraftwerksanlage, umfassend eine Gasturbine, der ein Verdichter, ein Verbrennungssystem und eine Turbine zugeordnet sind, eine in das Verbrennungssystem mündende Brennstoffzuleitung, eine in das Verbrennungssystem mündende Wasserdampfzuleitung und eine abgasseitig mit der Turbine verbundene Abgasleitung, eine Ab-

gaskühleinrichtung zum Auskondensieren von im Abgas enthaltenem Wasser in die Abgasleitung geschaltet ist und die Abgaskühleinrichtung über eine Wasserleitung mit der Wasserdampfzuleitung verbunden ist.

[0009] Durch die Kühlung kondensieren Teile des Wassers aus und der Wasserverbrauch bei der Verstromung des Wasserstoffs mit Gasturbinen für niederkalorische Gase, bei denen nach der Verbrennung ein im Vergleich zu einem klassischen Erdgas-Gas- und Dampfturbinenkraftwerk relativ hoher Wasserdampfpartialdruck im Abgas vorliegt, wird gesenkt, indem das auskondensierte Wasser wieder der Verbrennung zugeführt wird.

[0010] Zweckmäßiger Weise ist eine Wasseraufbereitungsanlage in die Wasserleitung geschaltet, in der das auskondensierte Wasser gereinigt und eine Deionat-Wasserqualität wiederhergestellt wird.

[0011] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist ein Wärmetauscher primärseitig zwischen Turbine und Abgaskühleinrichtung in die Abgasleitung und sekundärseitig zwischen Wasserleitung und Wasserdampfzuleitung geschaltet. Im Wärmetausch mit dem Abgasstrom wird hier das auskondensierte und gereinigte Wasser, bevor es dem Verbrennungssystem zugeführt wird, verdampft. Dies führt zu einer Wirkungsgradverbesserung der Anlage und aufgrund einer verbesserten Mischungsgüte zwischen Wasserstoff, Dampf und Luft an der Flamme-front auch zu einer Minimierung der thermischen Stickoxidbildung.

[0012] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform zweigt stromab der Wasseraufbereitungsanlage von der Wasserleitung eine weitere Wasserleitung ab, wobei die weitere Wasserleitung an den Verdichter angeschlossen ist. Hierüber kann am Verdichter Wasser in die Verbrennungsluft eingespritzt werden, was eine kühlende Wirkung hat und der Leistungssteigerung dient.

[0013] In noch einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform zweigt stromab der Wasseraufbereitungsanlage von der Wasserleitung eine dritte Wasserleitung für eine Elektrolyse von Wasser zur Gewinnung von Wasserstoff ab.

[0014] Zweckmäßiger Weise ist zwischen Turbine und Abgaskühleinrichtung in die Abgasleitung ein Abhitze-dampferzeuger geschaltet, der das heiße Abgas aus dem Gasturbinenprozess zur Dampferzeugung in einem Dampfturbinenprozess nutzt, was den Wirkungsgrad der Gesamtanlage deutlich verbessert.

[0015] Es ist vorteilhaft, wenn Brenner des Verbrennungssystems geeignet sind, Brenngas mit einem Wasserstoffanteil bis zu 60 Volumenprozent zu verbrennen.

[0016] Es ist zweckmäßig, wenn die Abgaskühleinrichtung so ausgestaltet ist, dass Kühlwasser direkt mit dem Abgas in Verbindung gebracht werden kann.

[0017] In einer alternativen und vorteilhaften Ausführungsform umfasst die Abgaskühleinrichtung einen rekuperativen Wärmetauscher für die indirekte Kühlung des Abgases. Zweckmäßiger Weise ist die Abgaskühleinrichtung mit einem trockenen Kühlsystem verbunden,

d.h. es entsteht kein Wasserverlust infolge der Kühlung.

[0018] Im erfinderischen Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einer Gasturbine, bei dem ein Brennstoff und Wasserdampf einem der Gasturbine zugeordneten Verbrennungssystem zugeführt werden, wird ein Abgasstrom der Gasturbine gekühlt, um Wasser aus dem Abgas auszukondensieren, und das auskondensierte Wasser wird dem Verbrennungssystem zugeführt.

[0019] Zweckmäßiger Weise wird das auskondensierte Wasser gereinigt.

[0020] Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn mindestens ein Teil des auskondensierten und gereinigten Wassers im Wärmetausch mit dem Abgasstrom verdampft wird.

[0021] Es ist vorteilhaft, wenn mindestens ein Teil des auskondensierten und gereinigten Wassers einem Verdichter der Kraftwerksanlage zugeführt wird.

[0022] Alternativ oder ergänzend kann es vorteilhaft sein, wenn mindestens ein Teil des auskondensierten und gereinigten Wassers für eine Elektrolyse abgezweigt wird.

[0023] Die Kühlung des Abgasstroms kann auf verschiedene Weise erfolgen. Eine zweckmäßige Möglichkeit ist der Einsatz von Kühlwasser, wobei der Abgasstrom direkt mit dem Kühlwasser in Verbindung gebracht wird. Da möglichst viel Wasser zurückgewonnen werden soll, ist es jedoch vorteilhaft, wenn der Abgasstrom indirekt gekühlt wird, insbesondere, wenn die Rückkühlung über ein trockenes Kühlsystem, wie beispielsweise die Luftkühlung, erfolgt und dadurch infolge der Kühlung kein Wasser an die Umgebung abgegeben wird.

[0024] Zur Abtrennung sind in Zukunft aber auch innovativere trockene Verfahren als die Luftkühlung denkbar, wie z.B. die Verwendung von Polymermembranmodulen, die durch Anlegen eines Unterdrucks im Modul das Wasser aus der Gasphase abtrennen können (aufgrund der hohen Wasser-Permeabilität des Membranmaterials).

[0025] Die Erfindung wird beispielhaft anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt schematisch und nicht maßstäblich:

Figur eine Kraftwerksanlage nach der Erfindung mit Auskondensieren des Wassers aus dem Abgas.

[0026] Die Figur zeigt schematisch und beispielhaft eine Kraftwerksanlage 1 mit einer Gasturbine 2, der ein Verdichter 3, ein Verbrennungssystem 4 und eine Turbine 5 zugeordnet sind. Das Verbrennungssystem 4 ist so ausgelegt, dass über eine Brennstoffzuleitung 6 zugeführter Wasserstoff unter Zugabe von Wasserdampf, zugeführt über Wasserdampfszuleitung 7, mit verdichteter Luft 8 verbrannt werden kann. Das dabei entstehende Abgas wird über eine Abgasleitung 9 von der Turbine 5 weggeführt.

[0027] In die Abgasleitung 9 ist eine Abgaskühleinrichtung 10 zum Auskondensieren von im Abgas enthaltenem Wasser geschaltet. Kühlwasser kann direkt mit dem

Abgas in Verbindung gebracht werden oder das Abgas kann über einen rekuperativen Tnlärmetauscher indirekt gekühlt werden, wobei, wie in der Figur schematisch dargestellt, die Abgaskühleinrichtung 10 mit einer Wärmesenke 11, beispielsweise einem trockenen Kühlsystem (z.B. Heller-System, Luftkühlung), verbunden ist, d.h. es entsteht kein Wasserverlust infolge der Kühlung.

[0028] Während das verbleibende Abgas 12 an die Umgebung abgegeben wird, wird das abgetrennte Kondensat über eine Wasserleitung 13 und eine Pumpe 14 einer Wasseraufbereitungsanlage 15 zugeführt und dort aufbereitet, um wieder die erforderliche Deionat-Qualität herzustellen.

[0029] Wasserverluste im Prozess werden durch Zugabe von Frischwasser 16 in die Wasseraufbereitungsanlage 15 ausgeglichen.

[0030] Die Figur zeigt drei mögliche Verwendungen für das aufbereitete Wasser. Weder müssen alle drei Anwendungen gemeinsam umgesetzt werden, noch schließen die gezeigten Beispiele die Liste der möglichen Anwendungen ab.

[0031] Gemäß der Erfindung ist ein Wärmetauscher 17 primärseitig zwischen Turbine 5 und Abgaskühleinrichtung 10 in die Abgasleitung 9 und sekundärseitig zwischen Wasserleitung 13 und Wasserdampfszuleitung 7 geschaltet. Im Wärmetausch mit dem Abgasstrom wird hier das auskondensierte und gereinigte Wasser, bevor es dem Verbrennungssystem 4 zugeführt wird, verdampft. Der erzeugte Dampf wird mit Wasserstoff vermischt und mit Luft aus dem Verdichter 3 verbrannt.

[0032] Die Figur zeigt weiterhin, dass stromab der Wasseraufbereitungsanlage 15 von der Wasserleitung 13 eine weitere Wasserleitung 18 abzweigt, wobei die weitere Wasserleitung 18 an den Verdichter 3 angeschlossen ist. Hierüber kann am Verdichter 3 Wasser in die Verbrennungsluft eingespritzt werden.

[0033] Ferner zeigt die Figur, dass stromab der Wasseraufbereitungsanlage 15 von der Wasserleitung 13 eine dritte Wasserleitung 19 für eine Elektrolyse von Wasser zur Gewinnung von Wasserstoff abzweigt.

[0034] Die Erfindung beschränkt sich nicht auf Gasturbinenanlagen, sondern bezieht sich auch auf Gas- und Dampfturbinenanlagen, bei denen zwischen Turbine 5 und Abgaskühleinrichtung 10 in die Abgasleitung 9 ein Abhitzedampferzeuger 20 geschaltet ist.

Patentansprüche

1. Kraftwerksanlage (1) umfassend eine Gasturbine (2), der ein Verdichter (3), ein Verbrennungssystem (4) und eine Turbine (5) zugeordnet sind, eine in das Verbrennungssystem (4) mündende Brennstoffzuleitung (6), eine in das Verbrennungssystem (4) mündende Wasserdampfszuleitung (7) und eine abgasseitig mit der Turbine (5) verbundene Abgasleitung (9), **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Abgaskühleinrichtung (10) zum Auskondensieren von

im Abgas enthaltenem Wasser in die Abgasleitung (9) geschaltet ist und die Abgaskühleinrichtung (10) über eine Wasserleitung (13) mit der Wasserdampfzuleitung (7) verbunden ist.

2. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 1, wobei eine Wasseraufbereitungsanlage (15) in die Wasserleitung (13) geschaltet ist.

3. Kraftwerksanlage (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei ein Wärmetauscher (17) primärseitig zwischen Turbine (5) und Abgaskühleinrichtung (10) in die Abgasleitung (9) und sekundärseitig zwischen Wasserleitung (13) und Wasserdampfzuleitung (7) geschaltet ist.

4. Kraftwerksanlage (1) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei stromab der Wasseraufbereitungsanlage (15) von der Wasserleitung (13) eine weitere Wasserleitung (18) abzweigt und die weitere Wasserleitung (18) an den Verdichter (3) angeschlossen ist.

5. Kraftwerksanlage (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei stromab der Wasseraufbereitungsanlage (15) von der Wasserleitung (13) eine dritte Wasserleitung (19) für eine Elektrolyse von Wasser zur Gewinnung von Wasserstoff abzweigt.

6. Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen Turbine (5) und Abgaskühleinrichtung (10) in die Abgasleitung (9) ein Abhitzedampferzeuger (20) geschaltet ist.

7. Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Brenner des Verbrennungssystems (4) geeignet sind, Brenngas mit einem Wasserstoffanteil bis zu 60 Volumenprozent zu verbrennen.

8. Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abgaskühleinrichtung (10) so ausgestaltet ist, dass Kühlwasser direkt mit dem Abgas in Verbindung gebracht werden kann.

9. Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abgaskühleinrichtung (10) einen rekuperativen Wärmetauscher für die indirekte Kühlung des Abgases umfasst.

10. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 9, wobei die Abgaskühleinrichtung (10) mit einem trockenen Kühlsystem verbunden ist.

11. Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage (1) mit einer Gasturbine (2), bei dem ein Brennstoff und Wasserdampf einem der Gasturbine (2) zugeordneten Verbrennungssystem (4) zugeführt werden, **da-**

durch gekennzeichnet, dass ein Abgasstrom der Gasturbine (2) gekühlt wird, um Wasser aus dem Abgas auszukondensieren, und das auskondensierte Wasser dem Verbrennungssystem (4) zugeführt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das auskondensierte Wasser gereinigt wird bevor es dem Verbrennungssystem (4) zugeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei mindestens ein Teil des auskondensierten und gereinigten Wassers im Wärmetauscher mit dem Abgasstrom verdampft wird bevor es dem Verbrennungssystem (4) zugeführt wird.

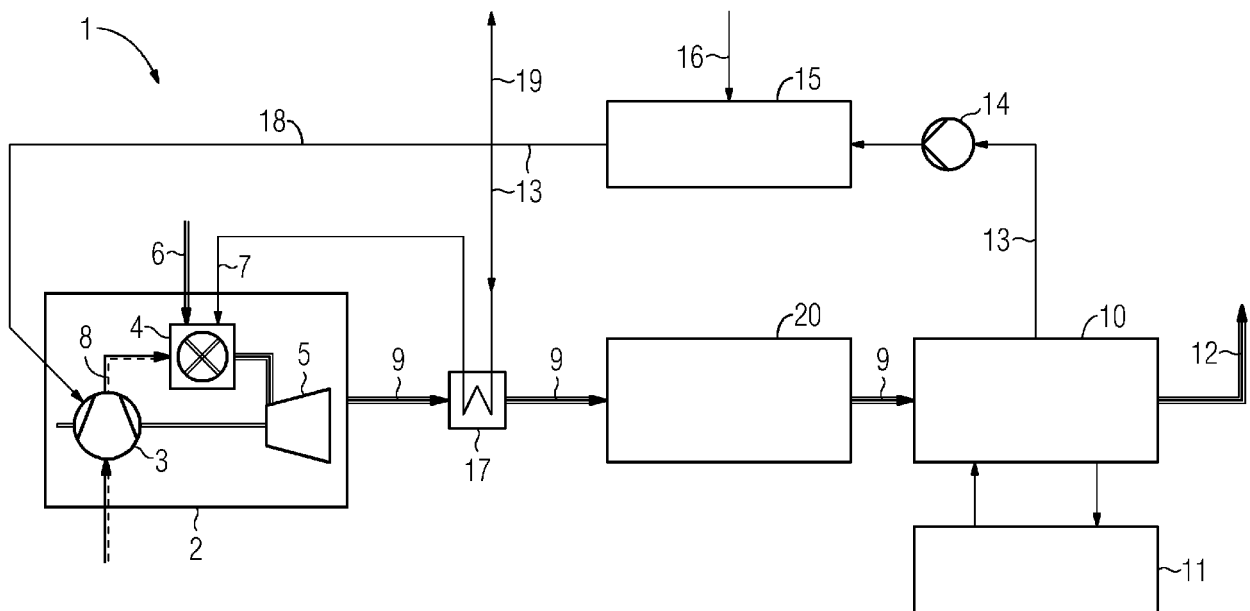
14. Verfahren nach Anspruch 12, wobei mindestens ein Teil des auskondensierten und gereinigten Wassers einem Verdichter (3) der Kraftwerksanlage (1) zugeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 12, wobei mindestens ein Teil des auskondensierten und gereinigten Wassers für eine Elektrolyse abgezweigt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei der Abgasstrom direkt mit Kühlwasser in Verbindung gebracht wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei der Abgasstrom indirekt gekühlt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der Abgasstrom über ein trockenes Kühlsystem gekühlt wird.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 15 5506

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2006/248896 A1 (HANSSON HANS-ERIK [SE] HANSSON HANS-ERIK [SE] ET AL) 9. November 2006 (2006-11-09) * Absätze [0039] - [0047]; Abbildung 1 *	1-4,6, 8-13, 16-18	INV. F01K21/04
X	US 2007/214766 A1 (OBANA MITSURU [GB] ET AL) 20. September 2007 (2007-09-20) * Absätze [0026] - [0030]; Abbildungen 1,2 *	1,11	
X	US 2002/023423 A1 (VITERI FERMIN [US] ET AL) 28. Februar 2002 (2002-02-28) * Absätze [0099] - [0105]; Abbildung 3 *	1,11	
A	US 2003/233830 A1 (MARIN OVIDIU [US] ET AL) 25. Dezember 2003 (2003-12-25) * Absätze [0047] - [0051]; Abbildungen 1,2 *	1-18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 28. Juni 2012	Prüfer Röberg, Andreas
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 : mündliche 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	

 2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 12 15 5506

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.

28-06-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006248896 A1	09-11-2006	AT 386197 T	15-03-2008
		DE 602004011762 T2	19-02-2009
		EP 1629184 A1	01-03-2006
		ES 2301995 T3	01-07-2008
		JP 4705018 B2	22-06-2011
		JP 2006526736 A	24-11-2006
		US 2006248896 A1	09-11-2006
		WO 2004106718 A1	09-12-2004
US 2007214766 A1	20-09-2007	EP 1905964 A2	02-04-2008
		GB 2436128 A	19-09-2007
		US 2007214766 A1	20-09-2007
US 2002023423 A1	28-02-2002	AU 7682301 A	03-12-2001
		CA 2409700 A1	29-11-2001
		US 2002023423 A1	28-02-2002
		US 2002096660 A1	25-07-2002
		US 2002100271 A1	01-08-2002
		US 2004065088 A1	08-04-2004
		US 2005236602 A1	27-10-2005
		WO 0190548 A1	29-11-2001
US 2003233830 A1	25-12-2003	AU 2003245082 A1	04-09-2003
		CN 1633545 A	29-06-2005
		EP 1476640 A1	17-11-2004
		US 2003233830 A1	25-12-2003
		WO 03069131 A1	21-08-2003

EPO FORM P0461

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