

PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01H 1/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/09140 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 5. März 1998 (05.03.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/03842 (22) Internationales Anmeldedatum: 2. September 1996 (02.09.96) (30) Prioritätsdaten: 196 36 228.8 27. August 1996 (27.08.96) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): PRÜFTECHNIK DIETER BUSCH AG [DE/DE]; Oskar-Messter-Strasse 19-21, D-85737 Ismaning (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRANKE, Dieter [DE/DE]; Riedererstrasse 1, D-85737 Ismaning (DE). BITTNER, Helmar [DE/DE]; August-Bebel-Strasse 65, D-02785 Olbersdorf (DE). BÜHLER, Steffen [DE/DE]; Brunnbachweg 1, D-85774 Unterföhring (DE). LUFT, Mathias [DE/DE]; Am Kleinwaltersdorfer Weg 2a, D-09600 Kleinschirma (DE). (74) Anwalt: SCHNEIDER, Henry; Friedrichstrasse 153A/Unter den Linden, D-10117 Berlin (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	
(54) Title: PROCESS FOR THE MONITORING OF VIBRATIONALLY EXCITED AGGREGATES (54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ÜBERWACHEN SCHWINGUNGSERREGTER AGGREGATE (57) Abstract The invention relates to a process for the monitoring of vibrationally excited aggregates, in which at least one piece of state information is detected and evaluated. The at least one piece of state information with an aggregate specific rule of combination for the monitored aggregate gives rise to a first interim statement which is evaluated and given an individual probability. At least another piece of information related to the state information with another aggregate specific rule of composition for the monitored aggregate gives rise to other interim statements which are evaluated and given individual probabilities, and the interim statements (partial statements) are summarized into a comprehensive statement which is evaluated with an overall evaluation arising from the individual evaluations and an overall probability arising from the individual probabilities, so that fault diagnosis can be made.		
(57) Zusammenfassung Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen schwingungserregter Aggregate, wobei wenigstens eine Zustandsinformation erfaßt und ausgewertet wird. Es ist vorgesehen, daß die wenigstens eine erfaßte und ausgewertete Zustandsinformation mit einer aggregat-spezifischen Verknüpfungsregel des überwachten Aggregates zu einer ersten Zwischenaussage geführt wird, diese erste Zwischenaussage bewertet und mit einer Einzelwahrscheinlichkeit belegt wird, wenigstens eine weitere, mit der Zustandsinformation in Beziehung stehende Information mit einer weiteren aggregatspezifischen Verknüpfungsregel des überwachten Aggregates zu weiteren Zwischenaussagen geführt werden, diese weiteren Zwischenaussagen bewertet und mit weiteren Einzelwahrscheinlichkeiten belegt werden, und die Zwischenaussagen (Teilaussagen) zu einer Gesamtaussage zusammengefaßt werden, diese mit einer sich aus den Einzelbewertungen ergebenden Gesamtbewertung bewertet und mit einer sich aus den Einzelwahrscheinlichkeiten ergebenden Gesamtwahrscheinlichkeit belegt wird, und so eine Fehlerdiagnose gegeben wird.		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren zum Überwachen schwingungserregter Aggregate

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen schwingungserregter Aggregate, wobei wenigstens eine Zustandsinformation erfaßt und ausgewertet wird.

Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter schwingungserregter Aggregate allgemein jede beliebige Art von Maschinen und/oder Maschinenteilen, beispielsweise Lagern verstanden, die während ihres bestimmungsgemäßen Einsatzes Körperschall-Signale (zum Beispiel Weg-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungssignale) emittieren. Es ist bekannt, diese schwingungserregten Aggregate zu überwachen und Zustandsinformationen zu erfassen und auszuwerten. Die Zustandsinformationen können beispielsweise die genannten Körperschall-Signale, weitere Schwingungssignale, Zustandsgrößen, bestimmte Ereignisse und/oder Kenndaten des überwachten Aggregates sein.

Infolge einer langen Betriebsdauer, Betriebsstörungen oder plötzlich eintretender äußerer Ereignisse können

an den Aggregaten Schäden, bei rotierenden Teilen beispielsweise Unwuchten, bei Lagern beispielsweise Außenringschäden, Innenringschäden, Wälzkörperschäden usw. auftreten. Derartige Schäden beeinflussen die erfaßten Zustandsinformationen, beispielsweise das Körperschall-Signal, so daß je nach Schadensart und/oder Schadensgröße von den Aggregaten unterschiedliche Körperschall-Signale abgegeben werden. Zum Überwachen der Aggregate ist es bekannt, die Körperschall-Signale zu erfassen und diese beispielsweise einer Frequenzanalyse zu unterziehen, um die aufgrund tatsächlicher Fehler hervorgerufenen Frequenzsignale von lediglich aufgrund von Resonanzen oder während des normalen Betriebes auftretender Frequenzsignale herauszufiltern und eine Aussage über den Eintritt eines Fehlers zu treffen. Bei den bekannten Verfahren zum Überwachen schwingungserregter Aggregate ist nachteilig, daß die Aussage über den Eintritt eines Fehlers nicht mit hinreichend großer Genauigkeit, nicht zum richtigen Zeitpunkt und genauer nur von sachkundigem Personal getroffen werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art zu schaffen, mit dem in einfacher Weise eine sichere Fehleranalyse möglich ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst. Dadurch, daß die wenigstens eine erfaßte und ausgewertete Zustandsinformation mit einer aggre-

gatspezifischen Verknüpfungsregel des überwachten Aggregates zu einer ersten Zwischenaussage geführt wird, diese erste Zwischenaussage bewertet und mit einer ersten Einzelwahrscheinlichkeit belegt wird, wenigstens eine weitere, mit der Zustandsinformation in Beziehung stehende Information mit wenigstens einer weiteren aggregatspezifischen Verknüpfungsregel des überwachten Aggregates zu weiteren Zwischenaussagen geführt werden, diese weiteren Zwischenaussagen bewertet und mit weiteren Einzelwahrscheinlichkeiten belegt werden, und die Zwischenaussagen zu einer Gesamtaussage zusammengefaßt werden, diese mit einer sich aus den Einzelbewertungen ergebenden Gesamtbewertung bewertet und mit einer sich aus den Einzelwahrscheinlichkeiten ergebenden Gesamtwahrscheinlichkeit belegt wird, und die mit der Gesamtwahrscheinlichkeit belegte Gesamtaussage vorzugsweise mit einer Abhilfemaßnahme zur Beseitigung eines erkannten Fehlers und einer Dringlichkeitsstufe zu einer Schlußaussage verknüpft wird, ist es vorteilhaft möglich, eine gestufte Bewertung der erfaßten und ausgewerteten Zustandsinformationen durchzuführen, wobei gewonnene Zwischenaussagen aufeinander aufbauen und zu einer mit einer hohen Genauigkeit behafteten Schlußaussage führen. Insbesondere durch die Verknüpfung der mit einer Einzelwahrscheinlichkeit belegten und bewerteten Zwischenaussagen kann mit der Zusammenfassung jeder zusätzlicher mit einer Einzelwahrscheinlichkeit belegten und bewerteten Zwischenaussage die Genauigkeit der Gesamtaussage erhöht werden. Durch diese Verknüpfung zur Gesamtaussage wird sehr vorteilhaft für die Gesamtaussage eine

Wichtung der mit der Wahrscheinlichkeit belegten und bewerteten Zwischenaussage für deren Einfluß auf die Gesamtaussage möglich, so daß aufgrund der Zusammenfassung zu der Gesamtaussage, die zudem noch mit einer sich aus den Einzelwahrscheinlichkeiten ergebenden Gesamtwahrscheinlichkeit belegt wird, sich eine hochgenaue Schlußaussage über den tatsächlichen Zustand des überwachten Aggregats finden läßt.

In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Bewertung der Zwischenaussagen mit festlegbaren Stufen erfolgt. Hierdurch wird es vorteilhaft möglich, einheitliche Bewertungsmaßstäbe für alle Zwischenaussagen heranzuziehen, so daß bei der Zusammenfassung der bewerteten und mit einer Wahrscheinlichkeit belegten Zwischenaussagen keine Wichtungsfehler infolge unterschiedlicher Bewertungsstufen auftreten können.

In weiterer bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Bewertungsstufen der jeweiligen Zwischenaussage voneinander abhängig sind. Hierdurch wird die Genauigkeit der Bewertung der Zwischenaussage weiter verbessert.

Ferner ist in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß wenigstens eine der Bewertungsstufen, vorzugsweise die höchste Bewertungsstufe, in einem Selbstlernzyklus dem überwachten Aggregat anpaßbar ist. Hierdurch wird ein selbstlernendes System geschaffen, das beispielsweise auf vorgegebenen bekannten Fallstudien -als Startstudie- und während der

Überwachung ermittelten Fallstudien des überwachten Aggregates basiert, so daß die Genauigkeit der Bewertung weiter verbessert werden kann. Hierdurch läßt sich der Bewertungsmaßstab im Selbstlernzyklus fortlaufend, das heißt kontinuierlich, weiter verbessern. Diese Verbesserung des Bewertungsmaßstabes kann sowohl bezogen auf das gerade überwachte Aggregat als auch bezogen auf Aggregate gleichen Typs verwendet werden.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß als aggregatspezifische Verknüpfungsregel zur Gewinnung der ersten Zwischenaussage ein Frequenzspektrenvergleich durchgeführt wird, wobei vorzugsweise Spektrallinien eines gemessenen Frequenzspektrums mit Spektrallinien eines theoretischen Frequenzspektrums, das aufgrund spezifischer Daten des überwachten Aggregates berechnet wird, verglichen werden und bei Übereinstimmung wenigstens einer Spektrallinie die erste Zwischenaussage getroffen wird. Hierdurch ist es in einfacher Weise möglich, eine exakte Zuordnung bestimmter Spektrallinien, die auf Körperschall-Signale bestimmter Fehlerbilder zurückgehen, vorzunehmen und auf den Eintritt eines konkreten Fehlers, beispielsweise einer Unwucht, zu schließen, wobei Störsignale und aufgrund des Betriebes des Aggregates auftretende normale Signale auf die Fehlerdiagnose keinen Einfluß haben. Da aufgrund bekannter Errechnungsmethoden die Frequenzen für typischerweise auftretende Schadensbilder bei bekannten Aggregatdaten, berechnet werden können, kann ein theoretisches Frequenzspektrum

(Kennfrequenzspektrum), mit den den typischen Schadensbildern entsprechenden Spektrallinien erstellt werden und dieses als aggregatspezifische Verknüpfungsregel verwendet werden. Hierdurch wird es sehr vorteilhaft möglich, bereits die Verknüpfungsregel mit einer großen Exaktheit auszustatten, so daß eine Bewertung einer bereits sehr exakten Zwischenaussage erfolgt. Hierdurch wird die Gesamtaussage des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einer größeren Genauigkeit versehen.

Darüber hinaus ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß aus dem gemessenen Spektrum dynamische Zustandsinformationen, beispielsweise eine Drehzahl eines rotierendes Teiles, erfaßt werden und mittels der erfaßten dynamischen Zustandsinformationen das zu Vergleichszwecken errechnete theoretische Frequenzspektrum abgeglichen wird. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, das theoretische Frequenzspektrum in Echtzeit, das heißt fortlaufend den tatsächlichen Verhältnissen anzupassen, so daß der Vergleich der Spektrallinien des theoretischen Frequenzspektrums mit den Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums zu einer tatsächlichen exakten Verknüpfungsregel führt. Dafür ist es notwendig, für die sehr häufig auftretende Drehzahlabhängigkeit der verknüpften Spektrallinie diese aktuell zu bestimmen und einzurechnen. Durch das Abgleichen des theoretischen Frequenzspektrums wird erreicht, da die Spektrallinien unterschiedlicher Fehler bei einer unterschiedlichen Drehzahl innerhalb des Frequenzspektrums variieren, daß diese Variation automatisch bei dem

gemessenen Frequenzspektrum erfaßt wird und gleichzeitig bei dem theoretischen Frequenzspektrum Berücksichtigung findet. Somit wird vermieden, daß ein bei einer bestimmten Drehzahl eines rotierenden Aggregates gemessenes Frequenzspektrum mit von bestimmten Schadensursachen hervorgerufenen Spektrallinien eines theoretischen Frequenzspektrums verglichen wird, dessen Spektrallinien aufgrund einer anderen Drehzahl des rotierenden Aggregates ermittelt wurden. Aufgrund der Schmalbandigkeit der Spektrallinien würden sonst Fehlinterpretationen möglich sein, die zu einer fehlerhaften Verknüpfungsregel der begrenzten Schmalbandigkeit und somit zu einer fehlerhaften ersten Zwischenaussage führen würden. Insbesondere wenn die Spektrallinien einer Grundschwingung und deren Harmonischen miteinander verglichen werden, kann es aufgrund schon geringfügiger Abweichungen bei der Grundschwingung, von beispielsweise 0,5 Hz, zu einer immer größer werdenden Abweichung bei den Harmonischen, von beispielsweise 5 Hz bei der zehnten Harmonischen, kommen. Hierdurch würde, insbesondere wenn vorzugsweise dieser Vergleich der Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums mit den Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums für die Festlegung der ersten Einzelwahrscheinlichkeit ausgenutzt wird, eine Fehleinschätzung sowohl der aggregatspezifischen Verknüpfungsregel, der ersten Zwischenaussage, der Bewertung und der ersten Einzelwahrscheinlichkeit nach Art einer Kettenreaktion erfolgen, da diese voneinander mehr oder weniger abhängig sind.

Durch den laufenden Abgleich des theoretischen Kennfrequenzspektrums werden diese Abweichungen im wesentlichen eliminiert, so daß durch eine notwendigerweise exakte Übereinstimmung der Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums mit den Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums (bei tatsächlichem Eintritt eines Fehlers) sehr genau auf die Fehlerursache geschlossen werden kann. Insbesondere, wenn die Spektrallinien unterschiedlicher Fehlerursachen in einem schmalen Frequenzband sehr nahe beieinander liegen, kann durch einen fortlaufenden Abgleich des theoretischen Kennfrequenzspektrums eine exakte Zuordnung zu einem bestimmten Schadensbild erfolgen, ohne daß die Gefahr besteht, daß aufgrund der nahe beieinander liegenden Spektrallinien aufgrund von beispielsweise Drehzahländerungen und/oder Drehzahlschwankungen auf eine andere Fehlerursache diagnostiziert wird.

Ferner ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß weitere Zwischenaussagen gewonnen und -wie bereits beschrieben- verarbeitet werden, indem zu der in vorhergehenden Schritten vermuteten Fehlerursache zugeordnete, spezielle Meßgrößen oder Signale gemessen oder aus Historien ermittelt, oder zu Fehlerkenngrößen umgewandelt werden, und bewertet werden. Hierdurch wird es vorteilhaft möglich, die ermittelten beziehungsweise vermuteten Fehlerursachen zusätzlich zu überprüfen, indem ganz gezielt diesen Fehlern bekannterweise zugeordnete Meßgrößen oder Fehlerkenngrößen überprüft werden. Die Gesamtaussage

kann dadurch präzisiert beziehungsweise bestätigt werden.

Darüber hinaus ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß weitere Zwischenaussagen gewonnen und -wie beschrieben- verarbeitet werden, indem spezielle, zeitlich und örtlich zugeordnete verbale Informationen aus Speichern oder vom Nutzer mit Wertungsstufen abgerufen werden, die zu der vermuteten Fehleraussage weitere bewertete Zwischenaussagen ermöglichen. Auch hierdurch wird es vorteilhaft möglich, die bereits ermittelte beziehungsweise vermutete Fehlerursache weiter zu verifizieren und die Genauigkeit der Gesamtaussage zu erhöhen.

Bevorzugt ist weiter eine Ausgestaltung der Erfindung, bei der bei durch zeitgleich erfaßten beeinflussenden Größen, die stark schwanken, so nicht bewertbaren Überwachungsgrößen diese in eine auf eine repräsentativ konstant angenommene, beeinflussende Größe bezogene Überwachungsgröße umgerechnet werden, und daß dabei die Umrechnung variierender Einzelwerte über eine Kalibrierfunktion erfolgt, und dafür einfacherweise durch Messung von mehreren Stützpunkten der Überwachungsgröße diese Kalibrierfunktionskurve über den gesamten Streubereich der beeinflussenden Größe aufgenommen wird. Hierdurch wird es vorteilhaft möglich, für diese Meßgrößen, die als Eingangsdaten bei der Ermittlung der vermuteten Fehlerursache beziehungsweise deren Überprüfung verwendet werden, insbesondere wenn diese von Prozeßgrößen stark abhängen beziehungsweise beeinflußt werden, Kalibrier-

funktionen aufzunehmen, über die ein Referenzwert berechnet wird, der diese Meßgröße auf eine konstante Meßgröße, bei einem Referenzpunkt zu dem die Bewertung paßt, zurückführt. Auch hiermit wird die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens weiter erhöht.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Figur 2 ein Vergleich eines theoretischen Kennfrequenzspektrums mit einem gemessenen Frequenzspektrum für einen angenommenen Fehlerfall und

Figur 3 einen Drehzahlabgleich des theoretischen Kennfrequenzspektrums.

In der Figur 1 ist ein Aggregat 10 schematisch dargestellt, das mit dem noch zu erläuternden erfindungsgemäßen Verfahren überwacht werden soll. Als Aggregat 10 kann jede beliebige Maschine, insbesondere jede drehbare Teile aufweisende Maschine, überwacht werden. Mittels des erfindungsgemäßen Ver-

fahrens kann sowohl das gesamte Aggregat 10 als auch nur ein Teil des Aggregates 10, beispielsweise ein einen Rotor aufnehmendes Lager, überwacht werden. Die Erfindung beschränkt sich selbstverständlich nicht auf das nachfolgend erläuterte Ausführungsbeispiel, sondern soll lediglich zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens dienen. So können insbesondere anstelle eines überwachten schwingungserregten Aggregates 10 auch andere schwingungserregte Medien, beispielsweise Flüssigkeiten, Gase usw., mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens überwacht werden.

Bekanntermaßen werden durch das Aggregat 10 während seines bestimmungsgemäßen Gebrauches Körperschall-Signale 12 ausgesandt. Diese Körperschall-Signale 12 besitzen bestimmte Ausbreitungsgeschwindigkeiten, bestimmte Frequenzgemische, bestimmte Amplitudenverteilungen usw. Je nach Eintritt eines Fehlers werden für diesen Fehler typische Körperschall-Signale 12 ausgesandt. Diese fehlertypischen Körperschall-Signale 12 treten zusätzlich zu den "normalen" Körperschall-Signalen bei dem Betrieb des Aggregates 10 auf. Mittels eines Meßwertaufnehmers 14 können diese Körperschall-Signale 12, beispielsweise eine Körperschall-Schwingungsbeschleunigung, erfaßt werden. Die Körperschall-Signale 12 werden in an sich bekannter Weise analog erfaßt, wahlweise zur Schwingungsgeschwindigkeit und Schwingung integriert, mittels eines Analog-Digitalumwandlers digitalisiert und über eine Frequenzanalysiereinrichtung in ein gemessenes Frequenzspektrum 16 überführt. Das Überführen in das

gemessene Frequenzspektrum 16 kann beispielsweise mittels einer Fast-Fourier-Transformation erfolgen.

Die Überwachung des Aggregates 10 mittels des Aufnehmers 14 kann in unterschiedlicher Art und Weise erfolgen. So kann beispielsweise eine zyklische Überwachung des Aggregates 10 erfolgen, bei der in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen die Körperschall-Signale 12 erfaßt werden. Die Dauer der Erfassungszyklen kann hierbei von Bruchteilen einer Sekunde bis zu mehreren Minuten oder dauernd (real time) andauern. Die Pausen zwischen zwei Erfassungszyklen kann ebenfalls unterschiedlich lang, beispielsweise vom Sekundenbereich bis zum Tage- oder Wochenbereich, sein. Der die Körperschall-Signale 12 erfassende Meßwertaufnehmer 14 ist Bestandteil eines beispielsweise kleinen, tragbaren Meßgerätes oder dieser ist einer fest, einem bestimmten Aggregat 10 zugeordneten Überwachungseinrichtung zugeordnet.

Eine Auslösung, daß das Frequenzspektrum 16 gemessen wird, kann beispielsweise durch eine Alarmauslösung 18 erfolgen, indem eine der überwachten Hauptüberwachungszustandsgrößen 20 oder 22 eine Alarmschwelle überschreitet. Die Hauptüberwachungszustandsgrößen 20 und 22 sind hierbei abhängig vom überwachten Aggregat 10, der Anordnung der Meßstelle, das heißt, ob beispielsweise eine radiale oder axiale Anordnung des Meßwertgebers 14 zu einem rotierenden Teil des Aggregates 10 erfolgt, und von der Erfassung weiterer aggregattypischer Zustandsgrößen. Eine weitere Möglichkeit das Frequenzspektrum 16 zu messen, besteht

in der Auslösung des Verfahrens durch einen externen Nutzer 24 oder einen internen Steuerbefehl 26. Selbstverständlich sind Kombinationen zwischen der Alarmauslösung 18, dem Nutzer 24 und dem internen Steuerbefehl 26 zum Erfassen des gemessenen Frequenzspektrums 16 möglich.

Das gemessene Frequenzspektrum 16 enthält die Spektrallinien des über den Meßwertaufnehmer 14 tatsächlich gemessenen Körperschall-Signals 12. Entsprechend der erfaßten Körperschall-Signale 12 ergeben sich tatsächliche Spektrallinien, die bei bestimmten Frequenzwerten liegen. Mittels eines Auswählers 28 können aus den insgesamt gemessenen Spektrallinien eine bestimmte wählbare Anzahl, beispielsweise zehn, zwölf, fünfzehn, zwanzig oder auch vierzig, Spektrallinien ausgewählt werden, die beispielsweise die höchsten Amplituden aufweisen. Nach einem weiteren Beispiel können auch alle in einem vorgebbaren Frequenzbereich liegenden Spektrallinien herausgefiltert werden.

Die mittels des Auswählers 28 bestimmten Spektrallinien werden einem Vergleicher 30 zugeführt. Die Funktion des Vergleichers 30 ist beispielhaft anhand von Figur 2 erläutert. In der Figur 2 sind unterhalb einer Linie 32 die über den Auswähler 28 ausgewählten Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums 16 dargestellt. Die Spektrallinien liegen jeweils in einem schmalen Frequenzband bestimmter Frequenz und weisen eine bestimmte Amplitude auf, die beispielsweise einer Körperschall-Signalgeschwindigkeit ent-

spricht, die sich aus den gemessenen Körperschall-Signalen 12 ergibt.

Dem Vergleicher 30 wird weiterhin ein theoretisches Kennfrequenzspektrum 34 zugeführt, das in Figur 3 oberhalb der Linie 32 dargestellt ist. Das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 weist theoretisch ermittelte Spektrallinien auf. Entsprechend bekannter Maschinenfixdaten 38 des überwachten Aggregates 10 und der Drehzahlen können -wie bereits erläutert- für bestimmte Fehlerursachen exakte Spektrallinien berechnet werden. So ist zum Beispiel bei einer Frequenz f_n eine Spektrallinie eingezeichnet, die einem bestimmten Fehler, beispielsweise einer Unwucht, des in Figur 1 gezeigten Aggregates 10 entspricht. Entsprechend des hieraus resultierenden Signalverlaufes des Körperschall-Signales 12 kommt es zu einer Grundschwingung, die hier mit 1. bezeichnet ist und deren Harmonischen, wobei eine 2. und 3. Harmonische eingezeichnet sind. Ein Abstand Δf zwischen den Spektrallinien ist bekanntermaßen drehzahlabhängig.

Das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 kann weitere Spektrallinien, hier beispielsweise bei der Frequenz f_x und bei der Frequenz f_t aufweisen, die für weitere Fehlerursachen stehen können. Entsprechend des überwachten Aggregats 10 und den damit jeweils anderen Maschinenfixdaten 36, wird das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 für jedes überwachte Aggregat 10 neu berechnet und weist entsprechend anders gelagerte Spektrallinien auf. Auf spezielle Schäden mit speziellen Frequenzen soll hier nicht näher eingegangen

werden, sondern anhand der Figur 2 soll lediglich das Grundprinzip des Vergleichs 30 des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 mit dem gemessenen Frequenzspektrum 16 erläutert werden.

Im in Figur 2 dargestellten Beispiel stimmen die ersten drei Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums 16 mit den ersten drei Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 überein, das heißt, die Spektrallinien liegen im selben schmalen Frequenzband, so daß auf das Auftreten eines Fehlers, beispielsweise einer Unwucht, des Aggregats 10 geschlossen werden kann. Anhand der Übereinstimmungen der Spektrallinien kann über die feststehende Frequenz f_n des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 eine exakte Zuordnung zu einer bestimmten Fehlerursache erfolgen und diese Feststellung als erste Zwischenaussage 38 getroffen werden. Die im gemessenen Frequenzspektrum 16 von links gesehenen 4., 5. und 6. Spektrallinien sind auf irgendwelche Ursachen zurückzuführen, die jedenfalls nicht im Zusammenhang mit einem theoretisch zu erwartenden Fehler beziehungsweise der Hauptüberwachungszustandsgröße liegen, da das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 keine Spektrallinien dieser Frequenz besitzt.

Das gemessene Frequenzspektrum 16 wird ferner einem Korrekturglied 40 zugeführt, das auf das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 zurückwirkt. Das Korrekturglied 40 führt die anhand von Figur 3 näher erläuterte Funktion aus. Entsprechend der bekannten Maschinenfixdaten 36 werden die Spektrallinien des

theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 ermittelt. So werden beispielsweise die in Figur 2 bei der Frequenz f_n ermittelte Spektrallinie mit ihren Harmonischen berechnet, wobei die Grundschiwingung bzw. die Harmonischen einen Frequenzabstand von Δf von beispielsweise theoretisch 24,5 Hz aufweisen. Die Lage der Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 beruht hierbei auf einer im Rahmen der Maschinenfixfaten 36 angenommenen Soll-Drehzahl des Aggregates 10. Die tatsächliche Drehzahl des Aggregates 10 kann jedoch während des Betriebes bestimmten betriebsbedingten Abweichungen unterliegen, die zu einer veränderten Frequenzlage der ermittelten Spektrallinien führen können. Entsprechend der über den Meßwertaufnehmer 14 ermittelten Körperschall-Signale besitzen die Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums 16 den tatsächlichen drehzahlabhängigen Abstand $\Delta f'$ der Harmonischen. Bei Verwendung eines automatischen Harmonischen-Cursors -in Figur 2 mit 35 bezeichnet- wird das $\Delta f'$ bei Übereinstimmung mit der höchsten ermittelbaren Harmonischen-Schwiwingung mit dem entsprechenden Harmonischen-Cursor ermittelt. Aufgrund der Abweichungen des theoretischen Abstandes Δf zu dem tatsächlichen Abstand $\Delta f'$ würde es beim Vergleich der Spektrallinien zu einer Fehleinschätzung kommen. Gerade wenn die einer Grundschiwingung und deren Harmonischen entsprechenden Spektrallinien zum Klassifizieren eines Fehlers herangezogen werden, würde die Nichtbeachtung der Drehzahlabhängigkeit des Abstandes der Spektrallinien zum Nichtauffinden vorhandener Fehler führen, da je höher die Harmonische ist, diese dann in einem

anderen Frequenzband liegt als die theoretischen Spektrallinien und somit der Vergleich 30 die Übereinstimmung der Spektrallinien vergeblich sucht. Je mehr Harmonische einer Grundschwingung zum Klassifizieren eines Fehlers herangezogen werden, um so größer würde die Abweichung der diesen Harmonischen entsprechenden Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 und des gemessenen Frequenzspektrums 16 sein.

Über das Korrekturglied 40 erfolgt nunmehr eine Korrektur der Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 dahingehend, daß die Drehzahlabhängigkeit des Abstandes Δf der Spektrallinien auch für das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 aufgrund der tatsächlichen Drehzahl des überwachten Aggregates 10 korrigiert wird. Mittels des sogenannten Harmonischen-Cursors 35 werden über das Korrekturglied 40 die Grundschwingung und die Harmonischen des gemessenen Frequenzspektrums 16 abgetastet, der Abstand $\Delta f'$, der hier im angenommenen Beispiel anstelle der theoretisch erwarteten 24,5 Hz beispielsweise 24,521 Hz betragen kann, ermittelt und ein entsprechendes Verschieben der Spektrallinien des theoretischen Frequenzspektrums 34 veranlaßt. Dabei ermittelt das Korrekturglied 40 das Maximum der Summen der Amplituden der überdeckten Harmonischen im unteren Frequenzbereich, die sich beim Frequenzabstand $\Delta f'$ einstellt.

Durch dieses Korrigieren der Spektrallinien des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 kann bereits

die Genauigkeit der ersten Zwischenaussage 38 erhöht werden. Durch den Vergleicher 30 erfolgt somit eine Verknüpfung der in Form des gemessenen Frequenzspektrums 16 vorliegenden erfaßten und ausgewerteten Zustandsinformation über das Aggregat 10 mit einer in Form des theoretischen Kennfrequenzspektrums 34 vorliegenden aggregatspezifischen Verknüpfungsregel, wobei das Übereinstimmen der Spektrallinien zu der Aussage führt, daß beispielsweise eine Unwucht vorhanden ist. Dies ist die erste Zwischenaussage 38.

Die erste Zwischenaussage 38 wird einer, mit einer Wahrscheinlichkeitsstufe 42 verknüpften Bewertungsstufe 44 zugeführt. Die Bewertungsstufe 44 ist mit einem Grenzwertvergleicher 46 gekoppelt, der die Grenzwerte der erfaßten Hauptüberwachungszustandsgrößen abtastet. Im vorliegenden Beispiel ist der Grenzwertvergleicher 46 so ausgelegt, daß er die Amplituden der Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums 16 erfaßt. Hierbei sind dem Grenzwertvergleicher 46 mehrere Bewertungsstufen, beispielsweise vier Bewertungsstufen, vorgegeben. Die vier Bewertungsstufen werden in Abhängigkeit der tatsächlichen Amplitude der überwachten Spektrallinien angesteuert. Jeder Bewertungsstufe ist eine unterschiedliche Amplitudenhöhe, die im Kennfrequenzspektrum 34 beispielhaft eingetragen sind, zugeordnet. Die Einteilung der Bewertungsstufen kann beispielsweise folgendermaßen erfolgen: x1 = gut; x2 = befriedigend; x3 = noch zulässig; x4 = unzulässig. Sobald die Amplitude der überwachten Spektrallinie den Wert x4 erreicht, wird die Bewertungsstufe "unzu-

lässig" gegeben. Zur besseren Einstufung der gemessenen Amplitude in die Bewertungsstufen können diese miteinander verknüpft sein. So kann sehr vorteilhaft die Bewertungsstufe x_4 vorgegeben werden, indem der Grenzwert der Amplitude -der mittels einer auf das überwachte Aggregat 10 bezogene Startstudie festlegbar ist- vorgegeben wird. Die Bewertungsstufen x_1 , x_2 und x_3 sind über einen Faktor, der kleiner als 1 ist, mit der Bewertungsstufe x_4 verknüpft. So gilt beispielsweise $x_1 = y_1 * x_4$, $x_2 = y_2 * x_4$, $x_3 = y_3 * x_4$. Dadurch, daß die mit der Startstudie vorgegebene Bewertungsstufe x_4 in alle vier Bewertungsstufen eingeht, kann eine einheitliche Bewertung der Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums erfolgen und das erste Zwischenergebnis 38 mit der Bewertungsstufe 44 verknüpft werden.

Über die Bewertungsstufe 44 wird die Zwischenaussage 38 anhand der Amplituden der Spektrallinien, die die Unwucht repräsentieren, in die Bewertungsstufen x_1 bis x_4 eingeordnet, so daß beispielsweise bei Überschreiten der Amplitude der Bewertungsstufe x_4 die bewertete erste Zwischenaussage getroffen wird: die Unwucht ist unzulässig. Zusätzlich wird diese Aussage mit der Wahrscheinlichkeitsstufe 42 gekoppelt, wobei hier bestimmte Regeln vorgebar sind. So kann die Wahrscheinlichkeitsaussage mit der Bewertungsstufe 44 gekoppelt werden. Stimmt beispielsweise die Frequenz einer Spektrallinie überein, und die Amplitude überschreitet die Bewertungsstufe x_4 , kann beispielsweise die Aussage getroffen werden, die Unwucht (Zwischenaussage 38), die unzulässig ist,

(Bewertungsstufe 44) ist mit 80%iger Wahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeitsstufe 42) gegeben.. Diese Verknüpfung führt zu einer bewerteten und mit einer Einzelwahrscheinlichkeit behafteten Teilaussage 48, die in noch zu erläuternder Weise in eine Gesamtaussage eingeht.

Die Wahrscheinlichkeitsverknüpfung der bewerteten Zwischenaussage 38 kann variieren. So kann beispielsweise die Wahrscheinlichkeitsaussage von 80 % auf beispielsweise 60 % heruntergenommen werden, wenn die Amplitude der übereinstimmenden Frequenz niedriger ist. Durch die Verknüpfung der Wahrscheinlichkeitsstufe 42 mit der Bewertungsstufe 44 sind selbstverständlich für jede der Bewertungsstufen x1 bis x4 entsprechende Wahrscheinlichkeitsaussagen treffbar.

Zur Bewertung der Grenzwerte ist der Grenzwertvergleich 46 mit einem Bewertungskatalog 50 gekoppelt, der die einzelnen, den Bewertungsstufen zugeordnete Grenzwerte erfaßt. Über einen Selbstlernzyklus 52 kann hierbei der die Höchstbewertungsstufe x4 vorgebende Grenzwert ständig verbessert werden. So werden im Selbstlernzyklus 52, beginnend mit dem durch die Startstudie vorgegebenen, die Bewertungsstufe x4 bestimmenden Grenzwert, die tatsächlich auftretenden Fehlerfälle des überwachten Aggregats 10 erfaßt und in einer entsprechenden Fallstudie verarbeitet. Diese Fallstudien verarbeiten und speichern automatisch die Hauptüberwachungszustandsgrößen vor und nach einer Schadensbehebung an dem Aggregat 10 und lassen die hier gewonnenen Erkenntnisse in den Bewertungskatalog

50 einfließen. Hierdurch kann aufgrund der tatsächlich erkannten und behobenen Fehlerfälle der zuvor als Startstudie vorgegebene Grenzwert verifiziert und für die Bestimmung der Bewertungsstufe x4 genutzt werden. Da die Bewertungsstufen x1, x2, x3 -wie erwähnt- mit der Bewertungsstufe x4 verknüpft sind, wird durch diesen Selbstlernzyklus auch eine Korrektur dieser Bewertungsstufen vorgenommen.

Die über den Selbstlernzyklus 52 aus den Fallstudien ermittelten Meßgrößen können gleichzeitig dem Korrekturglied 40 zugeführt werden, so daß über das Korrekturglied 40 ein Einfluß der Fallstudien auf das theoretische Kennfrequenzspektrum 34 erfolgt. Somit wird die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens über die Dauer der Messung, das heißt, über die wiederholte Erkennung und Behebung eines Fehlers des Aggregats 10 immer genauer. Das Kennfrequenzspektrum 34 kann somit sehr exakt aus den Maschinenfixdaten 36, der Drehzahlkorrektur über das gemessene Frequenzspektrum 16 und über den Selbstlernzyklus 52 ständig präziser dem Vergleich 30 zur Verfügung gestellt werden.

Die aufgrund des bisher beschriebenen Verfahrensablaufes gewonnene Teilaussage 48 stellt eine Hauptaussage für die noch zu erläuternde Gesamtaussage dar. Die Teilaussage 48 wird mit weiteren Teilaussagen 54, 56, 58 und 60 verknüpft. Es können eine Vielzahl von weiteren Teilaussagen, beispielsweise zehn, miteinander zu der Gesamtaussage 62 verknüpft werden. Im weiteren wird davon ausgegangen, daß zu der Teilaus-

sage 48 noch die Teilaussagen 56, 58 und 60 hinzukommen.

Die Teilaussagen 56, 58 und 60 beziehen sich immer auf der Hauptüberwachungszustandsgröße des überwachten Aggregats 10 zugeordnete Informationen. So kann beispielsweise der Teilaussage 56 eine Historie der Hauptüberwachungszustandsgröße des Aggregats 10, beispielsweise einer Unwucht, als Grundlage dienen. Hierzu ist ein Erfassungsglied 64 vorgesehen, das durch die erste Zwischenaussage 38 gestartet werden kann. Mittels des Erfassungsgliedes 64 kann beispielsweise das für das Auftreten einer Unwucht typische Körperschall-Signal 12 in seiner historischen Entwicklung betrachtet werden. Hierunter ist zu verstehen, daß über eine Zeitspanne beispielsweise die Anzahl der auf eine Unwucht zurückgehenden Körperschall-Signale erfaßt werden. Je nachdem, ob diese Körperschall-Signale einmal, zweimal, dreimal, fünfmal oder zehnmal auftreten, erfolgt eine Betrachtung. Diese Betrachtung kann mit einem Überwachungsglied 66 hinsichtlich ihres Anstieges bzw. Abfalles pro Zeiteinheit gewichtet werden und hieraus eine zweite Zwischenaussage 68 gewonnen werden. Die zweite Zwischenaussage 68 wird wiederum mit einer Bewertungsstufe 70 gekoppelt, die mit einem Bewertungskatalog 72 verknüpft ist. Hier kann wiederum eine Einteilung in vier Bewertungsstufen x1, x2, x3 und x4 erfolgen, die entsprechend des tatsächlichen Anstiegs pro Zeiteinheit der Hauptüberwachungszustandsgröße eine Bewertung ergibt. Die Bewertungsstufe 70 ist mit einer Wahrscheinlichkeitsstufe 74 gekoppelt, die zu

der mit einer Wahrscheinlichkeit behafteten, bewerteten Teilaussage 56 führt. Für einen angenommenen konkreten Fall wird mittels des Erfassungsgliedes 64 die Anzahl der auf eine Unwucht zurückgehenden Körperschall-Signale 12 erfaßt. Über das Überwachungsglied 66 wird die Veränderung der Anzahl der Körperschall-Signale 12 gemessen und dieses hieraus resultierende zweite Zwischenergebnis 68 bewertet und mit einer Wahrscheinlichkeit versehen. Entsprechend der über den Bewertungskatalog 72 zur Verfügung gestellten Bewertungsstufen kann als Teilaussage 56 die Aussage gewonnen werden, daß das Aggregat 10 mit 85%iger Wahrscheinlichkeit Körperschall-Signale 12 emittiert, die auf eine unzulässige Unwucht zurückgehen.

Der Bewertungskatalog 72 ist mit einem weiteren Selbstlernzyklus 76 gekoppelt, der wiederum die in dem Bewertungskatalog 72 als Startstudie vorgegebenen Grenzwerte entsprechend der tatsächlichen Fälle (Fallstudie) fortlaufend korrigiert und somit die Genauigkeit erhöht.

Die weitere Teilaussage 58 kann beispielsweise aus allgemeinen Informationen über das Aggregat 10 und/oder die Anordnung des Meßwertaufnehmers 14 gewonnen werden. Hierzu ist ein Erfassungsglied 78 vorgesehen, in das vom Nutzer oder automatisch Angaben über das Aggregat 10, über Anordnung des Meßwertaufnehmers 14, beispielsweise radial oder axial zu einem rotierenden Teil, über bestimmte Anfälligkeiten des überwachten Aggregates 10 auf

bestimmte Fehler usw. eingegeben werden kann. Hierdurch wird eine dritte Zwischenaussage 80 gewonnen, die über eine Bewertungsstufe 82 und eine Wahrscheinlichkeitsstufe 84 zu der Teilaussage 58 führt. In einem konkreten Beispiel kann die Teilaussage 58 beispielsweise darin bestehen, daß das Aggregat 10 mit 80%iger Wahrscheinlichkeit besonders anfällig für eine Unwucht ist.

Entsprechend der weiteren angedeuteten Teilaussage 60 können ebenfalls bewertete, mit einer Wahrscheinlichkeit behaftete Zwischenaussagen gewonnen werden. So können Grundlage einer Teilaussage 60 beispielsweise Beobachtungen vom Personal sein, daß das Aggregat 10 stark schwingt. Weiterhin kann als Teilaussage dienen, ob bei dem überwachten Aggregat 10 bereits früher schon ein Fehler, beispielsweise ein Unwucht, aufgetreten ist. Die Reihe der Teilaussagen -die immer auf die Hauptüberwachungszustandsgröße bezogen sind- ließe sich noch fortsetzen.

Die Teilaussagen 48, 56, 58, 60, sowie gegebenenfalls weitere Teilaussagen, die jeweils eine mit einer Wahrscheinlichkeit behaftete und bewertete Zwischenaussage als Grundlage haben, werden zu der Gesamtaussage 62 zusammengefaßt. Hierbei werden jeweils die Einzelwahrscheinlichkeiten zu einer Gesamtwahrscheinlichkeit, die Einzelbewertungen zu einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Die Gesamtbewertung ergibt sich aus den Teilbewertungen der Bewertungsstufen 44, 70, 82 usw., wobei die Einzelbewertungen gemittelt und aufgerundet werden. Nach einem konkreten Beispiel

ergibt sich für die Gesamtbewertung x_{ges} bei einer Bewertung der Bewertungsstufe 44 mit x_4 , einer Bewertung der Bewertungsstufe 70 mit x_3 , einer Bewertung der Bewertungsstufe 82 mit x_4 und einer weiteren Bewertung einer in Figur 1 nicht mehr dargestellten Bewertungsstufe mit x_4 nach der Formel $x_{ges} = (x_4 + x_3 + x_4 + x_3) * 1/4$ einer Gesamtbewertung von $x_{ges} = x_4$ (bei den gewählten Bewertungsstufen, also von "unzulässig").

Die Gesamtwahrscheinlichkeit ergibt sich in analoger Weise aus den Einzelwahrscheinlichkeiten, wobei folgende Beziehung gilt: Gesamtwahrscheinlichkeit

$$P_{ges} = 1 - (1 - P_1) * (1 - P_2) * \dots * (1 - P_n)$$

Mit P_1 , P_2 bzw P_n sind die Einzelwahrscheinlichkeiten bezeichnet.

Die Verknüpfung der Teilaussagen 48, 56, 58, 60 usw. zu der Gesamtaussage 62 kann in einem konkreten Beispiel zu der Gesamtaussage führen: Das Aggregat 10 weist mit 90%iger Wahrscheinlichkeit eine starke Unwucht auf. Diese Gesamtaussage 62 wird zusätzlich mit einer Abhilfemaßnahme zur Beseitigung eines erkannten Fehlers und einer Dringlichkeitsstufe zu einer Schlüßaussage verknüpft, die beispielsweise lautet: Das Aggregat 10 weist mit 90 % Wahrscheinlichkeit eine starke Unwucht auf, wobei der Rotor kurzfristig auszuwuchten ist. Diese Schlüßaussage wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren aus mehreren Zwischenaussagen gewonnen, die in einer

festen Reihenfolge abgearbeitet werden und die mit einer Einzelbewertung und einer Einzelwahrscheinlichkeit verknüpft werden. Sämtliche Zwischenaussagen basieren auf der Hauptüberwachungszustandsgröße bzw. mit dieser zusammenhängender Ereignisse. Dies können die Historie der Hauptüberwachungszustandsgröße, historisch gespeicherte Schadensarten bezogen auf das überwachte Aggregat 10, historisch gespeicherte Ereignisse, die mit bestimmten zugeordneten Schadensarten verknüpft sind, Berechnung von Kennwerten spezifisch zur Schadensart aus ermittelten Meßgrößen und Signalmeßwerten und anderer Ausgangswerte sein. Die auf ein jeweiliges zu überwachendes Aggregat bezogenen technischen Ereignisse, Maschinenfixdaten, mögliche Schadensarten, nicht mathematisch-physikalisch bestimmbare Daten können separat abgespeichert werden, um diese für den konkreten Überwachungsfall eines bestimmten Aggregates 10 zur Verfügung zu haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß mit dem erfindungsgemäßen Verfahren anhand von geordneten, zielgerichteten Vergleichen von gewonnenen beziehungsweise bekannten Daten über das Aggregat 10 mit einer erreichten Wahrscheinlichkeit eine schadhafte Veränderung an dem Aggregat 10 erkannt wurde. Die geordneten, zielgerichteten Vergleiche bauen hierbei aufeinander stufenweise auf und gestatten somit eine gewichtete, mit einer Gesamtwahrscheinlichkeit versehene Endaussage, die mit einer Abhilfemaßnahme zur Beseitigung eines erkannten Fehlers und einer Dringlichkeitsstufe versehen werden kann. Das Überwachen

eines Aggregates 10 wird somit mit hoher Präzision und hoher Sicherheit mit einer Gesamtaussage 62 möglich. Dadurch, daß eine Vielzahl gewichteter Einzelaussagen in die Gesamtaussage 62 einfließen, die sich alle auf eine bestimmte, zu überwachende Hauptüberwachungszustandsgröße des Aggregates 10 beziehen, wird eine für den Nutzer des Aggregates 10 hochpräzise Aussage möglich, die einen bestimmten Schaden mit großer Wahrscheinlichkeit rechtzeitig vor dem Ausfall des Aggregats beziehungsweise der Maschine sicher diagnostiziert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen schwingungserregter Aggregate, wobei wenigstens eine Zustandsinformation erfaßt und ausgewertet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die wenigstens eine erfaßte und ausgewertete Zustandsinformation mit einer aggregatspezifischen Verknüpfungsregel des überwachten Aggregates zu einer ersten Zwischenaussage geführt wird, diese erste Zwischenaussage bewertet und mit einer Einzelwahrscheinlichkeit belegt wird, wenigstens eine weitere, mit der Zustandsinformation in Beziehung stehende Information mit einer weiteren aggregatspezifischen Verknüpfungsregel des überwachten Aggregates zu weiteren Zwischenaussagen geführt werden, diese weiteren Zwischenaussagen bewertet und mit weiteren Einzelwahrscheinlichkeiten belegt werden, und die Zwischenaussagen (Teilaussagen) zu einer Gesamtaussage zusammengefaßt werden, diese mit einer sich aus den Einzelbewertungen ergebenden Gesamtbewertung bewertet und mit einer sich aus den Einzelwahrscheinlichkeiten ergebenden Gesamtwahrscheinlichkeit belegt wird, und so eine Fehlerdiagnose gegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Gesamtaussage mit einer Abhilfemaßnahme zur Beseitigung eines erkannten Fehlers verknüpft wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mit einer Abhilfemaßnahme verknüpfte Gesamtaussage mit einer Dringlichkeitsstufe zu einer Schlußaussage verbunden wird, die aus der Bewertungsstufe des Fehlers abgeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bewertung der Zwischenaussagen mit festlegbaren Bewertungsstufen erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bewertungsstufen der jeweiligen Zwischenaussagen voneinander abhängig sind.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens eine der Bewertungsstufen, insbesondere die höchste Bewertungsstufe, in einem Selbstlernzyklus dem überwachten Aggregat anpaßbar ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als aggregatspezifische Verknüpfungsregel zur Gewinnung der ersten Zwischenaussage ein Frequenzspektrenvergleich durchgeführt wird, wobei Spektrallinien eines gemessenen, sich aufgrund der erfaßten Zustandsinformation ergebendes Frequenzspektrum mit Spektrallinien eines theoretischen Frequenzspektrums, das aufgrund spezifischer Daten des überwachten Aggregates berechnet wird, verglichen werden und bei Übereinstimmung wenigstens ei-

ner Spektrallinie die erste Zwischenaussage getroffen wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor Vergleich der Spektrallinien aus dem gemessenen Frequenzspektrum eine wählbare Anzahl von Spektrallinien herausgefiltert werden, die bestimmte vorgebbare Bedingungen erfüllen, und nur diese mit den Spektrallinien des theoretischen Frequenzspektrums verglichen werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß dynamische Zustandsinformationen des überwachten Aggregates ermittelt werden, und mittels der dynamischen Zustandsinformationen das zu Vergleichszwecken ermittelte theoretische Frequenzspektrum abgeglichen wird.

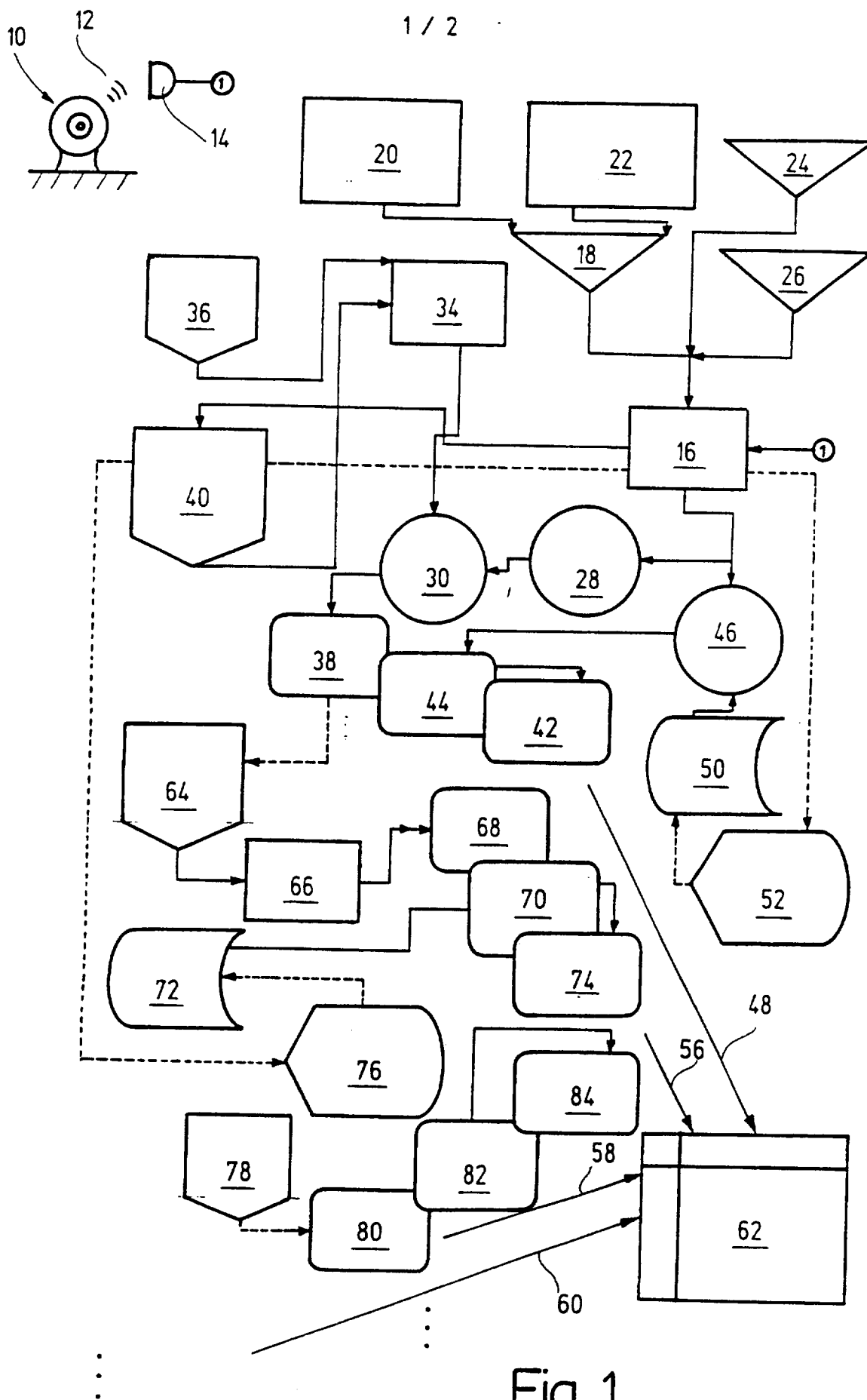
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die dynamischen Zustandsinformationen aus dem gemessenen Frequenzspektrum ermittelt werden, oder direkt gemessen, abgefragt oder eingegeben werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abgleich über die Ermittlung eines Frequenzabstandes ($\Delta f'$) von Spektrallinien des gemessenen Frequenzspektrums, die eine Grundschiwingung und deren Harmonische entsprechen, erfolgt, und der Frequenzabstand ($\Delta f'$) auf die entsprechenden Spektrallinien des theoretischen Frequenzspektrums übertragen wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß weitere Zwischenaussagen gewonnen und wie beschrieben verarbeitet werden, indem zu der in vorhergehenden Schritten vermuteten Fehlerursache zugeordnete spezielle Meßgrößen oder Signale gemessen oder aus Historien ermittelt oder zu Fehlerkenngrößen umgewandelt werden und bewertet werden.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß weitere Zwischenaussagen gewonnen und wie beschreiben verarbeitet werden, indem spezielle zeitlich und örtlich zugeordnete verbale Informationen im Verfahren aus Speichern oder vom Nutzer mit Wertungsstufen abgerufen werden, die zu der vermuteten Fehleraussage eine weitere bewertete Zwischenaussage ermöglichen.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei durch zeitgleich erfaßten, beeinflussenden Größen die stark schwankenden, so nicht bewertbaren Überwachungsgrößen in eine auf eine repräsentativ konstant angenommene, beeinflussende Größe bezogene Überwachungsgröße umgerechnet werden, und daß dabei die Umrechnung variierender Einzelwerte über eine Kalibrierfunktion erfolgt, und dafür einfacherweise durch Messung von mehreren Stützpunkten der Überwachungsgröße diese Kalibrierfunktionskurve über den gesamten Streubereich der beeinflussenden Größe aufgenommen wird.



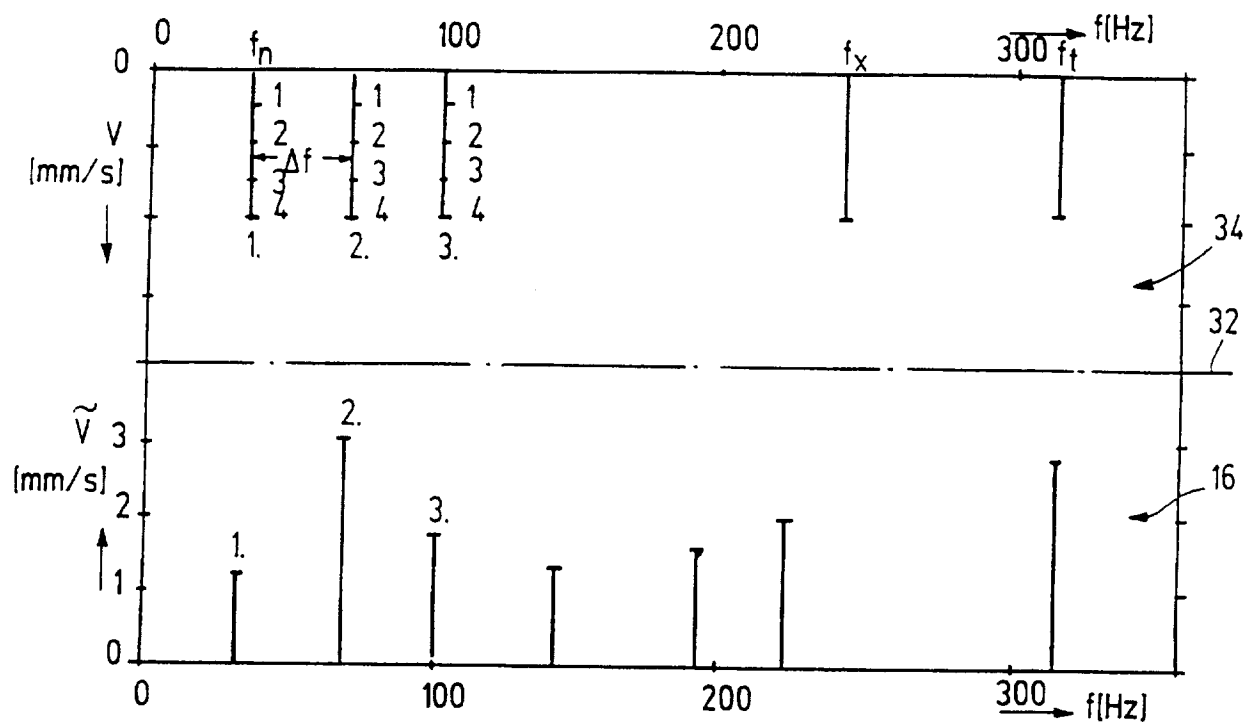


Fig. 2

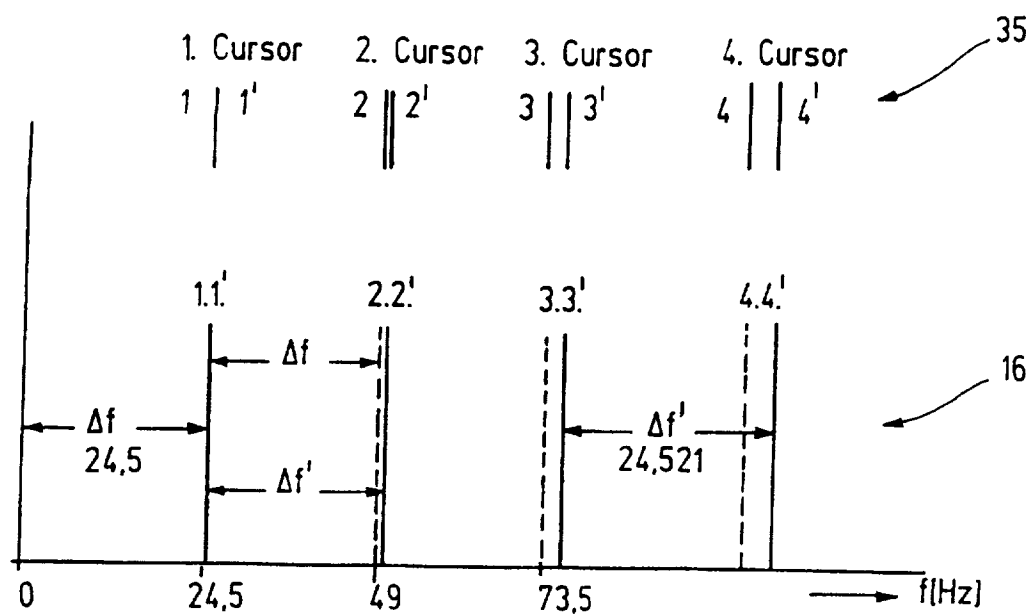


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Appl. No.
PCT/EP 96/03842

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01H1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G01H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 210 704 A (HUSSEINY ABDO A) 11 May 1993 see column 4, line 39 - column 7, line 5 ---	1-14
X	VDI Z, vol. 136, no. 4, 1 April 1994, pages 92-97, XP000446297 KOENIG W ET AL: "PROZESSUEBERWACHUNG BEIM MESSERKOPFSTIRNFRAESEN DURCH AUSWERTUNG VON ACOUSTIC EMISSION-SIGNALLEN" see page 96, right-hand column, line 50 - page 97, left-hand column, line 5 ---	1,2,6
X	EP 0 246 637 A (UNION CARBIDE CORP) 25 November 1987 see page 3, line 18 - line 58 --- -/--	1,2, 7-11,14

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 May 1997

Date of mailing of the international search report

06.06.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Swartjes, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 96/03842

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 644 270 A (OATES ROBERT M ET AL) 17 February 1987 see abstract -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 96/03842

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5210704 A	11-05-93	NONE	
EP 0246637 A	25-11-87	BR 8702534 A	23-02-88
US 4644270 A	17-02-87	US 4518917 A	21-05-85
		CA 1199112 A	07-01-86
		JP 1041804 B	07-09-89
		JP 1559866 C	31-05-90
		JP 59060006 A	05-04-84

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/03842

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G01H1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G01H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 210 704 A (HUSSEINY ABDO A) 11.Mai 1993 siehe Spalte 4, Zeile 39 - Spalte 7, Zeile 5 ---	1-14
X	VDI Z, Bd. 136, Nr. 4, 1.April 1994, Seiten 92-97, XP000446297 KOENIG W ET AL: "PROZESSUEBERWACHUNG BEIM MESSERKOPFSTIRNFRAESEN DURCH AUSWERTUNG VON ACOUSTIC EMISSION-SIGNALEN" siehe Seite 96, rechte Spalte, Zeile 50 - Seite 97, linke Spalte, Zeile 5 ---	1,2,6
X	EP 0 246 637 A (UNION CARBIDE CORP) 25.November 1987 siehe Seite 3, Zeile 18 - Zeile 58 --- -/--	1,2, 7-11,14

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

A Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29.Mai 1997

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06.06.97

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Swartjes, H

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/03842

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 644 270 A (OATES ROBERT M ET AL) 17. Februar 1987 siehe Zusammenfassung -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/03842

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5210704 A	11-05-93	KEINE	
EP 0246637 A	25-11-87	BR 8702534 A	23-02-88
US 4644270 A	17-02-87	US 4518917 A	21-05-85
		CA 1199112 A	07-01-86
		JP 1041804 B	07-09-89
		JP 1559866 C	31-05-90
		JP 59060006 A	05-04-84