



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**14.09.2005 Patentblatt 2005/37**

(51) Int Cl.7: **F01D 25/00**

(21) Anmeldenummer: **04004981.9**

(22) Anmeldetag: **03.03.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK**

(72) Erfinder:  
• **Dankert, Michael, Dr.  
63069 Offenbach (DE)**  
• **Oechsner, Matthias, Dr.  
45481 Mülheim (DE)**

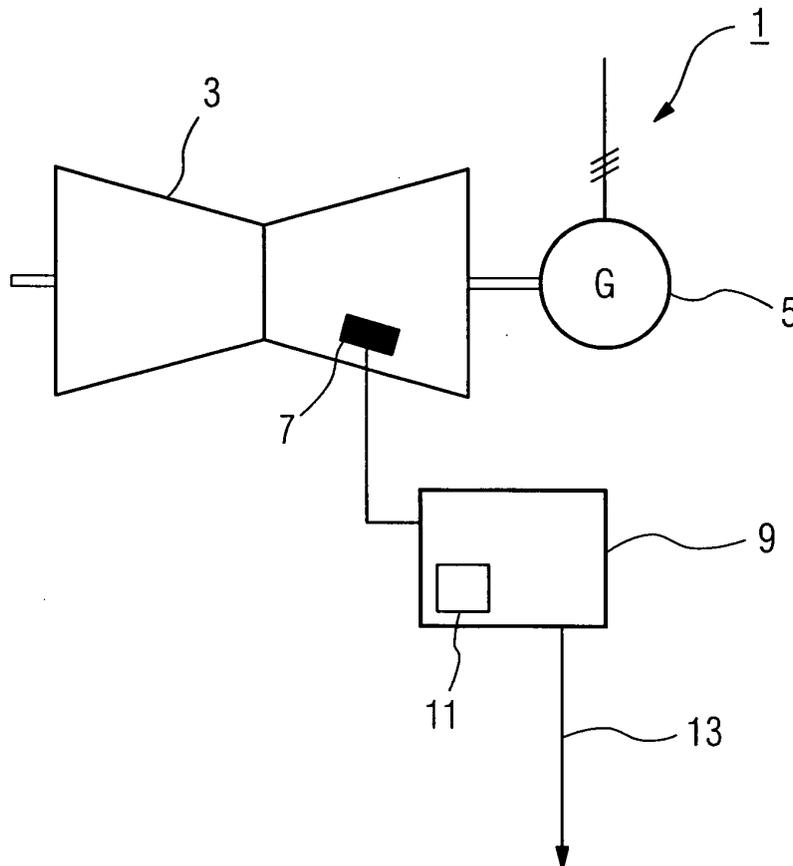
(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen**

(57) Zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine ist es vorgesehen, während des Betriebs der Turbine mindestens einen aktuellen Schwingungskennwert mindestens eines Turbinenbauteils zu ermitteln.

Dieser wird bevorzugt mit einem Schwingungsreferenzwert verglichen.

Dadurch ist ein Erkennen von Verunreinigungen möglich, da diese wegen ihrer Masse den Schwingungskennwert des Turbinenbauteils verändern.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine, insbesondere einer Gasturbine zur Erzeugung von elektrischer Energie.

**[0002]** Bei einer Turbine zur Erzeugung von elektrischer Energie wird die in einem Arbeitsmedium enthaltene Energie umgewandelt in Rotationsenergie der Turbine, so dass ein an die Turbine gekoppelter Generator angetrieben wird und elektrische Leistung bereitstellt.

**[0003]** Es sind verschiedene Turbinentypen bekannt, beispielsweise Gasturbinen oder Dampfturbinen.

**[0004]** Bei Gasturbinen wird das zum Antrieb der Gasturbine verwendete Heißgas üblicherweise in einer Brennkammer erzeugt, wobei als Brennstoff für die Brenner beispielsweise Schweröl oder Naphtha verwendet werden kann.

**[0005]** Bei der Verbrennung dieser Brennstoffe entsteht Heißgas, welches Schmutzpartikel enthält.

**[0006]** Das Heißgas wird den Turbinenschaufeln der Turbine zugeführt und erzeugt dabei eine Rotation des Turbinenschaufelkranzes.

**[0007]** Alle Turbinenbauteile, welche mit dem Heißgas in Kontakt kommen, sind verschmutzungsgefährdet, da sich bei Kontakt des verunreinigten Heißgases mit den Turbinenbauteilen zumindest ein Teil der Schmutzpartikel auf den Turbinenbauteilen ablagert. Besonders betroffen sind hierbei die Turbinenschaufeln.

**[0008]** Durch die Verunreinigungen verändern sich die Eigenschaften der Turbine, insbesondere deren Wirkungsgrad. Des Weiteren können diese Verunreinigungen auch zu einer übermäßigen Belastung der Turbine führen.

**[0009]** Die Verunreinigungen bilden gewöhnlich unerwünschte Beläge auf den betroffenen Turbinenbauteilen, wobei der verwendete Brennstoff, die Umgebungsbedingungen oder die Betriebsart der Turbine einen Einfluss darauf nimmt, wie stark und/oder wie schnell sich diese Beläge bilden.

**[0010]** Die Beläge müssen durch eine Reinigung der betroffenen Turbinenbauteile entfernt werden.

**[0011]** Dazu ist es bekannt, diese Reinigung in festen Inspektionsintervallen durchzuführen. Dabei wird üblicherweise vorher eine Sichtprüfung der Turbinenbauteile durchgeführt, wobei jedoch zumindest ein Teil der Turbine demontiert werden muss, um die Sichtprüfung vornehmen zu können.

**[0012]** Die Sichtprüfung kann beispielsweise ergeben, dass eine Reinigung eigentlich noch nicht notwendig ist oder dass andererseits vielleicht sogar schon eine Schädigung von Turbinenbauteilen vorliegt.

**[0013]** Durch die Vorgabe von festen Reinigungsintervallen ist es mehr oder weniger Zufall, den idealen Reinigungszeitpunkt zu erfassen.

**[0014]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren sowie eine Vorrichtung

zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine anzugeben, mittels welcher insbesondere eine Demontage der Turbine vermieden wird.

**[0015]** Des Weiteren sollen dieses Verfahren und die Vorrichtung es erlauben, einen möglichst optimalen Reinigungszeitpunkt festzulegen.

**[0016]** Bezüglich des Verfahrens wird die Erfindung gelöst durch ein Verfahren zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine, wobei während des Betriebs der Turbine mindestens ein aktueller Schwingungskennwert mindestens eines Turbinenbauteils ermittelt wird.

**[0017]** Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass insbesondere die rotierenden Bauteile einer Turbine infolge der auf sie wirkenden Kräfte eine Schwingung ausführen.

**[0018]** Diese Schwingung kann mehr oder weniger stark hinsichtlich ihrer Amplitude und/oder Dämpfung ausgeprägt sein und von einem schnell abklingenden Stoß bis zu einer ungedämpften harmonischen Schwingung reichen.

**[0019]** Des Weiteren kann als Schwingungskennwert die Frequenz, mit welcher das betroffene Turbinenbauteil schwingt, herangezogen werden.

**[0020]** Es sei angemerkt, dass derartige Schwingungen in jeder Betriebssituation der Turbine feststellbar sind, also auch im Normalbetrieb.

**[0021]** Vorteilhaft wird der Schwingungskennwert während des Betriebs der Turbine ermittelt.

**[0022]** Einige Schwingungseigenschaften eines mit verunreinigtem Heißgas beaufschlagten Turbinenbauteils äußern sich während des Betriebs der Turbine, wenn also die Turbine mit Heißgas beaufschlagt wird und die Turbinenschaufeln sich in Drehung befinden.

**[0023]** Wie bereits erwähnt, wirken auf die Bauteile einer sich in Betrieb befindlichen Turbine Kräfte ein, woraufhin die betroffenen Bauteile als Reaktion mit einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Schwingung reagieren. Die Art der dadurch erregten Schwingung hängt dabei von dem Grad der Verunreinigung des Bauteils ab. Beispielsweise verändert sich infolge der Verunreinigung die Masse des Bauteils. Dadurch ist die sich während des Betriebs einstellende Schwingung dieses Bauteils im Vergleich zu einem nicht verunreinigten Bauteil stärker gedämpft und/oder weist eine andere Frequenz auf. Wird nun ein derartiger Schwingungskennwert des sich in Betrieb befindlichen Turbinenbauteils ermittelt, so kann man daraus auf Verunreinigungen des Turbinenbauteils schließen und einen Reinigungsplan festlegen.

**[0024]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der Schwingungskennwert während eines Turbinenstillstands ermittelt.

**[0025]** Bei einem Turbinenstillstand wirken auf die Turbinenbauteile keine äußeren Kräfte ein. Die Schwingungseigenschaften des Bauteils können sich aber in der zurückliegenden Betriebsphase verändert haben.

**[0026]** Beispielsweise verschiebt sich die Eigenfrequenz eines mit Verunreinigungen belegten Bauteils im Vergleich zu einem nicht verunreinigten Bauteil.

**[0027]** Im Turbinenstillstand kann dies beispielsweise dadurch festgestellt werden, indem das Bauteil direkt oder indirekt angeregt wird, beispielsweise mittels eines Stoßes, und die sich einstellende Bauteilschwingung gemessen wird.

**[0028]** Vorteilhaft wird der Schwingungskennwert mit einem Schwingungsreferenzwert verglichen, welcher einem entsprechenden, nicht verunreinigten Turbinenbauteil zugeordnet ist. Beispielsweise kann die Eigenfrequenz des verschmutzten und eines entsprechenden gleichartigen, nicht verschmutzten Turbinenbauteils ermittelt und miteinander verglichen werden.

**[0029]** Bei einer Abweichung dieser beiden Werte kann dann auf eine Verschmutzung des untersuchten Turbinenbauteils geschlossen werden.

**[0030]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist das Turbinenbauteil eine Turbinenschaufel.

**[0031]** Die Turbinenschaufeln sind diejenigen Turbinenbauteile, welche während des Betriebs am intensivsten in Kontakt sind mit dem Heißgas. Daher ist damit zu rechnen, dass sich Beläge mit Verunreinigungen insbesondere auf den Turbinenschaufeln bilden und dadurch der Betrieb der Turbine beeinträchtigt wird. Von daher ist es besonders vorteilhaft, eine, mehrere oder alle Turbinenschaufeln der Turbine hinsichtlich ihres aktuellen Schwingungskennwerts zu untersuchen um rechtzeitig Verunreinigungen feststellen zu können.

**[0032]** In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung wird für eine Anzahl an vergleichbar betriebenen Turbinenbauteilen mindestens ein gemeinsamer Schwingungskennwert ermittelt.

**[0033]** Üblicherweise sind mehrere Reihen an Turbinenschaufeln hintereinander angeordnet und werden nacheinander vom Heißgas durchströmt. Somit sind die Turbinenschaufeln einer dieser Reihen vergleichbar betrieben, indem diese Turbinenschaufeln parallel mit dem Heißgas beaufschlagt werden. Infolge des symmetrischen Aufbaus der Turbine, insbesondere hinsichtlich der Anordnung der Laufschaufeln, sind daher die Turbinenschaufeln einer Schaufelreihe gleich belastet.

**[0034]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung führt das Turbinenbauteil Heißgas.

**[0035]** Unter derartige Turbinenbauteile fallen nicht nur die vorgenannten Turbinenschaufeln, sondern auch andere Komponenten, welche mit dem Heißgas in Berührung kommen, wie beispielsweise Heißgaszu- und/oder Heißgasleitungen. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung können auch derartige Turbinenbauteile hinsichtlich Verunreinigungen untersucht werden.

**[0036]** Besonders bevorzugt umfasst der Schwingungskennwert eine Eigenfrequenz und/oder eine Schwingungsfrequenz und/oder eine Schwingungsamplitude und/oder einen Dämpfungskennwert und/oder ein Schwingungs-Abklingverhalten des Turbinenbauteils.

**[0037]** Diese Schwingungskennwerte können während des Betriebs oder während eines Turbinenstillstands ermittelt werden. Während des Betriebs müssen zur Ermittlung dieser Kennwerte die zu untersuchenden Turbinenbauteile gewöhnlich nicht separat angeregt werden, da sie während des Betriebs infolge der auf sie einwirkenden Kräfte (beispielsweise Fliehkräfte und/oder leichte Unwuchten) ohnehin zu Schwingungen angeregt werden. Bezüglich dieser Schwingung oder Schwingungen wird dann der entsprechende Schwingungskennwert ermittelt.

**[0038]** Während eines Turbinenstillstands ist es dagegen meist erforderlich, den Schwingungskennwert zu bestimmen, indem das Turbinenbauteil direkt oder indirekt beispielsweise mittels eines Stoßes, angeregt und der sich einstellende Schwingungskennwert ermittelt wird.

**[0039]** Die Erfindung führt weiterhin zu einer Vorrichtung zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine, wobei mindestens eine Sensoreinheit zur Ermittlung mindestens eines aktuellen Schwingungskennwerts mindestens eines Turbinenbauteils vorgesehen ist.

**[0040]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den entsprechenden abhängigen Patentansprüchen niedergelegt.

**[0041]** Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher dargestellt. Es zeigt:

**[0042]** FIG eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine.

**[0043]** In der Figur ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine 3 dargestellt.

**[0044]** Bei der Turbine 3 handelt es sich bevorzugt um eine Gasturbine, deren Turbinenschaufeln von Heißgas angetrieben werden.

**[0045]** Zur Erzeugung von elektrischer Energie ist die Turbine 3 an einen Generator 5 gekoppelt.

**[0046]** Zur Erfassung eines Schwingungskennwerts der Turbinenschaufeln ist eine Sensoreinheit 7 vorgesehen. Diese Sensoreinheit kann an der Außenseite des Turbinengehäuses angebracht sein und beispielsweise Schallfrequenzen einer an der Sensoreinheit 7 vorbeilaufenden Turbinenschaufelreihe aufnehmen.

**[0047]** Des Weiteren kann die Sensoreinheit 7 im Inneren des Turbinengehäuses angeordnet sein und beispielsweise auf induktiver Basis Messwerte von vorbeilaufenden Turbinenschaufeln aufnehmen.

**[0048]** Ferner ist es auch denkbar, dass die Sensoreinheit 7 hoch integriert ausgeführt ist und beispielsweise in Art einer Folie auf mindestens eine Turbinenschaufel aufgebracht ist. Ein Auslesen der dabei detektierten Messwerte kann berührungs- und/oder drahtlos geschehen.

**[0049]** Die Recheneinheit 9 umfasst einen Speicher 11, in welchem ein Schwingungsreferenzwert gespeichert ist, welcher zu einer Turbinenschaufel korrespon-

diert, die nicht verunreinigt ist, also keine Beläge aufweist.

**[0050]** Der Schwingungskennwert bzw. der Schwingungsreferenzwert können eine Eigenfrequenz und/oder eine Schwingungsfrequenz und/oder eine Schwingungsamplitude und/oder einen Dämpfungskennwert und/oder ein Schwingungs-Abklingverhalten des Turbinenbauteils umfassen. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das Turbinenbauteil eine oder mehrere Turbinenschaufeln.

**[0051]** Die Ermittlung des Schwingungskennwerts erfolgt während des Betriebs der Turbine 3 oder alternativ oder in Kombination während eines Turbinenstillstands.

**[0052]** Die Recheneinheit 9 kann beispielsweise mittels eines Digitalrechners realisiert sein, in welchem ein Auswerteprogramm zum Einsatz kommt, welches den oder die ermittelten Schwingungskennwerte bezüglich der Turbinenschaufel entsprechend eines Auswertalgorithmus ausgleicht mit dem oder den gespeicherten Schwingungsreferenzwerten. Je nach Grad der Übereinstimmung oder auch Abweichung der genannten Werte kann eine Wartungsanweisung 13 generiert werden, beispielsweise basierend auf Methoden der künstlichen Intelligenz.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine (3),  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
mindestens ein aktueller Schwingungskennwert mindestens eines Turbinenbauteils ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert während des Betriebs der Turbine (3) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert während eines Turbinenstillstands ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert mit einem Schwingungsreferenzwert verglichen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Turbinenbauteil eine Turbinenschaufel ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
für eine Anzahl an vergleichbar betriebenen Turbinenbauteilen mindestens ein gemeinsamer Schwingungskennwert ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Anzahl der vergleichbar betriebenen Turbinenbauteile eine Turbinenschaufelreihe ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Turbinenbauteil Heißgas führt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert eine Eigenfrequenz und/oder eine Schwingungsfrequenz und/oder eine Schwingungsamplitude und/oder einen Dämpfungskennwert und/oder ein Schwingungs-Abklingverhalten des Turbinenbauteils umfasst.
10. Vorrichtung (1) zur Detektierung von Verunreinigungen an Turbinenbauteilen einer Turbine (3),  
**gekennzeichnet durch**  
mindestens eine Sensoreinheit (7) zur Ermittlung mindestens eines aktuellen Schwingungskennwerts mindestens eines Turbinenbauteils.
11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert während des Betriebs der Turbine (3) ermittelt wird.
12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10 oder 11,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert während eines Turbinenstillstands ermittelt wird.
13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12,  
**gekennzeichnet durch**  
eine Recheneinheit (9), mittels welcher der Schwingungskennwert mit einem gespeicherten Schwingungsreferenzwert vergleichbar ist.
14. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 13,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Turbinenbauteil eine Turbinenschaufel ist.
15. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 14,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
mittels der Sensoreinheit (1) für eine Anzahl an vergleichbar betriebenen Turbinenbauteilen mindestens ein gemeinsamer Schwingungskennwert ermittelbar ist.
16. Vorrichtung (1) nach Anspruch 15,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Anzahl der vergleichbar betriebenen Turbinenbauteile eine Turbinenschaufelreihe ist.

17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Turbinenbauteil Heißgas führt.

5

18. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Schwingungskennwert eine Eigenfrequenz und/oder eine Schwingungsfrequenz und/oder eine Schwingungsamplitude und/oder Dämpfungskennwert und/oder ein Schwingungs-Abklingverhalten des Turbinenbauteils umfasst.

10

15

20

25

30

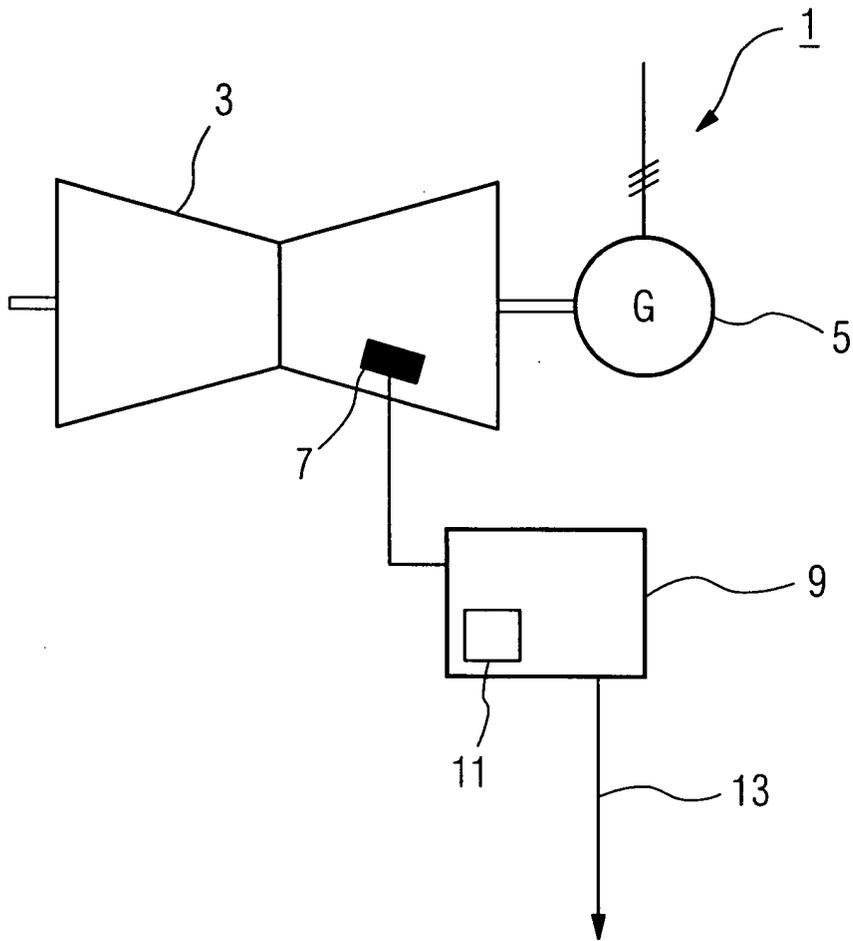
35

40

45

50

55





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	US 4 548 040 A (MILLER ROBERT A ET AL) 22. Oktober 1985 (1985-10-22) * Spalte 4, Zeile 15 - Zeile 21 *	1-18	F01D25/00
A	US 2003/085203 A1 (FISCHER TODD J ET AL) 8. Mai 2003 (2003-05-08) * Zusammenfassung; Abbildung 2 *		
A	DE 198 01 804 A (SIEMENS AG) 22. Juli 1999 (1999-07-22) * Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 4, Zeile 21 *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>13. Mai 2004</b>	Prüfer <b>Raspo, F</b>
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	

3 EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 04 00 4981

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.

13-05-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4548040	A	22-10-1985	DE 3515825 A1	14-11-1985
			FR 2564144 A1	15-11-1985
			GB 2158519 A ,B	13-11-1985
-----				
US 2003085203	A1	08-05-2003	DE 10248093 A1	24-04-2003
			JP 2003161110 A	06-06-2003
-----				
DE 19801804	A	22-07-1999	DE 19801804 A1	22-07-1999
-----				

EPO FORM P0461

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