



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
09.02.2005 Patentblatt 2005/06

(51) Int Cl.7: **F01D 21/00, F01D 21/04**

(21) Anmeldenummer: **03018166.3**

(22) Anmeldetag: **08.08.2003**

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

- **Dehnen, Jan**
47279 Duisburg (DE)
- **Fischer, Christof**
45468 Mülheim (DE)
- **Oechsner, Matthias, Dr.**
45481 Mülheim A.D. Ruhr (DE)
- **Stammen, Wolfgang**
46119 Oberhausen (DE)
- **Woditschka, Frank**
47229 Duisburg (DE)

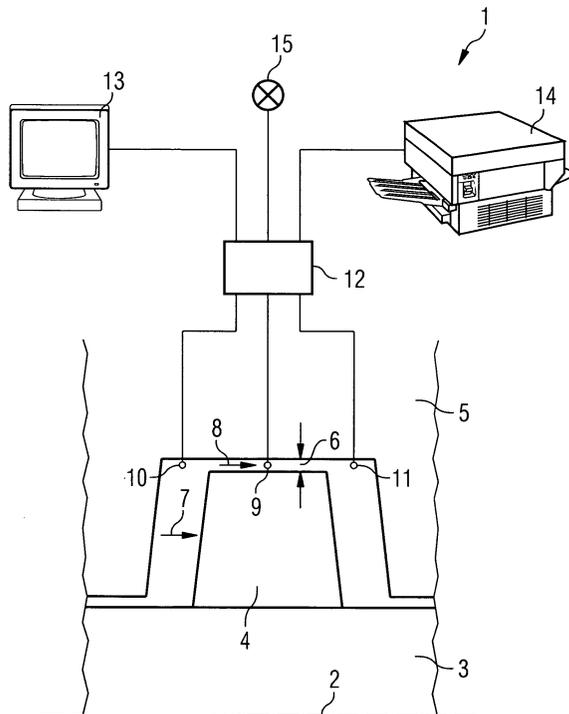
(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Beutin, Matthias**
46446 Emmerich (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Breite eines Radialspaltes**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Breite eines Radialspaltes (6) zwischen einem um eine Rotationsachse (2) drehbar gelagerten Bauteil (4) und einem stationären Bauteil (5), wobei ein Strömungsmedium im wesentlichen entlang der Rotationsachse (2) entlang strömt und eine zum minimierenden entlang der Verlustströmungs-

richtung sich ausbildende Verlustströmung entlang des Radialspaltes (6) sich ausbildet, wobei ein im Radialspalt ausgebildeter Radialspalt-Druck ermittelt wird und mit einem in Verlustströmungsrichtung vor oder nach dem Radialspalt (6) ausgebildeten und ermittelten Strömungsvordruck bzw. Strömungsnachdruck verglichen wird und daraus die Breite des Radialspaltes (6) ermittelt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung einer Breite eines Radialspaltes zwischen einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Bauteil und einem stationären Bauteil, wobei eine Verlustströmung sich entlang einer Verlustströmungsrichtung im Radialspalt ausbildet.

[0002] Einen großen Einfluss auf den Wirkungsgrad von thermischen Strömungsmaschinen haben Spaltverluste, die zwischen den rotierenden Laufschaufelspitzen des Rotors und den ihnen gegenüberliegenden Teilen des Stators (Schaufelträger) entstehen. Je größer diese Spaltverluste sind, desto geringer ist der Wirkungsgrad. Daher ist man bestrebt, die Breite eines Radialspaltes in Turbinen und Verdichtern als Ausführungsform von Strömungsmaschinen während des Betriebes so gering wie möglich zu halten. Durch verschiedene Messmethoden wird die Breite des Radialspaltes zwischen der Laufschaufelspitze als Ausführungsform eines drehbar gelagerten Bauteils und einem Innengehäuse als Ausführungsform eines stationären Bauteils gemessen. Wenn die Breite des Radialspaltes nicht ideal ist, ist kein zufriedenstellender Betrieb der Strömungsmaschine zu erwarten.

[0003] Ein Kontakt oder ein Schleifen der Laufschaufelspitze mit dem Innengehäuse muss während des Betriebes verhindert werden. Der Kontakt oder das Schleifen könnte zu einer Wärmeentwicklung und schließlich zur Zerstörung der Strömungsmaschine führen. Die Laufschaufelspitzen verschleißeln so lange, bis das Abschleifen beendet ist, wobei ein harter Kontakt oft zu einem vergrößerten Schaufelspiel führt.

[0004] Methoden zur Messung der Breite des Radialspaltes sind beispielsweise mit Hilfe von Röntgenstrahlen, elektrischen Funken sowie der Messung der elektrischen Kapazität und Induktivität möglich. Die meisten dieser Methoden sind aber kostenintensiv und bei hohen Temperaturen schwer zu handhaben.

[0005] Eine dauerhafte geringe Breite des Radialspaltes wäre erzielbar, wenn die radiale Ausdehnung eines Stators als Ausführungsform eines stationären Bauteils und eines Rotors als Ausführungsform eines drehbar gelagerten Bauteils durch die Konstruktion genau gesteuert werden könnte. Eine gleichzeitige und identische Ausdehnung von Stator und Rotor sowohl im transienten als auch im stabilen Zustand wäre ideal, was aber in realen Strömungsmaschinen kaum der Fall ist, denn meist ist der Rotor aufgrund der Festigkeitsanforderung massiver als der Stator. Die Wärmedehnungen von Rotor und Stator sind in ihrem zeitlichen Verlauf, besonders beim Anfahren und Abstellen der Maschine, unterschiedlich.

[0006] Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Schaufelspiels von thermischen Turbomaschinen ist in der Schrift DE 195 01 811 A1 dargestellt. Dabei wird das radiale Schaufelspiel zwischen einer Laufschaufelspitze und einem Schaufelträger durch ei-

ne abschleifbare Messnadel, die zur Laufschaufelspitze ragt, gemessen und überwacht.

[0007] In dem Dokument DE 32 46 532 C2 wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen eines Spaltes vorgestellt, hierbei wird mit einem Messfühler, der durch eine Halteklemme angebracht ist, eine Spaltbreite in einer Turbine gemessen.

[0008] In der DE 43 15 125 A1 wird ein weiteres Verfahren und eine weitere Anordnung zur Bestimmung des Spitzenspiels von Turbinenrotorschaukeln dargestellt. Dabei wird der Radialspalt mittels einer Überschlagnspannung gemessen.

[0009] Eine optische Messmethode ist z. B. in der DE 693 09 046 T2 zu sehen. Hierbei wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung einer Spalte vorgestellt.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein einfaches und zuverlässiges Verfahren zur Messung der Breite eines Radialspaltes sowie eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens anzugeben.

[0011] Die auf das Verfahren hin gerichtete Aufgabe wird durch den Anspruch 1 gelöst.

[0012] Die auf die Vorrichtung hin gerichtete Aufgabe wird durch die Ansprüche 6 und 7 gelöst.

[0013] Ein Vorteil ist unter anderem darin zu sehen, dass die Breite des Radialspaltes sowohl während eines transienten als auch während eines stabilen Betriebes leicht ermittelt werden kann.

[0014] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

[0015] Anhand der nachfolgenden Beschreibung werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch näher erläutert.

[0016] Dabei zeigt:

Figur 1 einen Schnitt durch einen Teil einer Strömungsmaschine.

[0017] In Figur 1 wird ein Schnitt eines Teiles einer Strömungsmaschine 1 dargestellt. Die Strömungsmaschine 1 kann zum Beispiel ein Verdichter, eine Dampfturbine oder eine Gasturbine sein. Aus Gründen der Übersichtlichkeit, wird im Folgenden ausführlich eine Ausführung der Erfindung bezogen auf eine Gasturbine dargestellt.

[0018] Ein um eine Rotationsachse 2 drehbar gelagerter Rotor 3 ist derart ausgebildet, dass ein drehbar gelagertes Bauteil 4 angebracht werden kann. Das drehbar gelagerte Bauteil 4 kann zum Beispiel eine Laufschaufel sein. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden von einer Laufschaufel als Ausführungsform eines drehbar gelagerten Bauteils 4 gesprochen.

[0019] Ein stationäres Bauteil 5 ist derart angebracht, dass ein Radialspiel 6 zwischen der Laufschaufel 4 und dem stationären Bauteil 5 entsteht. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden von einem Innen-

gehäuse als Ausführungsform eines stationären Bauteils 5 gesprochen.

[0020] Ein Strömungsmedium strömt im wesentlichen entlang der Rotationsachse 2 an der Laufschaufel 4 vorbei. Das Strömungsmedium strömt hierbei entlang einer Strömungsrichtung 7. Die Strömung des Strömungsmediums umfasst eine Verlustströmung, die sich entlang einer Verlustströmungsrichtung 8 ausbildet. Die Verlustströmung bildet sich entlang des Radialspaltes 6 aus. Diese Verlustströmung gilt es zu minimieren. Eine im Radialspalt 6 sich befindende Radialspaltdruck-Messeinheit 9 wird derart angebracht, dass ein Druck des Strömungsmediums gemessen werden kann.

[0021] Entlang der Verlustströmungsrichtung 8 wird eine weitere Strömungsdruck-Messeinheit angebracht, mit der ein Strömungsdruck gemessen wird.

[0022] In einer ersten Ausführungsform ist die Strömungsdruck-Messeinheit als eine in Verlustströmungsrichtung 8 vor dem Radialspalt 6 angeordnete Strömungsvordruck-Messeinheit 10 zum Ermitteln eines in Verlustströmungsrichtung 8 vor dem Radialspalt 6 wirkenden Strömungsvordruck ausgebildet.

[0023] In einer zweiten Ausführungsform ist die Strömungsdruck-Messeinheit als eine in Verlustströmungsrichtung 8 nach dem Radialspalt 6 angeordnete Strömungsnachdruck-Messeinheit 11 zum Ermitteln eines in Verlustströmungsrichtung 8 nach dem Radialspalt 6 wirkenden Strömungsnachdruck ausgebildet.

[0024] Die Druckverhältnisse im Radialspalt 6 und in Verlustströmungsrichtung 8 vor dem Radialspalt 6 und in Verlustströmungsrichtung 8 nach dem Radialspalt 6 sind mit einer Breite des Radialspaltes 6 korreliert.

[0025] Der Radialspaltdruckaufbau und Radialspaltdruckabbau wird hierbei in erster Näherung durch die Bernoulli-Gleichung beschrieben. Anhand des Druckunterschiedes, das aus der Differenz des Radialspaltdrucks und des Strömungsvordrucks gebildet wird, wird die Breite des Radialspaltes 6 ermittelt.

[0026] In einer weiteren alternativen Ausführungsform werden zur Ermittlung der Breite des Radialspaltes 6 alle drei Strömungsdruck-Messeinheiten (Radialspaltdruck-Messeinheit 9, Strömungsvordruck-Messeinheit 10 und Strömungsnachdruck-Messeinheit 11) eingesetzt. Über den sich aufbauenden Druckunterschied zwischen der Radialspaltdruck-Messeinheit 9, der zweiten Strömungsvordruck-Messeinheit 10 und der Strömungsnachdruck-Messeinheit 11 wird ebenfalls die Breite des Radialspaltes 6 ermittelt.

[0027] Die Radialspaltdruck-Messeinheit 9 liefert ein Radialspaltdruckausgangssignal, die Strömungsvordruck-Messeinheit 10 liefert ein Strömungsvordruckausgangssignal und die Strömungsnachdruck-Messeinheit 11 liefert ein Strömungsnachdruckausgangssignal. Die Radialspaltdruck-Messeinheit 9 kann auch als Drucksensor ausgebildet sein. Die Strömungsvordruck-Messeinheit 10 und die Strömungsnachdruck-Messeinheit 11 können ebenso als Drucksensoren ausgebildet sein.

[0028] Das Radialspaltdruckausgangssignal, das Strömungsvordruckausgangssignal und das Strömungsnachdruckausgangssignal werden an eine Auswerteeinheit 12 weitergeleitet. In der Auswerteeinheit 12 werden das Radialspaltdruckausgangssignal, das Strömungsvordruckausgangssignal und das Strömungsnachdruckausgangssignal verarbeitet und daraus die Breite des Radialspaltes 6 ermittelt.

[0029] Die Auswerteeinheit (12) weist einen Speicher auf, der Referenzkurven enthält, die einen Zusammenhang zwischen den ermittelten Strömungsdrücken und Radialspaltdrücken und der Spaltbreite wiedergeben.

[0030] Überschreitet die Breite des Radialspaltes 6 einen vorgebbaren Grenzwert, so wird über einen Monitor 13, einen Drucker 14 und/oder eine Signallampe 15 eine Warnmeldung ausgegeben.

[0031] Durch diese Vorrichtung ist eine Bestimmung der Breite des Radialspaltes 6 während des Betriebes bei hohen Temperaturen möglich. Dadurch kann dieses Verfahren und diese Vorrichtung als Bestandteil einer Einrichtung zur Optimierung des Radialspaltes eingesetzt werden. Das Verfahren und die Vorrichtung können im transienten Betrieb einer Gasturbine genutzt werden. Das Verfahren und die Vorrichtung können ebenso im stabilen Betrieb eingesetzt werden.

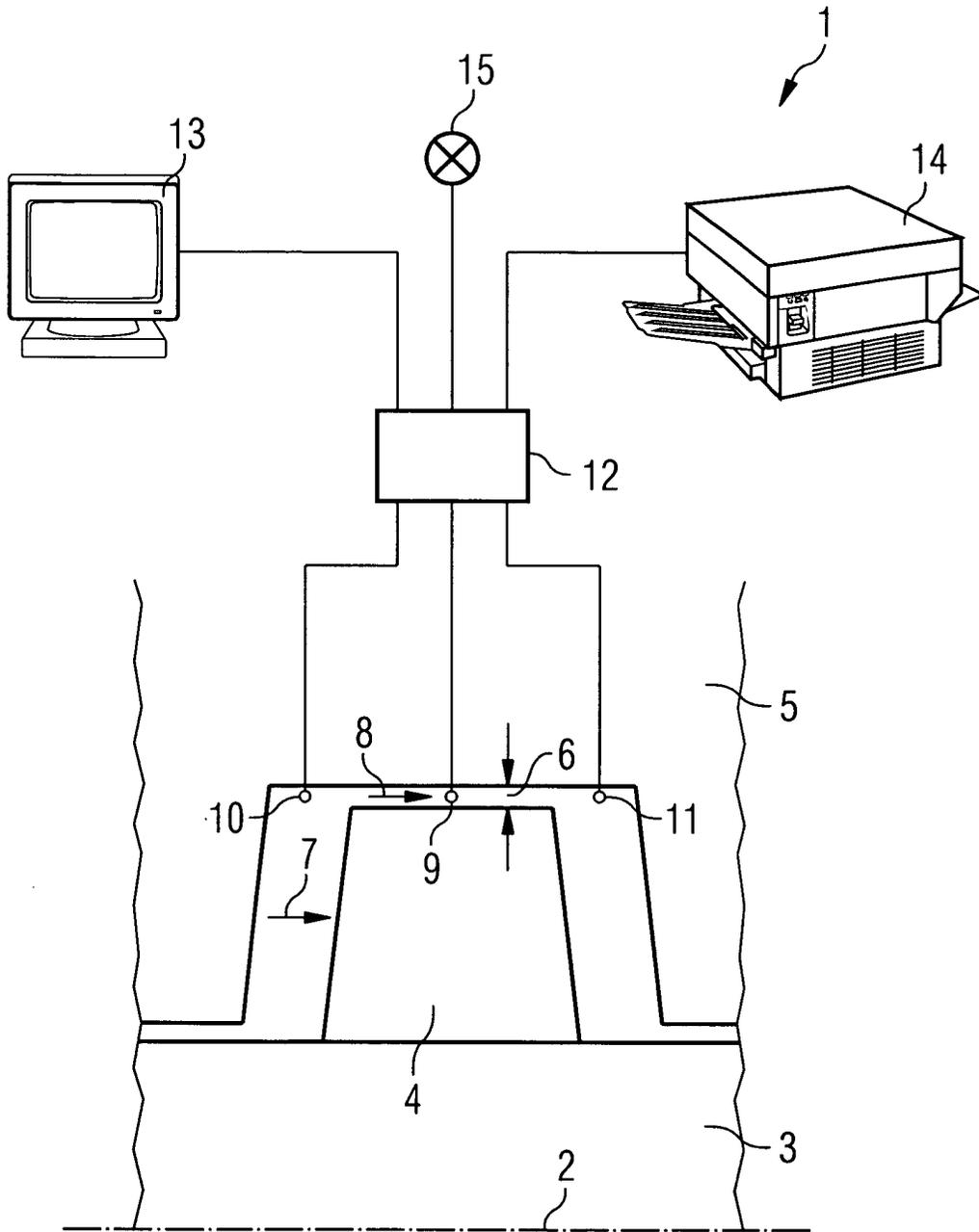
Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Breite eines zwischen einem um eine Rotationsachse (2) drehbar gelagerten Bauteil (4) und einem stationären Bauteil (5) befindlichen Radialspaltes (6), wobei eine Verlustströmung sich entlang einer Verlustströmungsrichtung (8) im Radialspalt (6) ausbildet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite des Radialspaltes (6) aus der Differenz eines Wertes eines im Radialspalt (6) wirkenden Radialspaltdruckes und eines Wertes eines in einem Abstand entlang der Verlustströmungsrichtung (8) wirkenden Strömungsdruckes ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Strömungsdruck ein in Verlustströmungsrichtung (8) vor dem Radialspalt (6) wirkender Strömungsvordruck ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Strömungsdruck ein in Verlustströmungsrichtung (8) nach dem Radialspalt (6) wirkender Strömungsnachdruck ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als das drehbar gelagerte Bauteil (4) eine Lauf-

schaufel eingesetzt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
als das stationäre Bauteil (5) ein Turbineninnenge-
häuse eingesetzt wird. 5
6. Vorrichtung zur Bestimmung eines zwischen einem
um eine Rotationsachse (2) drehbar gelagerten
Bauteil (4) und einem stationären Bauteil (5) befind-
lichen Radialspaltes (6), wobei eine Verlustströ-
mung sich entlang einer Verlustströmungsrichtung
(8) im Radialspalt (6) ausbildet,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Radialspaltdruck-Messeinheit (9) zum Ermitt-
eln eines Radialspaltdruckes als Radialspaltdruck-
Ausgangssignal und eine Strömungsdruck-Mes-
seinheit zum Ermitteln eines Strömungsdruckes als
Strömungsdruck-Ausgangssignal vorgesehen und
zur Übertragung des Radialspaltdruck-Ausgangs-
signals und das Strömungsdruck-Ausgangssignals
mit einer Auswerteeinheit (12) verbunden sind, wo-
bei die Auswerteeinheit (12) ausgebildet ist zum Er-
mitteln der Breite des Radialspaltes (6) durch Ver-
gleich des Radialspaltdruckes mit dem Strömungs-
druck. 10
15
20
25
7. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Strömungsdruck-Messeinheit als eine in Ver-
lustströmungsrichtung (8) vor dem Radialspalt (6)
anzuordnende Strömungsvordruck-Messeinheit
(10) zum Ermitteln eines Strömungsvordruckes
ausgebildet ist. 30
35
8. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Strömungsdruck-Messeinheit als eine in Ver-
lustströmungsrichtung (8) nach dem Radialspalt (6)
anzuordnende Strömungsnachdruck-Messeinheit
(11) zum Ermitteln eines Strömungsnachdruckes
ausgebildet ist. 40
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Auswerteeinheit (12) einen Speicher aufweist,
der Referenzkurven enthält, die einen Zusammen-
hang zwischen den ermittelten Strömungsdrücken
und Radialspaltdrücken und der Spaltbreite wieder-
geben. 45
50

55





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 01 8166

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	GB 2 063 374 A (PLESSEY CO LTD) 3. Juni 1981 (1981-06-03) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,4-7 * * Seite 1, Zeile 43 - Seite 2, Zeile 11 * * Ansprüche *	1,2,4-7, 9	F01D21/00 F01D21/04
X	US 3 754 433 A (HYER J) 28. August 1973 (1973-08-28) * Zusammenfassung; Abbildungen * * Spalte 1, Zeile 37 - Zeile 59 * * Spalte 2, Zeile 12 - Spalte 3, Zeile 4 * * Ansprüche *	1,4,6,9	
X	CH 318 021 A (SIEMENS AG) 15. Dezember 1956 (1956-12-15) * Seite 1, Zeile 1 - Zeile 43 *	1,4-6	
X	US 2 684 568 A (ULRICH SENGER) 27. Juli 1954 (1954-07-27) * Spalte 1, Zeile 1 - Zeile 7 * * Spalte 2, Zeile 14 - Spalte 3, Zeile 21 * * Spalte 3, Zeile 52 - Spalte 4, Zeile 50 * * Abbildungen *	1,4-6	RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (Int.Cl.7) F01D
X	US 4 159 636 A (JICHA JAN ET AL) 3. Juli 1979 (1979-07-03) * Zusammenfassung; Abbildungen * * Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 19 * * Spalte 2, Zeile 34 - Spalte 3, Zeile 11 * * Spalte 3, Zeile 24 - Spalte 4, Zeile 27 *	1,6	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 29. Januar 2004	Prüfer de Rooij, M
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 03.82 (F04C03)

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

EP 03 01 8166

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.

29-01-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2063374 A	03-06-1981	KEINE	

US 3754433 A	28-08-1973	KEINE	

CH 318021 A	15-12-1956	KEINE	

US 2684568 A	27-07-1954	BE 500887 A	
		CH 280276 A	15-01-1952
		DE 821634 C	19-11-1951
		FR 1031829 A	26-06-1953
		GB 698898 A	28-10-1953
		NL 80814 C	

US 4159636 A	03-07-1979	CS 193219 B1	31-10-1979
		CH 624211 A5	15-07-1981
		DE 2807881 A1	19-10-1978
		FR 2387435 A1	10-11-1978
		GB 1598205 A	16-09-1981
		JP 1372781 C	07-04-1987
		JP 53136859 A	29-11-1978
		JP 61038402 B	29-08-1986

EPO FORM P0461

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