

(19)



(11)

EP 3 012 419 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.04.2016 Patentblatt 2016/17

(51) Int Cl.:
F01K 13/02 ^(2006.01) **F01K 23/16** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14189509.4**

(22) Anmeldetag: **20.10.2014**

(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

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

(72) Erfinder:
• **Berning, Martin**
45481 Mülheim - Ruhr (DE)

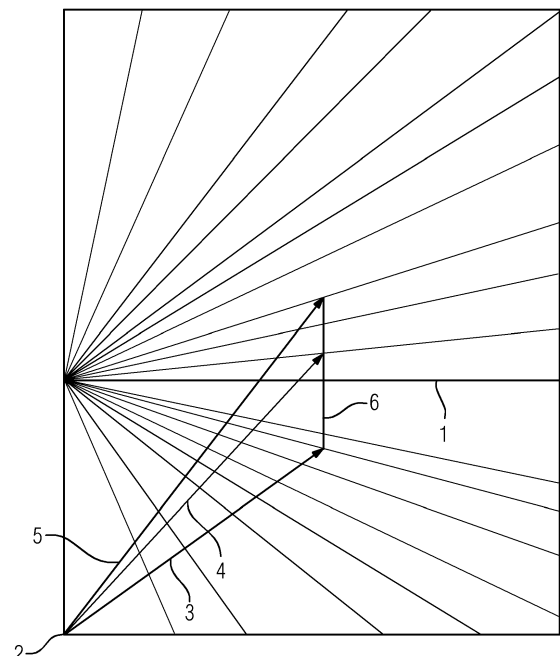
- **Diefenbach, Marc**
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)
- **Langer, Marcel**
46149 Oberhausen (DE)
- **Ophey, Martin**
47638 Straelen (DE)
- **Schlüter, Dennis**
46569 Hünxe (DE)
- **Winkel, Michael**
46284 Dorsten (DE)

(54) **Kuppeln einer Gasturbine und einer Dampfturbine mit Zielkuppelwinkel mit Verstellen des Polradwinkels**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kuppeln einer mit einem Generator verbundenen Gasturbine und einer Dampfturbine, wobei der Generator eine Erregerwicklung aufweist, deren Erregung durch Veränderung eines durch die Erregerwicklung fließenden Erregungsstroms verändert werden kann, mit folgenden Schritten:

a) Beschleunigen und/oder Verzögern der Dampfturbine derart, dass das Kuppeln mit einem Zielkuppelwinkel erfolgt;

b) bei Bedarf Veränderung des Erregungsstroms, so dass die dadurch veränderte Erregung der Erregerwicklung zu einem veränderten Polradwinkel führt, wobei der Polradwinkel derart verändert wird, dass das Erreichen des Zielkuppelwinkels unterstützt wird. Die Erfindung betrifft ferner ein analoges Verfahren, bei dem zum verbesserten Auskuppeln der Polradwinkel verändert wird. Ebenso wird eine zugehörige Regelungseinrichtung bereitgestellt.



EP 3 012 419 A1

Beschreibung

[0001] Beim Anfahren von Gasturbinenkraftwerken gilt es häufig die Dampfturbine zuzuschalten, sobald mit der Abwärme der Gasturbine genügend Dampf zum Antreiben der Dampfturbine bereitgestellt werden kann. Dazu werden die Gasturbine und die Dampfturbine mittels einer Kupplung gekuppelt. Besonders zur Vermeidung von Unwuchten werden Ansätze verfolgt, durch eine gezielte Regelung des Kuppelvorgangs bei einem Zielkuppelwinkel zu kuppeln. Dazu wird die Dampfturbine in geeigneter Weise beschleunigt. Die Frequenz der Gasturbine ist insoweit vorgegeben als diese mit der Frequenz des Stromnetzes, in das die Einspeisung erfolgt, übereinstimmen muss.

[0002] Aufgabe der Erfindung ist es eine Möglichkeit zum verbesserten Kuppeln mit Zielkuppelwinkel bereitzustellen. Die Lösung dieser Aufgabe findet sich insbesondere in den unabhängigen Ansprüchen. Die abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Weiterentwicklungen an. In der Beschreibung und in den Zeichnungen sind weitere Informationen enthalten.

[0003] Es wird ein Verfahren zum Kuppeln einer mit einem Generator verbundenen Gasturbine und einer Dampfturbine bereitgestellt, wobei der Generator eine Erregerwicklung aufweist. Die Erregung der Erregerwicklung kann durch Veränderung eines durch die Erregerwicklung fließenden Erregungsstroms verändert werden. Das Verfahren weist folgende Schritte auf:

- a) Beschleunigen und/oder Verzögern der Dampfturbine derart, dass das Kuppeln mit einem Zielkuppelwinkel erfolgt;
- b) bei Bedarf Veränderung des Erregungsstroms, so dass die dadurch veränderte Erregung der Erregerwicklung zu einem veränderten Polradwinkel führt, wobei der Polradwinkel derart verändert wird, dass das Erreichen des Zielkuppelwinkels unterstützt wird.

[0004] Es ist klar, dass Schritt a) und Schritt b) zeitlich zumindest teilweise überlappen. Schritt b) wird immer dann erfolgen, wenn es nicht oder nur erschwert, etwa nicht in kurzer Zeit, möglich ist, mit Schritt a) den Zielkuppelwinkel zu erreichen. Schritt a) ist bekannt, so dass hierzu keine weiteren Ausführungen erfolgen.

[0005] Schritt b) soll näher erläutert werden. Es gibt einen Freiheitsgrad beim Erregungsstrom, der die Erregung der Erregerwicklung hervorruft. Dadurch kann der sogenannte Polradwinkel beeinflusst werden. Unter dem Polradwinkel, auch Lastwinkel genannt, ist allgemein der Winkel zu verstehen, unter dem das Polrad einer Synchronmaschine dem Synchrongrehfeld voreilt. Auf die Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, da sie dem einschlägigen Fachmann bekannt sind. Wichtig ist zu verstehen, dass durch eine Veränderung des Polradwinkels sich die Blindleistung ändert, aber es möglich bleibt die geforderte Wirkleistung bereit zu stellen. Durch

die Veränderung des Polradwinkels ist es möglich, der Forderung zu genügen, dass der Generator sich mit Netzfrequenz dreht und zugleich eine Veränderung der Winkellage des Generators und damit der Gasturbine erreichbar ist. Die Erfindung gestattet also, nicht nur die Winkellage der Dampfturbine, sondern auch die Winkellage der Gasturbine zu beeinflussen. Wenngleich im Regelfall nur eine Beeinflussung um wenige Grad möglich ist, wird doch ein zusätzlicher Freiheitsgrad geschaffen, der das Kuppeln mit Zielkuppelwinkel bei Bedarf sehr erleichtern und beschleunigen kann.

[0006] Der Polradwinkel ist vom Verhältnis von Wirkleistung und Blindleistung abhängig. Da das Verhältnis von Wirkleistung und Blindleistung von der Erregung, also vom Erregungsstrom abhängt, ist die entsprechende Wahl der Blindleistung bei gegebener Wirkleistung grundsätzlich gleichbedeutend mit der Aussage den Erregungsstrom entsprechend zu wählen. Die Zusammenhänge machen deutlich, dass es nicht erforderlich ist, den Polradwinkel unmittelbar zu erfassen. Es genügt im Grunde bei gegebener Wirkleistung die Blindleistung entsprechend zu ändern. Damit kann bei der Regelung auf die ohnehin erfassten Größen Wirkleistung und Blindleistung zurückgegriffen werden. Die Zusammenhänge zwischen Wirkleistung, Blindleistung und Polradwinkel können einem sogenannten Leistungsdiagramm entnommen werden, wie später noch näher erläutert wird.

[0007] In einer Ausführungsform wird bei einem Vorseilen der Gasturbine in Bezug auf den Zielkuppelwinkel der Erregungsstrom erhöht und bei einem Nacheilen der Gasturbine der Erregungsstrom gesenkt. Im Regelfall kann durch Erhöhung der Erregung der Polradwinkel gesenkt werden. Es wird also der Winkel um den das Polrad dem Synchrongrehfeld vorseilt, gesenkt. Der Generator und damit die Gasturbine werden also gleichsam etwas zurückgedreht, so dass das Vorseilen der Gasturbine in Bezug auf den Zielkuppelwinkel beseitigt.

[0008] In einer Ausführungsform wird die Veränderung des Erregungsstroms eingesetzt um Schwankungen der Netzfrequenz, welche das Erreichen des Zielkuppelwinkels erschweren, auszugleichen. Wenngleich grundsätzlich angestrebt wird, die Netzfrequenz möglichst konstant zu halten, in Deutschland beispielsweise wird ein Wert von 50 Hertz angestrebt, so treten dennoch kleine Schwankungen auf. Treten diese während des Kuppelns, also gerade auch im Vorfeld des eigentlichen Kuppelns, während die Dampfturbine beschleunigt oder verzögert wird, auf, ist es oft nicht mehr möglich die Beschleunigung der Dampfturbine entsprechend anzupassen. In diesem Fall ist die Veränderung des Erregungsstroms und die damit einhergehende Veränderung des Polradwinkels und somit die Veränderung der Winkellage der Gasturbine sehr wichtig, wenn nicht unverzichtbar, um zügig mit Zielkuppelwinkel einzukuppeln.

[0009] In einer Ausführungsform ist durch die Veränderung des Erregungsstroms der Winkel der Gasturbine um bis zu 5° veränderbar. Wie bereits erläutert ist die erreichbare Winkeländerung zwar überschaubar, aber

eben dennoch wichtig. Es bleibt dabei, dass der wesentliche Freiheitsgrad beim Kuppeln durch die geeignete Beschleunigung der Dampfturbine und den Wahl des Kuppelzeitpunkts gegeben ist.

[0010] In einer Ausführungsform wird zur Veränderung des Erregungsstroms die Erregerspannung verändert. Dies gestattet eine Beeinflussung des Erregerstroms in einfacher Weise.

[0011] Die obigen Überlegungen können auch für ein Verfahren zum Auskuppeln einer Dampfturbine und einer mit einem Generator verbundenen Gasturbine genutzt werden. Der Generator weist wiederum eine Erregerwicklung auf, deren Erregung durch Veränderung eines durch die Erregerwicklung fließenden Erregungsstroms verändert werden kann. Beim Auskuppeln wird der Erregungsstrom derart verändert, dass die dadurch veränderte Erregung der Erregerwicklung zu einem veränderten Polradwinkel führt, der ein Auskuppeln erleichtert. Wie bereits oben beim Kuppeln beschrieben erlaubt die Veränderung des Polradwinkels eine Verdrehung der Gasturbine. In bestimmten Situationen kann dies beim Auskuppeln, also beim Lösen der Kupplung zwischen Gasturbine und Dampfturbine vorteilhaft sein. Vor allem ist es oft möglich, das Auskuppeln zu beschleunigen. Dies senkt den Verschleiß der Kupplung.

[0012] Es wird ebenfalls eine Regelungseinrichtung für einen Einwellen-Turbosatz mit einer Gasturbine, einer Dampfturbine und einem Generator bereit gestellt. Die Regelungseinrichtung ist derart eingerichtet, dass das oben beschriebene Verfahren zum Kuppeln und/oder Auskuppeln durchführbar ist. Dabei genügen oft marginale Änderungen der ohnehin vorhandenen Regelungseinrichtung. In vielen Fällen kann man sich auf eine andere Programmierung beschränken. Die Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfordert somit nur sehr überschaubaren Aufwand. Im Normalfall ist auch eine Nachrüstung bestehender Einwellen-Turbosätze, genau genommen der zugehörigen Regelungseinrichtung problemlos möglich.

[0013] Weitere Einzelheiten sollen anhand der Figur 1 beschrieben werden, die ein Leistungsdiagramm zeigt, in dem die Zusammenhänge zwischen Blindleistung, Wirkleistung und Polradwinkel dargestellt sind.

[0014] Auf der Rechtswertachse von Figur 1 ist die Wirkleistung in MW aufgetragen. Auf der Hochwertachse ist die Blindleistung im Mvar eingetragen. Die Linie 1 verläuft bei der Blindleistung 0. Bei den auf der Linie 1 liegenden Betriebspunkten wird also nur Wirkleistung bereitgestellt. Bei den unterhalb der Linie 1 liegenden Betriebspunkten ist die Blindleistung negativ, bei den oberhalb liegenden positiv. Die am Rand endenden Geraden stehen für bestimmte Werte vom $\cos \phi$, wobei ϕ der Winkel zwischen der im Generator induzierten Spannung und dem daraus resultierenden Strom im Zeigerdiagramm ist.

[0015] Vorliegend bedeutend sind die von einem links unten liegenden Ursprung 2 ausgehenden Pfeile 3, 4 und 5. Wie ersichtlich enden diese an Betriebspunkten mit

derselben Wirkleistung, aber unterschiedlicher Blindleistung. Die Strecke 6 welche die beiden Endpunkte der Pfeile 3 und 5 verbindet, ist ein typischer Bereich in dem die Blindleistung verstellt werden kann, während die Wirkleistung gleich bleibt.

[0016] Der Winkel zwischen den Pfeilen 3, 4 sowie 5 und der Hochwertachse ist der jeweilige Polradwinkel. Die Lage des Ursprungs 2 ist messtechnisch bestimmt. Allgemein kann der Polradwinkel im Leistungsdiagramm abgelesen werden, in dem ein Pfeil vom Ursprung 2 zum jeweiligen Betriebspunkt gezogen wird und der Winkel dieses Pfeils zur Hochwertachse bestimmt wird.

[0017] Wird etwa beim Betriebspunkt, der am Ende von Pfeil 4 liegt, gekuppelt und von der Regelung festgestellt, dass die Gasturbine für ein Kuppeln mit dem Zielkuppelwinkel um 2° vorseilt, dann gilt es den Polradwinkel um 2° zu senken. Wie im Leistungsdiagramm nach Figur 1 ersichtlich, ist hierzu die Blindleistung zu erhöhen. Dafür gilt es die Erregung, also die Erregerspannung und damit den Erregungsstrom soweit abzusinken, bis der Polradwinkel 42° beträgt. Es ist also in einfacher Weise möglich durch eine Änderung der Blindleistung, die durch geänderte Erregung herbeigeführt werden kann, den Polradwinkel zu beeinflussen und damit in verbesserter Weise den Zielkuppelwinkel zu beeinflussen.

[0018] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kuppeln einer mit einem Generator verbundenen Gasturbine und einer Dampfturbine, wobei der Generator eine Erregerwicklung aufweist, deren Erregung durch Veränderung eines durch die Erregerwicklung fließenden Erregungsstroms verändert werden kann, mit folgenden Schritten:

- a) Beschleunigen und/oder Verzögern der Dampfturbine derart, dass das Kuppeln mit einem Zielkuppelwinkel erfolgt;
- b) bei Bedarf Veränderung des Erregungsstroms, so dass die dadurch veränderte Erregung der Erregerwicklung zu einem veränderten Polradwinkel führt,

wobei der Polradwinkel derart verändert wird, dass das Erreichen des Zielkuppelwinkels unterstützt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Vorseilen der Gasturbine in Bezug auf

den Zielkuppelwinkel der Erregungsstrom erhöht wird und bei einem Nacheilen der Gasturbine der Erregungsstrom gesenkt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 5
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Veränderung des Erregungsstroms eingesetzt wird um Schwankungen der Netzfrequenz, welche das Erreichen des Zielkuppelwinkels erschweren, auszugleichen. 10

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 15
dadurch gekennzeichnet, dass
 durch die Veränderung des Erregungsstroms der Winkel der Gasturbine um bis zu 5° veränderbar ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 20
dadurch gekennzeichnet, dass
 zur Veränderung des Erregungsstroms die Erregerspannung verändert wird.

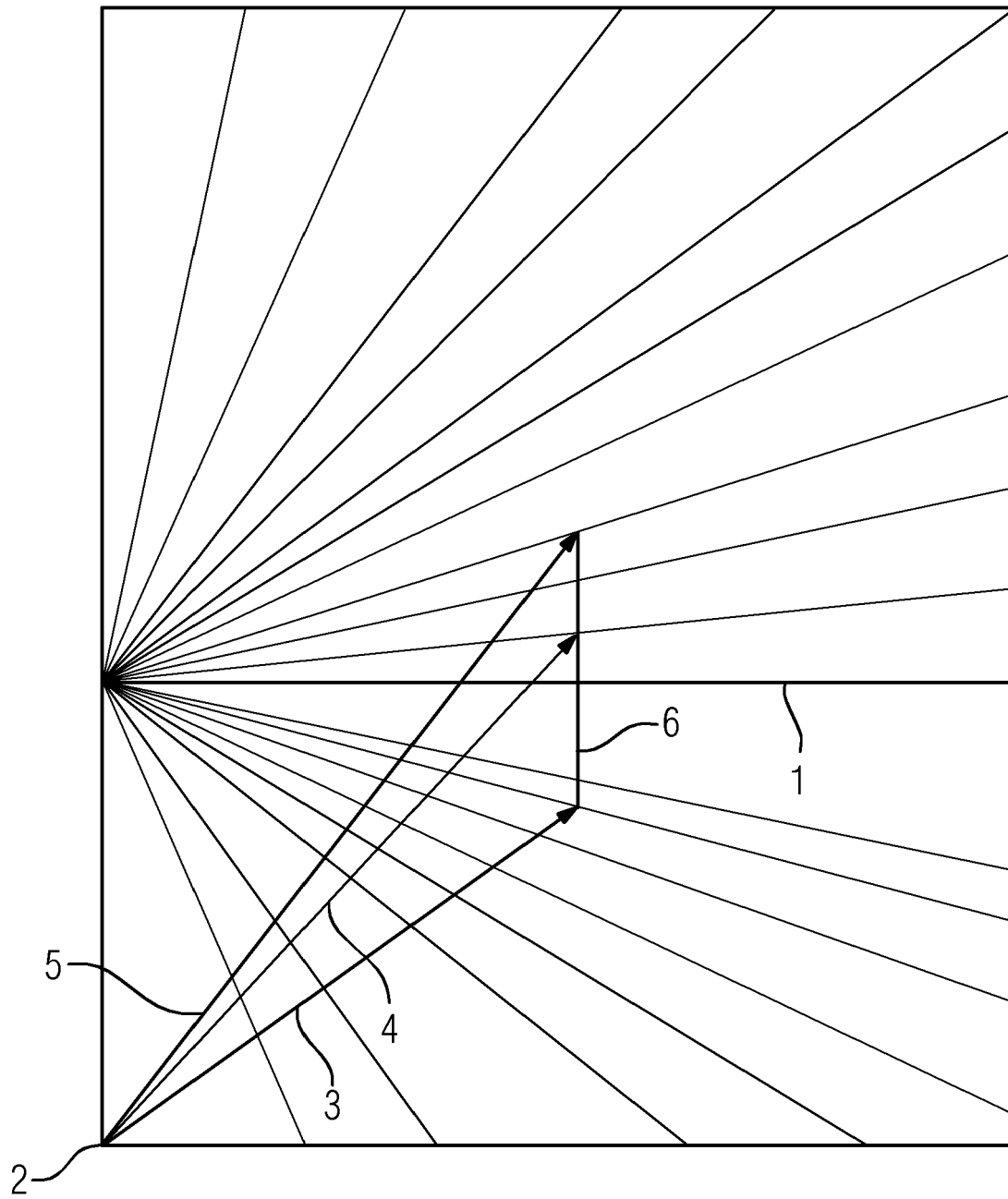
6. Verfahren zum Auskuppeln einer Dampfturbine und einer mit einem Generator verbundenen Gasturbine, wobei der Generator eine Erregerwicklung aufweist, deren Erregung durch Veränderung eines durch die Erregerwicklung fließenden Erregungsstroms verändert werden kann, 25
30
 wobei der Erregungsstrom derart verändert wird, dass die dadurch veränderte Erregung der Erregerwicklung zu einem veränderten Polradwinkel führt, der ein Auskuppeln erleichtert. 35

7. Regelungseinrichtung für einen Einwellen-Turbosatz mit einer Gasturbine, einer Dampfturbine und einem Generator, derart eingerichtet, dass ein Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche durchführbar ist. 40

45

50

55





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 14 18 9509

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)
X	EP 1 911 939 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16. April 2008 (2008-04-16) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 11-15 * * Absätze [0001] - [0009], [0028] - [0042] *	1-7	INV. F01K13/02 F01K23/16
A	----- HOFMANN W: "BLINDLEISTUNG - SICHTBAR GEMACHT", ELEKTROTECHNISCHE ZEITSCHRIFT - ETZ, VDE VERLAG GMBH, BERLIN, DE, Bd. 120, Nr. 10, 1. Mai 1999 (1999-05-01), Seite 18,20/21, XP000927072, ISSN: 0948-7387 * das ganze Dokument *	1-7	
A	----- STOLZLE K ET AL: "SYNCHRONISIERENDE, SELBSTSCHALTENDE KUPPLUNGEN FÜR EIN-WELLEN- COGENERATION-KRAFTWERKE", ANTRIEBSTECHNIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE, MAINZ, DE, Bd. 34, Nr. 8, 1. August 1995 (1995-08-01), Seiten 46-49, XP000517052, ISSN: 0722-8546 * das ganze Dokument *	1-7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 28. Mai 2015	Prüfer Varelas, Dimitrios
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 Patentdokument, 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 03.92 (P04C03)

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

EP 14 18 9509

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.

28-05-2015

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 1911939	A1	16-04-2008	CN	101523017 A	02-09-2009
				EP	1911939 A1	16-04-2008
				EP	2078139 A1	15-07-2009
15				JP	5455631 B2	26-03-2014
				JP	2010506113 A	25-02-2010
				RU	2009117610 A	20-11-2010
				US	2009325765 A1	31-12-2009
				WO	2008043671 A1	17-04-2008
20	-----					
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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