



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 1 972 793 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.09.2008 Patentblatt 2008/39

(51) Int Cl.:
F04D 15/00 (2006.01)

F04D 29/66 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07005995.1**

(22) Anmeldetag: **23.03.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE
SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA HR MK RS

(71) Anmelder: **Grundfos Management A/S
8850 Bjerringbro (DK)**

(72) Erfinder:

- **Børsting, Hakon
9530 Stovring (DK)**
- **Munk, Flemming
8800 Viborg (DK)**

(74) Vertreter: **Hemmer, Arnd et al
Patentanwälte Wilcken & Vollmann
Bei der Lohmühle 23
23554 Lübeck (DE)**

(54) Verfahren zur Detektion von Fehlern in Pumpenaggregaten

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren von Fehlern in einem Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder in einem Elektromotor mit zumindest einer rotierenden Welle, dadurch gekennzeichnet, dass ein Vibrationssignal erfasst wird (1), das erfasste Vibrationssignal derart aufbereitet wird (2), dass der Einfluss der aktuellen Drehzahl der Welle beseitigt wird (3), peri-

odische Signale aus dem aufbereitetem Vibrationssignal herausgefiltert werden (4), und anhand der periodischen Signale der vibrationsmäßige Betriebszustand und insbesondere mögliche Fehler erkannt werden (5,7) sowie ein Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder einen Elektromotor, in welchem dieses Verfahren zu Anwendung kommt.

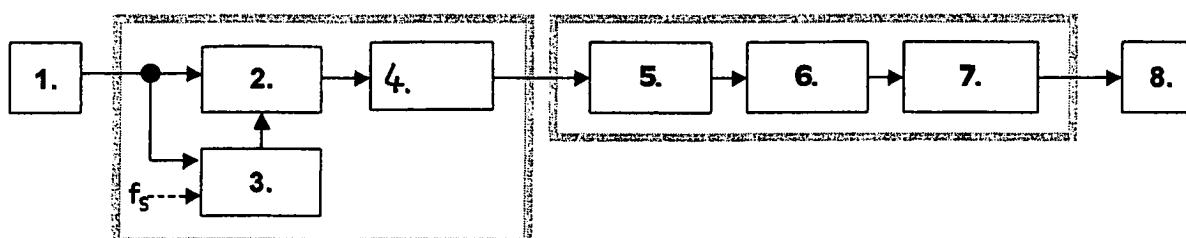


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren von Fehlern in einem Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder in einem Elektromotor.

[0002] In Pumpenaggregaten, welche von Elektromotoren angetrieben werden oder auch Elektromotoren selber können verschiedene Fehler, insbesondere Lagerschäden oder in den Pumpenaggregaten auch Schäden an Laufrädern oder Verunreinigungen auftreten. Es ist wünschenswert, diese Fehler möglichst frühzeitig feststellen zu können, um ein derartiges Aggregat frühzeitig austauschen oder instand setzen zu können, bevor es zu einem Totalausfall des Aggregates kommt.

[0003] Im Hinblick auf diese Problematik ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren sowie entsprechende Vorrichtungen bereitzustellen, mit welchen auf einfache Weise zuverlässig verschiedene Fehler in einem Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder in einem Elektromotor detektiert werden können.

[0004] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie durch ein Pumpenaggregat oder einen Elektromotor mit den in Anspruch 7 angegebenen Merkmalen gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den zugehörigen Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den beigefügten Figuren.

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zum Detektieren von Fehlern in einem Pumpenaggregat, welches einen Elektromotor zum Antrieb aufweist, oder in einem Elektromotor. Diese Aggregate weisen stets zumindest eine rotierende Welle auf. Diese Welle ist in Lagern gelagert, in welchen beispielsweise Fehler auftreten können, wie sie durch das erfindungsgemäße Verfahren detektiert werden können.

[0006] Zur Fehlerdetektion wird in dem Elektromotor oder im Falle eines Pumpenaggregates in dem Pumpenaggregat bzw. gegebenenfalls dessen Antriebsmotor ein Vibrationssignal erfasst. Hierzu können bekannte Sensoren zur Vibrationserfassung eingesetzt werden. Das erfasste Vibrationssignal wird anschließend in einem ersten Verarbeitungsschritt derart aufbereitet, dass der Einfluss der aktuellen Drehzahl der Welle beseitigt wird. Auf diese Weise wird das aufbereitete Signal drehzahlnabhängig, so dass unabhängig von der aktuellen Drehzahl verschiedene Betriebszustände, insbesondere Fehlertypen erkannt werden können. Die Aufbereitung zur Beseitigung des Drehzahleinflusses erfolgt vorzugsweise in der Weise, dass die Abtastfrequenz mit der aktuellen Drehzahl multipliziert und durch einen konstanten Drehzahlwert dividiert wird, wodurch die Abtastfrequenz praktisch auf diesen konstanten Drehzahlwert bezogen wird, so dass die weitere Frequenzanalyse ohne Einfluss der aktuellen Drehzahl ausgeführt werden kann. Um einen Aliasing-Effekt zu vermeiden, kann das Vibrationssignal vor der Aufbereitung in einem Tiefpass gefiltert werden, beispielsweise in einem Butterworth-Filter 20. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 40% der aufbe-

reiteten Abtastfrequenz. Die Aufbereitung des Vibrationssignals erfolgt, gegebenenfalls nach Durchlaufen des Tiefpassfilters, durch Resampling bzw. Veränderung der Abtastrate mit der auf die konstante Drehzahl bezogenen Abtastrate. Das Resampling kann beispielsweise durch Filtern des zeitdiskreten Signals unter Verwendung einer nicht kausalen Sinusfunktion als Impulsübertragungsfunktion (impulse response function) erfolgen.

[0007] Die erforderliche Drehzahl der Welle kann auf verschiedene bekannte Weisen ermittelt werden, beispielsweise durch Drehzahlgeber oder auch direkt aus dem Vibrationssignal im Sinne eines virtuellen Drehzahl-sensors, wie beispielsweise in US 7,031,873 B2 offenbart ist. Beispielsweise kann das Drehzahlssignal aus dem Vibrationssignal auch durch Downsampling bzw. Abtastratenverringerung auf 128 Hz und anschließendes Ermitteln der zehn höchsten Ausschläge des Spektrums für jedes Zeitfenster erfolgen. Die höchsten Ausschläge des aktuellen Zeitfensters werden über diejenigen des nachfolgenden Zeitfensters innerhalb bestimmter Grenzen gelegt. Anschließend wird ein Drehzahlverlauf basierend auf der Übereinstimmung der Ausschläge aufgezeichnet.

[0008] Das in dieser Weise aufbereite Vibrationssignal wird anschließend einer Filterung unterzogen, bei welcher periodische Signale aus dem aufbereitetem Vibrationssignal herausgefiltert werden. Anhand dieser periodischen Signale kann dann der vibrationsmäßige Betriebszustand des Pumpenaggregates bzw. Elektromotors erkannt werden. Insbesondere ist es möglich, derartige vibrationsmäßige Betriebszustände zu erkennen, welche auf Fehler, beispielsweise Lagerfehler schließen lassen. Die periodischen Signale können beispielsweise in der Weise erkannt werden, dass die Amplitude bestimmter charakteristischer Signale, insbesondere charakteristischer Fehlersignale erfasst wird und anschließend die zeitlichen Abstände zwischen diesen Amplituden gemessen werden. Auf Grundlage der zeitlichen Abstände zwischen den Amplituden kann dann festgestellt werden, ob es sich hierbei um periodische Signale handelt oder nicht.

[0009] Das aufbereitete Vibrationssignal wird zum Herausfiltern der periodischen Signale oder Signalteile bevorzugt direkt einer Cepstralanalyse unterzogen. Das bedeutet, vor der Cepstralanalyse werden keine weiteren Transformationen oder Auswertungen des Vibrationssignals vorgenommen. Der Betriebszustand bzw. mögliche Fehler werden anschließend anhand des durch die Cepstralanalyse erzeugten Cepstral-Diagramms erkannt. Bestimmte Betriebszustände zeichnen sich durch bestimmte Charakteristika in dem Cepstral-Diagramm aus, woran insbesondere Fehler erkannt werden können.

[0010] Bei der Cepstralanalyse handelt es sich um eine doppelte Frequenzanalyse, d.h. das Ergebnis einer Frequenzanalyse wird einer nochmaligen Frequenzanalyse unterzogen. Dabei werden periodische Signalanteile aus dem Vibrationssignal herausgefiltert bzw. extra-

hiert.

[0011] Als Cepstralanalyse bzw. Cepstral-Transformation kann eine Kurzzeit-Cepstralanalyse von dem Spektrogramm des Vibrationssignals durch Ausführen einer Frequenzanalyse in der Frequenzdomäne ausgeführt werden. Um Einflüsse der Motorkonstruktion zu beseitigen, kann eine Hochpassfilterung der Frequenzdomäne vor Ausführen der Fouriertransformation der Frequenzdomäne durchgeführt werden. Die daraus resultierende Cepstral-Domäne wird dann vorzugsweise nur Lagereinflüsse, keine Motoreinflüsse enthalten.

[0012] Die Auswertung des Cepstral-Diagramms zur Erkennung der Betriebszustände bzw. von Fehlern erfolgt vorzugsweise durch eine Mustererkennung, bei welcher insbesondere berücksichtigt wird, an welchen Stellen in dem Cepstral-Diagramm Ausschläge auftreten. D. h. hier wird die Erkennung bevorzugt an der Verteilung bzw. Position einzelner Ausschläge im Cepstral-Diagramm durchgeführt, weniger an den absoluten Werten der Ausschläge. Durch die durchgeführte Cepstralanalyse, bei welcher eine Frequenztransformation eines Fourier-Spektrogramms durchgeführt wird, wird erreicht, dass das charakteristische Rauschen des Elektromotors bzw. des Pumpenaggregates weitgehend beseitigt wird und von den periodischen Signalen getrennt wird. An der Verteilung der Signale bzw. deren Lage im Cepstral-Diagramm, insbesondere an der periodischen Wiederholungsrate einzelner Signale kann dann ein bestimmter Betriebszustand erkannt und insbesondere auf die Art eines Fehlers geschlossen werden.

[0013] Besonders bevorzugt werden die Betriebszustände anhand vorbekannter Muster in den periodischen Signalen und insbesondere dem Cepstral-Diagramm erkannt. D. h. für bestimmte Fehlerarten sind z.B. die Muster der auftretenden Signale, d. h. die Position bzw. Verteilung einzelner Ausschläge bekannt. Durch Vergleich des aktuellen Signalmusters bzw. Cepstral-Diagramms mit den bekannten Mustern, kann dann auf bestimmte Betriebszustände oder bekannte Fehlerarten geschlossen werden. Dabei können vorbekannte Muster auf zwei-erlei Weise zum Erkennen von Betriebszuständen genutzt werden. Zum Einen ist es möglich, dass die vorbekannten Muster bestimmten zu erkennenden Betriebszuständen und bestimmten Fehlerarten entsprechen, sodass erkannt werden kann, wenn ein solches oder ähnliches Muster auftritt und dann daraus geschlossen werden, dass eben ein solcher Betriebszustand oder Fehler vorliegt. Alternativ ist es auch denkbar, dass die vorbekannten Muster gewünschten, d.h. insbesondere fehlerfreien Betriebszuständen entsprechen und ein Vergleich in der Weise durchgeführt wird, dass unerwünschte Betriebszustände daran erkannt werden, dass in den aktuellen periodischen Signalen bzw. im Cepstral-Diagramm Muster auftreten, welche nicht den vorbekannten Mustern entsprechen.

[0014] Die vorbekannten Muster können einer Steuerelektronik eines Pumpenaggregats oder Elektromotors werkseitig eingespeichert sein. Alternativ oder zusätzlich

ist es jedoch denkbar, dass die Muster, welche bestimmten Betriebszuständen, insbesondere fehlerfreien Soll-Betriebszuständen entsprechen, z.B. bei Inbetriebnahme des Pumpenaggregates oder des Elektromotors selbstständig von der Steuer- bzw. Regelelektronik erfasst werden. Dabei wird dann vorzugsweise davon ausgängen, dass das Pumpenaggregat oder der Elektromotor nach der Auslieferung und bei der Inbetriebnahme fehlerfrei arbeitet.

[0015] Weiter bevorzugt erfolgt die Erkennung von Betriebszuständen, insbesondere Fehlern in ausgewählten Abschnitten des Cepstral-Diagrammes, wobei es sich vorzugsweise um vorbestimmte Abschnitte handelt. D. h. für die Erkennung, insbesondere die Mustererkennung, wird nicht das gesamte Cepstral-Diagramm betrachtet, sondern lediglich ein relevanter Ausschnitt. Dazu können vorbestimmte Ausschnitte betrachtet werden, in welchen üblicherweise bestimmte charakteristische Signale bei bestimmten Betriebszuständen, insbesondere Fehlern auftreten. Um diese bestimmten Betriebszustände erkennen zu können, ist es dann nicht erforderlich, das gesamte Cepstral-Diagramm bzw. Cepstrum auszuwerten. Es finden somit Ausschnittsvergrößerungen statt.

[0016] Die Erkennung von vibrationsmäßigen Betriebszuständen bzw. Fehlern anhand des Cepstral-Diagramms erfolgt weiter bevorzugt mittels eines neuronalen Netzwerks und/oder einer Fuzzy-Logik. Hierdurch wird eine intelligente Auswertung möglich, welche auch Varianten von vorbekannten Betriebszuständen berücksichtigen und sich an äußere Einflussfaktoren anpassen kann.

[0017] Weiter ist es bevorzugt, nach der Cepstralanalyse vor der Erkennung von Betriebszuständen eine Normierung des Cepstral-Diagrammes in der Weise stattfinden zu lassen, dass die Ausschläge in dem Diagramm ins Verhältnis zum Hintergrundrauschen gesetzt werden. So kann die Auswertung an unterschiedliche Pumpen bzw. Elektromotortypen angepasst werden, welche unterschiedliche Geräuschpegel bzw. unterschiedliche Hintergrundgeräusche aufweisen. Dadurch, dass die Ausschläge bzw. Signale ins Verhältnis zu diesen Hintergrundgeräuschen gesetzt werden, kann eine einheitliche Auswertung für verschiedene Pumpen bzw. Motortypen durchgeführt werden, da die Auswertung unabhängig von dem aktuellen Geräuschpegel erfolgt.

[0018] Die Erfindung wird weiterhin durch ein Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder durch einen Elektromotor gelöst, in welche eine Einrichtung zur Durchführung einer Fehlerdetektion gemäß dem vorangehend beschriebenen Verfahren integriert ist.

[0019] Ein solches Pumpenaggregat weist zu seinem Antrieb einen Elektromotor auf. Der Elektromotor bzw. das Pumpenaggregat weist zumindest eine rotierende Welle auf, um welche bei einem Motor der Rotor rotiert bzw. über welche bei einem Pumpenaggregat zumindest ein Laufrad angetrieben wird. Erfindungsgemäß ist in das Pumpenaggregat bzw. den Elektromotor ein Fehlerde-

tektionssystem integriert. Dies kann eine eigene Elektronik bzw. separate Elektronikbauteile umfassen, kann jedoch auch in ohnehin zur Steuerung bzw. Regelung des Pumpenaggregates bzw. Elektromotors vorhandene Elektronikkomponenten, insbesondere Mikroprozessoren integriert sein bzw. diese nutzen.

[0020] Das Fehlerdetektionssystem weist zumindest einen Vibrationssensor und eine mit dem Vibrationssensor verbundene Auswerteeinrichtung auf, wobei die Auswerteeinrichtung vorzugsweise von einem oder mehreren Mikroprozessoren gebildet wird. Die Auswerteeinrichtung ist mit einem Aufbereitungsmodul versehen, welches ausgebildet ist, um den Einfluss der aktuellen Drehzahl der Welle aus einem von dem Sensor erfassten Vibrationssignal zu beseitigen. Dies kann in der oben anhand des Verfahrens beschriebenen Weise erfolgen, indem die Abtastrate auf eine konstante Drehzahl bezogen wird und das Vibrationssignal dann diese Abtastrate aufbereitet bzw. resampelt wird. Hierzu weist das Aufbereitungsmodul vorgegebene Rechnerstrukturen auf, welche die entsprechenden Berechnungen durchführen können.

[0021] Das Fehlerdetektionssystem weist darüber hinaus ein Filtermodul auf, welches so ausgebildet ist, dass es periodische Signale aus dem von dem Aufbereitungsmodul aufbereiteten Vibrationssignal herausfiltern bzw. extrahieren kann. Ferner ist ein Erkennungsmodul vorgesehen, welches ausgebildet ist, um anhand der herausgefilterten periodischen Signale bzw. Signalanteile den vibrationsmäßigen Betriebszustand des Pumpenaggregates bzw. Elektromotors erkennen zu können. Dabei wird im Erkennungsmodul anhand charakteristischer periodischer Signale eine automatisierte Erkennung bestimmter Betriebszustände bezüglich der im Aggregat auftretenden Vibrationen durchgeführt. Insbesondere können Betriebszustände erkannt werden, welche auf einen fehlerhaften Betrieb schließen lassen, beispielsweise auf einen Lagerschaden.

[0022] Die Auswerteeinrichtung weist als Filtermodul bevorzugt ein Cepstralanalysemodul auf, welches zur Durchführung einer Cepstralanalyse bzw. Cepstral-Transformation an dem von dem Aufbereitungsmodul aufbereiteten Vibrationssignal in der oben beschriebenen Weise ausgebildet ist. Das Cepstralanalysemodul ist eine Rechnereinheit oder eine Softwarekomponente, welche die Cepstral-Transformation bzw. Analyse des Vibrationssignals durchführt. Gegebenenfalls können, wie oben beschrieben, vor das Aufbereitungs- oder das Cepstral-Analyssemodul noch Tief- und/oder Hochpassfilter integriert werden, um störende Signaleinflüsse zu beseitigen.

[0023] Ferner weist die Auswerteeinrichtung bevorzugt ein Erkennungsmodul auf, welches zur Erkennung von Betriebszuständen bzw. Fehlern anhand des von den Cepstralanalysemodul erzeugten Cepstral-Diagrammes ausgebildet ist. Das Erkennungsmodul kann ebenfalls eine Hardware- und/oder Softwarekomponente des Aufbereitungsmoduls sein, welches zur entspre-

chenden Auswertung des Cepstral-Diagrammes ausgebildet ist. Dabei ist das Erkennungsmodul so ausgebildet, dass es in der oben anhand des Verfahrens beschriebenen Weise aus dem Cepstral-Diagramm verschiedene Betriebszustände oder Fehler erkennen kann.

[0024] Vorzugsweise weist das Erkennungsmodul eine Fuzzy-Logik und/oder ein neurales Netzwerk auf, um die Erkennung anhand des Cepstral-Diagrammes durchzuführen. Durch diese Strukturen kann eine künstliche Intelligenz bereitgestellt werden, welche es ermöglicht, verschiedene für einzelne Betriebszustände charakteristische Muster in dem Cepstral-Diagramm zu erkennen, auch solche Muster, welche möglicherweise von vorbekannten Mustern abweichen. Ein solches System kann auf veränderte Randbedingungen selbsttätig reagieren.

[0025] Vorzugsweise weist die Auswerteeinrichtung ein Speichermodul auf, in welchem fürbestimmte Betriebszustände charakteristische Muster eines periodischen Signals, insbesondere eines Cepstral-Diagrammes oder von Ausschnitten eines Cepstral-Diagrammes abgelegt sind, und das Erkennungsmodul ist zur Erkennung von bestimmten Betriebszuständen an dem periodischen Signal oder Cepstral-Diagramm anhand der gespeicherten Muster ausgebildet. Das Speichermodul

kann ein separater Speicherbaustein sein, es können jedoch auch Speicherbausteine, welche in einer Steuerungseinrichtung des Pumpenaggregates oder des Elektromotors ohnehin vorhanden sind, mitbenutzt werden. Das Erkennungsmodul vergleicht die aktuellen Signalmuster bzw. Cepstral-Diagramme bzw. Ausschnitte aus diesen mit den vorbekannten und gespeicherten Mustern und erkennt, sobald es Identität oder Ähnlichkeiten zu den bekannten Mustern feststellt, die entsprechenden Betriebszustände. Über eine Ausgabeeinrichtung kann dann eine Meldung, insbesondere Fehlermeldung ausgegeben werden. Dazu kann an dem Elektromotor oder dem Pumpenaggregat beispielsweise eine Warnleuchte angebracht sein. Auch kann in einem Display ein Fehlercode oder eine Fehlerbezeichnung im Klartext ausgegeben werden. Auch ist es denkbar, die Fehlerart auf eine externe Auswerteeinrichtung, beispielsweise eine Fernbedienung zu übertragen, um hier eine nähere Fehlerauswertung vornehmen zu können.

[0026] In dem Speichermodul können zum Einen Muster gespeichert sein, welche unerwünschten Betriebszuständen, beispielsweise charakteristischen Fehlern entsprechen. Wenn das Erkennungsmodul im aktuellen Signal ein entsprechendes Muster erkennt, kann es somit auf einen solchen unerwünschten Betriebszustand schließen. Alternativ oder zusätzlich ist es zum Anderen auch möglich, in dem Speichermodul Muster abzulegen, welche Soll-Betriebszuständen, d.h. insbesondere fehlerfreien Betriebszuständen entsprechen. Hier kann die Erkennung von unerwünschten Betriebszuständen dann genau umgekehrt erfolgen, indem ein unerwünschter Betriebszustand daran erkannt wird, dass das aktuelle Signalmuster von dem vorbekannten gespeicherten Muster abweicht.

[0027] In dem Speichermodul können die Muster werkseitig eingespeichert sein. Alternativ oder zusätzlich ist es jedoch auch möglich, das Fehlerdetektionssystem mit einem Kalibrierungsmodul zu versehen, welches zur Erfassung der zu speichernden vorbekannten Muster ausgebildet ist. Das Kalibrierungsmodul kann beispielsweise derart ausgebildet sein, dass es bei der Inbetriebnahme, insbesondere der ersten Inbetriebnahme des Aggregates, d.h. des Pumpenaggregates bzw. Elektromotors, den vibrationsmäßigen Betriebszustand erfasst bzw. verschiedene vibrationsmäßige Betriebszustände erfasst und diese als vorbekannte Muster in dem Speichermodul ablegt. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Aggregat bei der ersten Inbetriebnahme im Wesentlichen fehlerfrei arbeitet. Darüber hinaus kann das Kalibrierungsmodul auch so ausgebildet sein, dass es im späteren Betrieb des Aggregates Muster speichern kann. So ist es beispielsweise denkbar, dass das Kalibrierungsmodul aktiviert werden kann, um vorbekannte Muster nach einer Reparatur des Aggregates, wenn es fehlerfrei arbeitet, zu speichern.

[0028] Der Vibrationssensor ist vorzugsweise an der mechanischen Struktur des Pumpenaggregates oder des Elektromotors, in einem Klemmenkasten, innerhalb einer Anordnung elektronischer Bauteile und/oder in einer Fluidleitung für ein von dem Pumpenaggregat zu förderndes Fluid angeordnet. So kann es je nach Art der zu erfassenden Vibration, beispielsweise Lagerfehler oder Laufradfehler bei einem Pumpenaggregat andere bevorzugte Einbauorte für einen oder mehrere Vibrationssensoren geben, um die entsprechende Vibration besonders gut erfassen zu können. Über die mechanische Struktur werden Vibrationen besonders gut übertragen und können somit dort gut erfasst werden. Die Anordnung eines Vibrationssensors innerhalb einer Anordnung elektronischer Bauteile oder in einem Klemmenkasten hat den Vorteil, dass die Verkabelung und Montage vereinfacht wird. Wenn der Vibrationssensor mit anderen elektronischen Bauteilen, wie beispielsweise einer Steuereinrichtung oder einem Frequenzumrichter, gemeinsam in einem Klemmenkasten angeordnet wird, kann darauf verzichtet werden, zusätzliche Sensoren in das Aggregat zu integrieren und dann mit Steuer- oder Anzeigekomponenten im Klemmenkasten zu verkabeln. Ferner kann der Sensor geschützt in dem Klemmenkasten angeordnet sein. Insgesamt wird die Montage erheblich vereinfacht, da der Sensor im Idealfall gemeinsam mit den anderen elektronischen Bauteilen auf einer Platine platziert werden kann. Auch die Vibrationserfassung in einem von einem Pumpenaggregat geförderten Fluid kann sehr vorteilhaft sein, da hierzu ein möglicherweise ohnehin benötigter Drucksensor eingesetzt werden kann, welcher in das Fluid eintaucht. Beispielsweise Laufrad aber gegebenenfalls auch Lagerfehler übertragen sich als Vibrationen auf das zu fördernde Fluid und können hier durch einen ausreichend sensiblen Sensor auch indirekt im Fluid detektiert werden.

[0029] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausfüh-

rungsform erfolgt die Signalübertragung zwischen Vibrationssensor und Auswerteeinrichtung drahtlos, besonders bevorzugt über Funk. Auf diese Weise kann der Sensor sehr einfach in dem Elektromotor oder Pumpenaggregat platziert werden, wobei die Anordnung bevorzugt danach ausgewählt wird, wo die zur Auswertung erforderlichen Vibrationen am besten erfasst werden können. Auf die Verkabelung muss dabei keine Rücksicht genommen werden. Zur Energieversorgung kann

5 der Vibrationssensor mit einer Batterie versehen sein, es ist jedoch auch denkbar, dass die erforderliche elektrische Energie durch Energieumwandlung, beispielsweise von Vibrations- oder Wärmeenergie in dem Vibrationssensor selber bereitgestellt wird.

10 **[0030]** Weiter bevorzugt weist die Auswerteeinrichtung ein Normierungsmodul auf, welches zur Normierung des von dem Cepstralanalysemodul erzeugten Cepstral-Diagrammes ausgebildet ist, derart, dass die Ausschläge in dem Diagramm wie oben beschrieben ins

15 Verhältnis zum Hintergrundrauschen gesetzt werden. Dieses Normierungsmodul kann als Hardwarekomponente in das Fehlerdetektionssystem integriert sein oder aber auch als reine Softwarekomponente in diesem bereitgestellt werden.

20 **[0031]** Es ist zu verstehen, dass das Fehlerdetektionsystem insgesamt durch separate Hardwarekomponenten, welche die beschriebenen Funktionen bereitstellen, aufgebaut werden kann. Es ist hier doch auch denkbar, dass alle oder einzelne Funktionen bzw. Module des

25 Fehlererkennungssystems als Softwarekomponenten ausgebildet werden, welche in einer Rechnereinheit, welche einen Mikroprozessor aufweist, ausgeführt werden. Hierzu kann eine separate Rechnereinheit vorgesehen sein, es ist jedoch auch denkbar, dass die Softwarekomponenten in eine Rechnereinheit integriert sind, welche gleichzeitig andere Funktionen in dem Elektromotor bzw. Pumpenaggregat übernimmt, beispielsweise diese steuert oder regelt.

30 **[0032]** Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand der beigefügten Figuren und Diagramme beschrieben. In diesen zeigt:

Fig. 1 In einem Ablaufdiagramm den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens,

35 Fig. 2, 3, 4 schematisch die mögliche Anordnung von Vibrationssensoren,

40 Fig. 5 ein Cepstral-Diagramm, wie es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugt wird,

45 Fig. 6 eine Ausschnittsbetrachtung eines Cepstral-Diagrammes entsprechend Fig. 5, und

50 Fig. 7 den normierten Ausschnitt gemäß Fig. 6

[0033] Bezug nehmend auf Fig. 1 wird nachfolgend der grundsätzliche Verfahrensablauf gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beschrieben.

[0034] Im Schritt 1 in Fig. 1 findet eine Vibrationsmessung bzw. eine Vibrationssignal-Erfassung durch einen geeigneten Sensor, beispielsweise einen Beschleunigungssensor, einen optischen Sensor, ein Mikrofon oder Hydrofon statt. Das Ausgangssignal dieses Sensors bzw. der Vibrationsmessung wird den Schritten 2 und 3 zur Verfügung gestellt. Im Schritt 2 erfolgt eine Signalvorbereitung bzw. -aufbereitung, in welcher der Einfluss der aktuellen Drehzahl der Motorwelle bzw. des Pumpenlaufrades, je nachdem in welches Gerät das erfundungsgemäße Fehlererkennungssystem integriert ist, minimiert oder beseitigt wird. Diese Aufbereitung des Vibrationssignals erfolgt durch ein Resampling mit einer Abtastrate, welche auf eine konstante vorbestimmte Drehzahl bezogen wird. Dazu wird die aktuelle Abtastrate mit der aktuellen Drehzahl multipliziert und durch eine konstante Drehzahl, beispielsweise 3.000 Umdrehungen pro Minute, dividiert. Auf diese Weise wird eine neue Abtastrate gebildet, mit welcher das Resampling bzw. die Veränderung der Abtastrate an dem Vibrationssignal durchgeführt wird. Auf diese Weise erscheint das Vibrationssignal bei dieser konstanten Drehzahl aufgenommen worden zu sein, so dass die nachfolgende Auswertung unabhängig von der aktuellen Motordrehzahl wird. Um einen Aliasing-Effekt zu vermeiden, wird das Vibrationssignal ferner durch einen Tiefpass gefiltert, bevor das Resampling durchgeführt wird.

[0035] Das erforderliche Drehzahlsignal wird dem Aufbereitungsschritt 2 über den Schritt 3 zugeführt. Das Drehzahlsignal kann durch geeignete Messaufnehmer direkt erfasst werden (f_s), oder beispielsweise im Schritt 3 auch direkt aus dem erfassten Vibrationssignal ermittelt werden, wie es beispielsweise in dem Patent US 7,031,873 beschrieben ist.

[0036] Nach der Aufbereitung des Vibrationssignals wird im Schritt 4 eine Filterung in Form einer Cepstralanalyse bzw. -transformation durchgeführt, um periodische Signale bzw. Signalanteile aus dem Vibrationssignal zu extrahieren. Eine solche Cepstralanalyse umfasst eine Fourier-Transformation, wobei das Fourierspekrogramm einer Frequenzanalyse in der Frequenzdomäne unterzogen wird. Der Vorteil einer solchen Cepstralanalyse liegt darin, dass das charakteristische Geräusch des Motors oder des Pumpenaggregates gegen Null gesetzt wird und so von einem periodischen Signal getrennt werden kann.

[0037] Bei der Cepstralanalyse wird ferner, um Einflüsse der Motorkonstruktion auszuschließen, eine Hochpassfilterung der Frequenzdomäne vor der Fourier-Transformation der Frequenzdomäne durchgeführt. Die resultierende Cepstraldomäne enthält dann im Wesentlichen keine Einflüsse des Motorgeräusches mehr.

[0038] Die eigentliche Signalverarbeitung des Vibrationssignals ist nach dem Schritt 4 abgeschlossen. Im Schritt 5 beginnt dann die eigentliche Erkennung von Be-

triebszuständen bzw. Fehlern. Hierzu wird im Schritt 5 zunächst eine Ausschnittsvergrößerung des Signals vorgenommen, wie es anhand der Fig. 5 und 6 dargestellt ist. Fig. 5 zeigt ein Cepstral-Diagramm bzw. Cepstral-Spekrogramm (Cepstrum) wie es in Schritt 4 des Verfahrens erzeugt wird. Hier ist deutlich zu erkennen, dass im linken Bereich mehrere starke Ausschläge gegeben sind, welche charakteristische Signale darstellen. Zur nachfolgenden Analyse wird nur ein Bereich betrachtet, in dem die charakteristischen Signale auftreten und daher ein solcher Bereich zunächst als Ausschnitt betrachtet, wie er beispielsweise in Fig. 6 dargestellt ist. Dieser Ausschnitt kann entweder daran bestimmt werden, wo im Cepstrum Ausschläge auftreten, oder es können vorbestimmte Ausschnitte betrachtet werden, in welchen bekanntmaßen charakteristische Signale, insbesondere Fehlersignale zu erwarten sind. Im Schritt 6 erfolgt anschließend eine Normierung des Cepstrums bzw. Signals des in Fig. 6 gewählten Ausschnittes. Diese Normierung dient dazu, Einflüsse unterschiedlicher Motor- bzw. Aggregatsgrößen auszuschließen. Je nach Größe und Leistung des Aggregats weichen die auftretenden Ausschläge voneinander ab. Durch die Normierung werden diese Ausschläge ins Verhältnis zu dem auftretenden Hintergrundgeräusch gesetzt, welches ebenfalls nach Leistung des Aggregats unterschiedlich ist. Dadurch, dass die Kurve bzw. die Ausschläge ins Verhältnis zum Hintergrundgeräusch gesetzt werden, wird die Auswertung unabhängig von der aktuellen Dimension des Motors bzw. des Aggregates, so dass ein und dasselbe Fehlererkennungssystem für verschiedene dimensionierte Aggregate eingesetzt werden kann.

[0039] Dies ist in Figur 7 dargestellt. Dort ist der Mittelwert des Hintergrundgeräusches als Linie 10 dargestellt. Auf diesen Wert werden die Ausschläge bzw. zu untersuchenden Signale bezogen. Die eigentliche Erkennung der Betriebszustände bzw. Fehler erfolgt dann im Schritt 7 mittels eines neuronalen Netzes oder Fuzzy logic, wobei eine Mustererkennung stattfindet. Die Betriebszustände werden an der Verteilung der einzelnen Ausschläge im Cepstral-Diagramm ermittelt. D. h. es kommt hier nicht auf die absoluten Werte der Ausschläge an, sondern nur wo bzw. wann in welchen zeitlichen Wiederholfrequenzen die Ausschläge auftreten. Die Muster können mit zuvor gespeicherten Mustern, welche bestimmte Betriebszustände repräsentieren, verglichen werden, um so Fehler, beispielsweise einen Lager- oder Laufradschaden, zu erkennen. Wird ein Fehler erkannt, wird dies dann im Schritt 8 auf geeignete Weise ausgegeben. Hierzu können Fehlersignale an weitere Steuer- bzw. Regelbaugruppen übertragen werden oder akustisch oder visuell der Fehler signalisiert werden.

[0040] Fig. 2 zeigt Beispiele für Möglichkeiten, wie ein Vibrationssensor 20 oder 22 am Elektromotor angeordnet werden kann. Der Sensor 20 ist in einem Anschluss- bzw. Klemmenkasten 24, welcher an dem Motorgehäuse 26 angeordnet ist, platziert. Diese Anordnung ist sehr vorteilhaft, da der Sensor zum einen im Klemmenkasten

24 geschützt ist und zum anderen dort sehr einfach mit weiteren elektronischen Bauteilen angeordnet werden kann. Darüber hinaus sind die Verkabelungswege kurz. Der Sensor 22 ist direkt an der mechanischen Struktur des Elektromotors 23, hier am Motorgehäuse 26 angeordnet. Der Sensor 22 ist vorzugsweise möglichst nahe dem Lager der Motorwelle angeordnet, um hier besonders gut die im Lager auftretenden Vibrationen bzw. Geräusche erfassen zu können.

[0041] In Figuren 3 und 4 sind weitere Beispiele für die Anordnung eines Vibrationssensors gezeigt. So kann entsprechend Sensor 22 ein Sensor 28 direkt an einem Pumpengehäuse 30 angeordnet werden, um hier Vibrationen erfassen zu können. Entsprechend kann, wie in Figur 4 gezeigt, auch ein Sensor 32 in das Pumpengehäuse 30 integriert sein. Darüber hinaus ist beispielsweise auch möglich, einen Vibrationssensor 34 außen am Anschlussstutzen eines Pumpenaggregates anzubringen. Alternativ ist es möglich, einen Sensor 36 im Anschlussstutzen, d.h. in der Strömung anzubringen und die Vibrationen indirekt über das zu fördernde Fluid zu erfassen.

Bezugszeichenliste

[0042]

1	Vibrationssignal-Erfassungsmodul (Vibrationssensor)
2	Aufbereitungsmodul
3	Modul zur Drehzahlermittlung
4	Cepstralanalysemodul/Filtermodul
5	Vergrößerungsmodul bzw. Modul zur Bildung von Ausschnitten aus dem Cepstral-Diagramm
6	Normierungsmodul
7	Erkennungsmodul
8	Ausgabemodul
20, 22	Vibrationssensor
24	Klemmenkasten
23	Elektromotor
26	Motorgehäuse
28	Vibrationssensor
30	Pumpengehäuse
32, 34, 36	Vibrationssensor

Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren von Fehlern in einem Pumpenaggregat mit einem Elektromotor (23) oder in einem Elektromotor (23) mit zumindest einer rotierenden Welle, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Vibrationssignal erfasst wird, das erfasste Vibrationssignal derart aufbereitet wird, dass der Einfluss der aktuellen Drehzahl der Welle beseitigt wird, periodische Signale aus dem aufbereitetem Vibrati-

onssignal herausgefiltert werden, und anhand der periodischen Signale der vibrationsmäßige Betriebszustand und insbesondere mögliche Fehler erkannt werden.

- 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aufbereitete Vibrationssignal einer Cepstralanalyse unterzogen wird und anhand des durch die Cepstralanalyse erzeugten Cepstral-Diagramms der vibrationsmäßige Betriebszustand, insbesondere mögliche Fehler erkannt werden.
- 10
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erkennung des Betriebszustandes aus dem Cepstral-Diagramm eine Mustererkennung durchgeführt wird, bei welcher insbesondere berücksichtigt wird, an welchen Stellen in dem Cepstral-Diagramm Ausschläge auftreten.
- 15
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Betriebszustand anhand vorbekannter Muster in dem Cepstral-Diagramm erkannt werden.
- 20
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erkennung des Betriebszustandes in ausgewählten Abschnitten des Cepstral-Diagrammes erfolgt, wobei es sich vorzugsweise um vorbestimmte Abschnitte handelt.
- 25
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erkennung des Betriebszustandes anhand des Cepstral-Diagrammes mittels eines neuralen Netzwerks und/oder Fuzzy-Logik erfolgt.
- 30
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Cepstralanalyse vor der Erkennung des Betriebszustandes eine Normierung des Cepstral-Diagrammes derart stattfindet, dass die Ausschläge in dem Diagramm ins Verhältnis zum Hintergrundrauschen gesetzt werden.
- 35
8. Pumpenaggregat mit einem Elektromotor (23) oder Elektromotor (23) mit zumindest einer rotierenden Welle, **gekennzeichnet durch** ein Fehlerdetektionssystem mit zumindest einem Vibrationssensor (20, 22) und einer mit dem Vibrationssensor (20, 22) verbunden Auswerteeinrichtung, wobei die Auswerteeinrichtung versehen ist mit einem Aufbereitungsmodul (2), welches zur Beseitigung des Einflusses der aktuellen Drehzahl der Welle aus einem von dem Vibrationssensor (20, 22) erfassten Vibrationssignal ausgebildet ist, ein Filtermodul (4), welches zum Ausfiltern periodischer Signale aus dem von dem Aufbereitungsmodul aufbereiteten Vibrationssignal
- 40
- 45
- 50
- 55

ausgebildet ist, und ein Erkennungsmodul (7), welches zur Erkennung des vibrationsmäßigen Betriebszustandes anhand der periodischen Signale ausgebildet ist.

5

9. Pumpenaggregat nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Filtermodul von einem Cepstralanalysemodul (4) gebildet ist, welches zur Durchführung einer Cepstralanalyse an dem von dem Aufbreitungsmodul (2) aufbereiteten Vibrationsignal ausgebildet ist, und dass das Erkennungsmodul (7) zur Erkennung des Betriebszustandes anhand des von dem Cepstralanalysemodul erzeugten Cepstral-Diagrammes ausgebildet ist. 10

10. Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder Elektromotor nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erkennungsmodul (7) eine Fuzzy-Logik und/oder ein neutrales Netzwerk aufweist. 15

11. Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder Elektromotor nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinrichtung ein Speichermodul aufweist, in welchem für bestimmte Betriebszustände charakteristische Muster eines Cepstral-Diagrammes abgelegt sind, und das Erkennungsmodul (7) zur Erkennung des Betriebszustandes an dem Cepstral-Diagramm anhand der gespeicherten Muster ausgebildet ist. 20

12. Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder Elektromotor nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vibrationssensor (20, 22) an der mechanischen Struktur (26) des Pumpenaggregats oder des Elektromotors (23), in einem Klemmenkasten (24), innerhalb einer Anordnung elektronischer Bauteile und/oder in einer Fluidleitung für ein von dem Pumpenaggregat zu fördern- des Fluid angeordnet ist. 25

13. Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder Elektromotor nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Signalübertragung zwischen Vibrationssensor (20, 22) und Auswerteeinrichtung drahtlos erfolgt. 30

14. Pumpenaggregat mit einem Elektromotor oder Elektromotor nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinrichtung ein Normierungsmodul (6) aufweist, welches zur Normierung des von dem Cepstralanalysemodul (4) erzeugten Cepstral-Diagrammes ausgebildet ist, derart, dass die Ausschläge in dem Diagramm ins Verhältnis zum Hintergrundrauschen gesetzt werden. 35

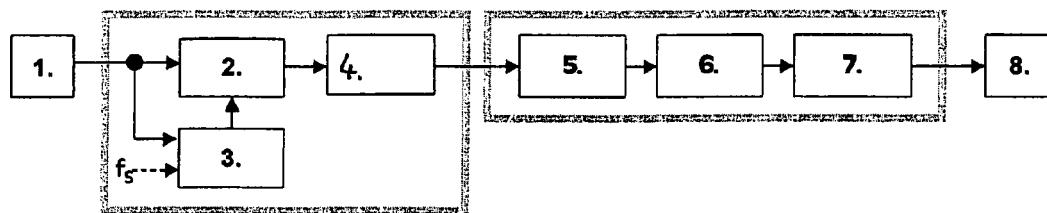
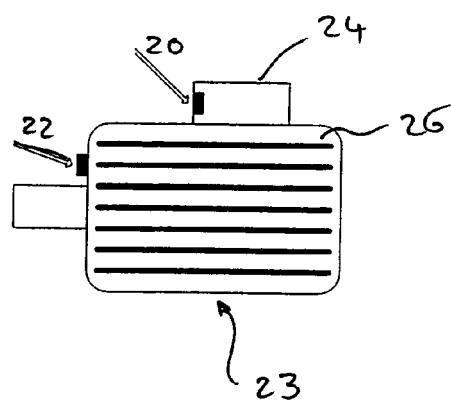
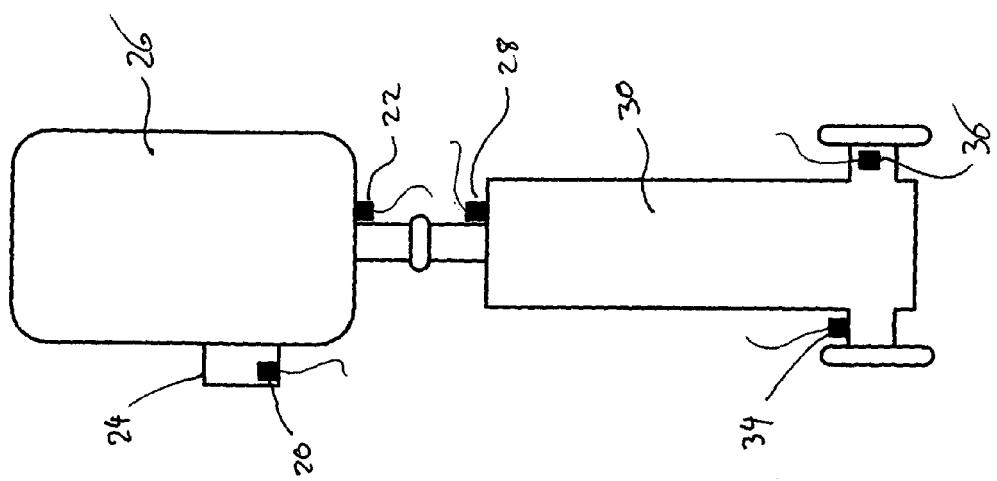
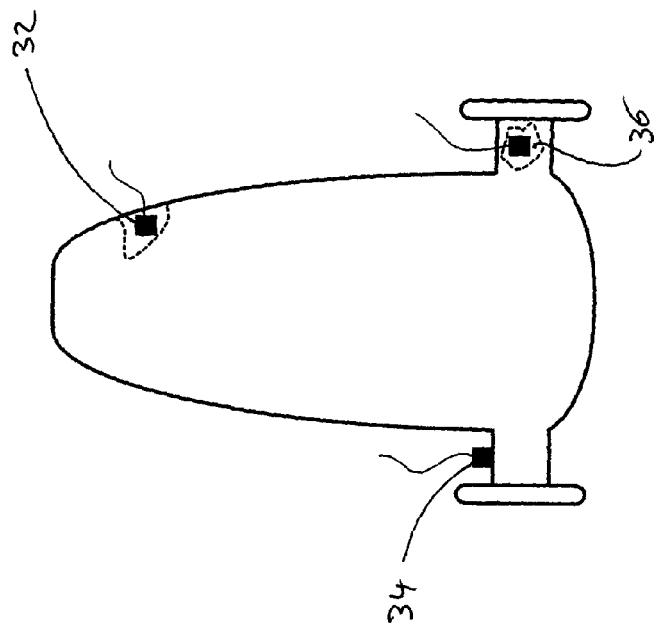


Fig. 1

Fig. 2





EP 1 972 793 A1

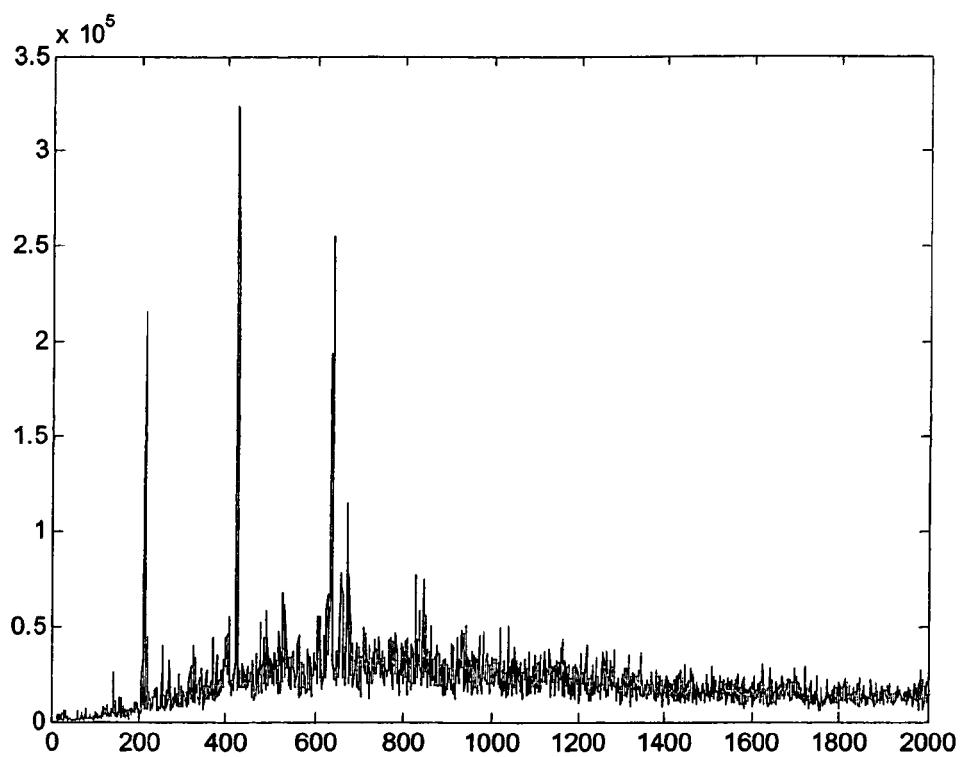


Fig. 5

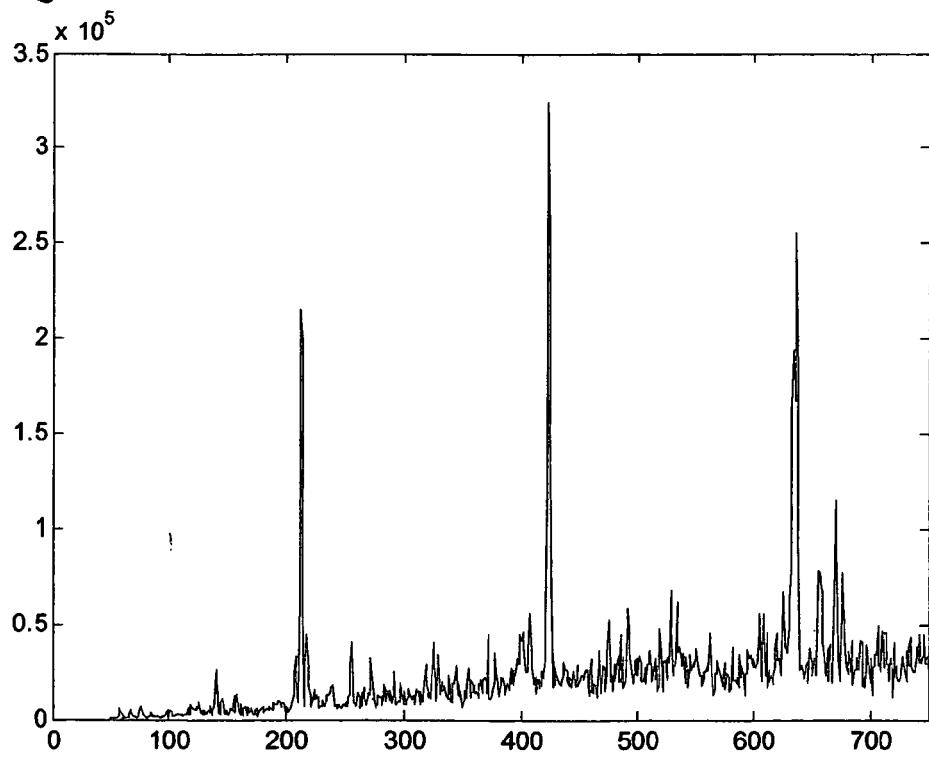


Fig. 6

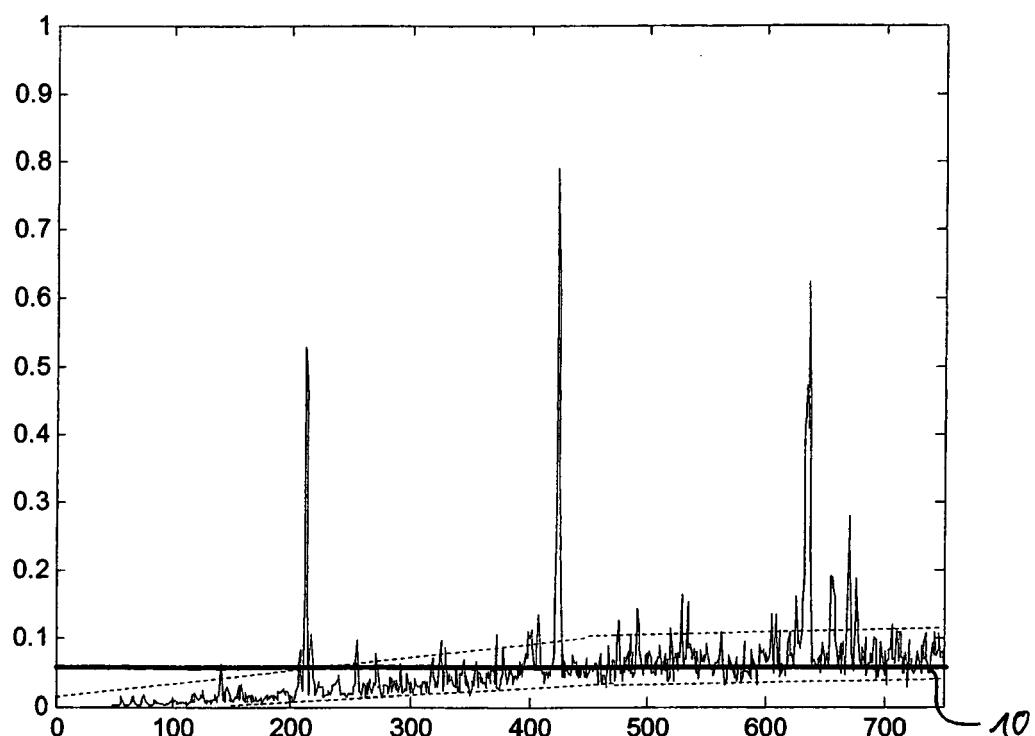


Fig. 7



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 35 20 734 A1 (KRAFTWERK UNION AG [DE]) 11. Dezember 1986 (1986-12-11) * Seite 7, Zeile 11 - Seite 9, Zeile 25; Abbildungen 1,2 *	1,8	INV. F04D15/00 F04D29/66
X	----- GB 2 298 239 A (INST FRANCAIS DU PETROL [FR]) 28. August 1996 (1996-08-28) * Seite 8, Zeile 8 - Zeile 26 * * Seite 9, Zeile 15 - Seite 10, Zeile 11 * * Seite 12, Zeile 25 - Seite 14, Zeile 8; Ansprüche 1,2,4; Abbildungen 1,2a *	1,8	
X	----- WO 97/08459 A (BAKER HUGHES INC [US]; BEARDEN JOHN L [US]; HARRELL JOHN W [US]; RIDER) 6. März 1997 (1997-03-06) * Seite 29, Zeile 16 - Seite 30, Zeile 25; Abbildung 2k *	1,8	
X	----- WO 2006/127939 A (BAKER HUGHES INC [US]; BESSER GORDON L; MCCOY ROBERT H [US]) 30. November 2006 (2006-11-30) * Absatz [0013] - Absatz [0017]; Abbildung 13 *	1,8	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
	-----		F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
3	Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
	München	7. August 2007	DI GIORGIO, F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

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

EP 07 00 5995

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.

07-08-2007

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 3520734	A1	11-12-1986	KEINE			
GB 2298239	A	28-08-1996	BR CA FR NL NL NO US	9600746 A 2169895 A1 2730767 A1 1002408 C2 1002408 A1 960671 A 5775879 A		30-12-1997 22-08-1996 23-08-1996 12-11-1996 11-09-1996 22-08-1996 07-07-1998
WO 9708459	A	06-03-1997	CA GB NO	2230691 A1 2320588 A 980882 A		06-03-1997 24-06-1998 27-04-1998
WO 2006127939	A	30-11-2006	US	2006266913 A1		30-11-2006

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 7031873 B2 **[0007]**
- US 7031873 B **[0035]**