



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 702 986 A2

(51) Int. Cl.: G01M 13/04 (2006.01)  
G01M 15/04 (2006.01)  
F02B 77/08 (2006.01)  
G01B 21/16 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

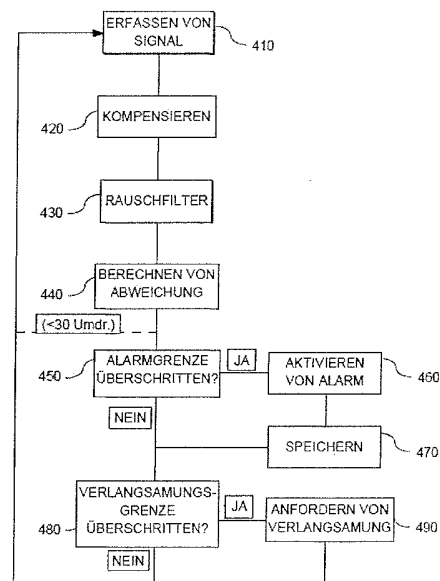
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer:	00779/11	(71) Anmelder:	MAN Diesel & Turbo, filial af MAN Diesel & Turbo SE, Tyskland, Teglholmegade 41, 2450 Copenhagen SV (DK)
(22) Anmeldedatum:	06.05.2011	(72) Erfinder:	Henrik Willads Christensen, 2860 Søborg (DK) Martin Olsson, 29342 Olofström (SE)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	15.11.2011	(74) Vertreter:	Patentanwaltsbüro Dr. Urs Falk, Eichholzweg 9A, 6312 Steinhausen (CH)
(30) Priorität:	07.05.2010 DK 2010 00401		

(54) Verbesserte Überwachung des Verschleisses von Lagern in einem Zweitakt-Grossdieselmotor.

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor. Die Vorrichtung umfasst mindestens zwei Sensoren, die so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei in einer Lernphase eine Tabelle mit Referenzwerten zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen erzeugt wird, und wobei der Normalbetrieb folgende Schritte umfasst:  
empfangen eines Signals von jedem Sensor;  
kompensieren jedes Signals (420) in Abhängigkeit von der aktuellen Motorbetriebsbedingung;  
bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde (450), und, wenn dies der Fall ist, Ausgeben einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.



## Beschreibung

### GEBIET

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen des Verschleisses von Lagern in einem Zweitakt-Grossdieselmotor.

### HINTERGRUND

[0002] Die Hauptlager, die Kurbelzapfenlager und die Kreuzkopflager von Zweitakt-Grossdieselmotoren weisen eine untere und eine obere Lagerschale auf, die eine Lagerfläche zum Tragen eines entsprechenden Lagerzapfens definieren. Die Lagerschalen weisen eine Stahlstützschale mit einer Lagermetallschicht darauf auf. Beim Lagermetall handelt es sich normalerweise um eine Zinn-Aluminium-Legierung oder eine Weissmetalllegierung in einer Schicht von ungefähr 1,5 bis 2 mm Dicke.

[0003] Trotz grosser Vorsicht bei der Herstellung dieser Motoren und dem Betrieb gibt es eine kleine Ausfallsrate. Da die meisten Zweitakt-Grossdieselmotoren Seeschiffe sind, ist ein Motorausfall infolge eines fehlerhaften Lagers äusserst unerwünscht.

[0004] Ausserdem können die Kosten einer Lagerüberholung erhöht sein, wenn zum Beispiel ein Nachschleifen der Kurbelwelle erforderlich ist, was zu einer erheblichen Stillstandszeit für den Motor führen kann.

[0005] Um zu verhindern, dass dies geschieht, verlangen die Klassifikationsgesellschaften, dass - je nach Klassifikationsgesellschaft - alle vier oder fünf Jahre Prüfungen durchgeführt werden, während der die Lager demontiert und geprüft werden.

[0006] Diese Prüfungen sind ziemlich komplex und erfordern die Demontage der Lager und anschliessend die erneute Montage der Lager. Dieser Prozess bezieht eine erhebliche Gefahr eines Einbaufehlers ein, d.h. eines Fehlers, der während der Überholung eingeführt wird.

[0007] Um die Notwendigkeit für Prüfungen zu mindern, schlug der Stand der Technik vor, den Verschleiss eines Lagers durch Messen seiner Distanz zu überwachen.

[0008] Die US-Patentanmeldung US2007/0 017 280 offenbart ein Messen der Position einer Gleitbacke eines Kreuzkopfes durch Verwenden zweier Sensoren für jeden Zylinder. Dies ermöglicht die Erkennung von Verschleiss an den Hauptlagern, den Kurbelzapfenlagern und Kreuzkopflagern sowie ein bestimmen, ob der Verschleiss an den Hauptlagern oder an den Kurbelzapfenlagern und den Kreuzkopflagern ist. Diese Messungen werden verwendet, um zu bestimmen, ob der Verschleiss im Begriff ist, zu einem Ausfall zu führen oder nicht, und eine Warnung auszugeben, wenn ein Ausfall bevorsteht.

[0009] Wie bereits erwähnt, können die Folgen eines Ausfalls schlimm sein, so dass eine wirksame und genaue Art und Weise des Erfassens des Verschleisses eines Lagers von grossem Nutzen ist.

### KURZDARSTELLUNG

[0010] Vor diesem Hintergrund wäre es vorteilhaft, eine Vorrichtung und ein Verfahren, welche die Wirksamkeit und Genauigkeit der Systeme des Standes der Technik verbessern, durch Bereitstellen eines Verfahrens und einer Vorrichtung bereitzustellen, die zu einem Kalibrieren und/oder Interpretieren der Sensormesswerte auf eine bessere Art und Weise ausgelegt sind.

[0011] Das Hauptziel des Überwachens des Verschleisses von Lagern ist es, einen Lagerfehler zu erkennen, bevor er sich dermassen entwickelt, dass Wärme Schaden an anderen Teilen als der Lagergleitfläche verursacht. Teile, die betroffen werden könnten, sind der Kreuzkopf, der Kurbelzapfen, der Hauptlagerzapfen oder das Lagergehäuse infolge von Verformung. Solch ein Schaden ist im Allgemeinen das Ergebnis, wenn die Lagergleitfläche durchgescheuert ist und ein Kontakt zwischen der Welle und der Stahlstützschale der Lagerschale erfolgt.

[0012] Es ist zu erwähnen, dass, auch wenn die folgende Beschreibung den Schwerpunkt auf ein Kompensieren einer Motordrehzahl legt, die Lehren hierin auch für ein Kompensieren eines Propellersteigniveaus und einer Last gelten. Dies sind Beispiele für Motorbetriebsbedingungen, welche den unteren Totpunkt (BDC für engl., bottom dead centre) für ein bewegliches Teil, wie beispielsweise einen Kreuzkopf oder eine Gleitbacke, um einige Beispiele zu nennen, in einem Motor beeinflussen.

[0013] Die Erfindung ist gekennzeichnet durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche 1 und 15. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen 2 bis 14 angegeben. Wichtige Aspekte der Erfindung werden im Folgenden näher erläutert.

[0014] Die offenbarten Ausführungsformen stellen eine Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor bereit, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf und eine Gleitbacke eines bestimmten Zylinders in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem

Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen einer Abweichung, um Faktoren Rechnung zu tragen, die das Sensorsignal beeinflussen; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.

**[0015]** In einer Ausführungsform handelt es sich bei der Motorbetriebsbedingung um eine Motordrehzahl.

**[0016]** In einer Ausführungsform handelt es sich bei der Motorbetriebsbedingung um ein Propellersteigungsniveau.

**[0017]** In einer Ausführungsform handelt es sich bei der Motorbetriebsbedingung um eine Last.

**[0018]** Durch Bestimmen einer Abweichung eines Sensorsignals ist die Steuerung in der Lage, externen Einflüssen Rechnung zu tragen, die mehr als einen Sensor betreffen und die sonst als eine Änderung des BDC-Niveaus interpretiert werden würden.

**[0019]** Die Aspekte der offenbarten Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, und die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen einer Abweichung, um Faktoren Rechnung zu tragen, die das Sensorsignal beeinflussen; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.

**[0020]** Die Aspekte der offenbarten Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner zum dynamischen Ändern des Schwellenwerts gemäss einem aktuellen Betrieb des Motors konfiguriert ist.

**[0021]** Die Aspekte der offenbarten Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, und die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt (BDC) für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke eines bestimmten Zylinders in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner ein dynamisches Ändern des Schwellenwerts gemäss einem aktuellen Betrieb des Motors umfasst.

**[0022]** Die Aspekte der offenbarten Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, und wobei die mindestens zwei Sensoren so angeordnet sind, dass zwei Sensoren in jedem Zylinder vorhanden sind, ein vorderer und ein hinterer Sensor, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Bestimmen durch Verknüpfen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors eines zweiten Zylinders, dass ein Lager abgenutzt ist, und/oder Bestimmen durch Verknüpfen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors desselben Zylinders, dass ein Lager abgenutzt ist, und Verknüpfen von wenigstens zwei solchen verknüpften Sensorsignalen und Vergleichen des Ergebnisses dieser Verknüpfung mit dem Schwellenwert.

**[0023]** Die Aspekte der offenbarten Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen,

wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst: Bestimmen durch Verknüpfen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors eines zweiten Zylinders, dass ein Lager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, und/oder Bestimmen durch Verknüpfen des Signals des vorderen Signals eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors desselben Zylinders, dass ein Lager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, und Verknüpfen der beiden Sensorsignale und Vergleichen des Ergebnisses der beiden Sensorsignale mit dem Schwellenwert.

**[0024]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Erkennen einer schnellen Änderung des BDC-Niveaus durch Vergleichen der empfangenen Sensorsignale mit einem mittleren Niveau von Signalwerten für eine vorherige Zeitperiode.

**[0025]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Motor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Erkennen einer schnellen Änderung eines Niveaus eines unteren Totpunkts durch Aktualisieren eines Referenzniveaus für einen Sensor; Aktualisieren eines gegenwärtigen Niveaus für einen Sensor und Bestimmen eines Referenzwerts und Bestimmen, ob der Referenzwert ein Schwellenniveau der schnellen Änderung überschreitet.

**[0026]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Motor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Erkennen einer schnellen Änderung eines Niveaus eines unteren Totpunkts durch Aktualisieren eines Referenzniveaus für einen Sensor; aktualisieren eines gegenwärtigen Niveaus für einen Sensor und Bestimmen eines Referenzwerts und Bestimmen, ob der Referenzwert ein Schwellenniveau der schnellen Änderung überschreitet.

**[0027]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke eines bestimmten Zylinders in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst: Erkennen einer schnellen Änderung eines BDC-Niveaus durch Vergleichen der gemessenen Sensorwerte mit einem mittleren Niveau für eine vorherige Zeitperiode.

**[0028]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Erzeugen einer Tabelle zur Kompensation der Motordrehzahl während des Betriebs des Motors während einer Lernphase durch Abtasten einer ersten Anzahl von

Sensorwerten in Bezug auf eine zweite Anzahl von Drehzahlpunkten während des Betriebs des Motors und Bestimmen, wenn die erste Anzahl von Abtastwerten für einen Drehzahlpunkt empfangen wurde, eines Referenzwerts durch Mitteln der empfangenen Abtastwerte für diesen Drehzahlpunkt.

**[0029]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst: Erzeugen einer Tabelle zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen während des Betriebs des Motors während einer Lernphase durch Abtasten einer ersten Anzahl von Sensorwerten in Bezug auf eine zweite Anzahl von Drehzahlpunkten, während des Betriebs des Motors und Bestimmen, wenn die erste Anzahl von Abtastwerten für einen Drehzahlpunkt empfangen wurden, eines Referenzwerts durch Mitteln der empfangenen Abtastwerte für diesen Drehzahlpunkt.

**[0030]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Neuanpassen eines ersetzten oder angepassten Sensors durch Anpassen der Signale von einem neu angepassten oder ersetzten Sensor durch Kompensieren des Signalwerts gemäss einer Nachschlagetabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen durch Berechnen eines Mittelwerts eines Versatzes für den neu angepassten oder ersetzten Sensor über eine Zeitperiode und Versetzen der Referenzwerte für einen betroffenen Sensor gemäss dem berechneten mittleren Versatz.

**[0031]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst: Neuanpassen eines ersetzten oder angepassten Sensors durch Anpassen der Signale von einem neu angepassten oder ersetzten Sensor durch Kompensieren des Signalwerts gemäss einer Nachschlagetabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen durch Berechnen eines Mittelwerts eines Versatzes für den neu angepassten oder ersetzten Sensor über eine Zeitperiode und Versetzen der Referenzwerte für einen betroffenen Sensor gemäss dem berechneten mittleren Versatz.

**[0032]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen einer Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum: Erzeugen von Trendkurven, die zeigen, ob ein Verschleiss während eines Zeitintervalls stattgefunden hat.

**[0033]** Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Verfahrens zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie einen unteren Totpunkt für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke eines bestimmten Zylinders in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst: Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittene Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst: Erzeugen von Trendkurven, die zeigen, ob ein Verschleiss während eines Zeitintervalls stattgefunden hat.

[0034] Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Motors, der eine beliebige Vorrichtung gemäss dem Vorhergesagten umfasst.

[0035] Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines Seeschiffs, das einen Motor gemäss dem Vorhergesagten umfasst.

[0036] Die Aspekte der offenbaren Ausführungsformen betreffen ausserdem ein Bereitstellen eines computerlesbaren Mediums, das wenigstens Computerprogrammcode zum Überwachen von Verschleiss eines Lagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor umfasst, wobei das computerlesbare Medium Softwarecode zum Ausführen eines oder einer Mehrzahl der Verfahren gemäss dem Vorhergesagten umfasst.

[0037] Weitere Aufgaben, Merkmale, Vorteile und Eigenschaften der Vorrichtung, des Verfahrens und des computerlesbaren Mediums gemäss der vorliegenden Erfindung sind aus der ausführlichen Beschreibung ersichtlich.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0038] Im Folgenden, detaillierten Abschnitt der vorliegenden Beschreibung werden die Lehren der vorliegenden Anmeldung unter Bezugnahme auf die beispielhaften Ausführungsformen, die in den Zeichnungen dargestellt sind, ausführlicher erläutert, wobei:

- Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Motors gemäss einer Ausführungsform ist;
- Fig. 2 eine schematische Ansicht eines Lagers gemäss einer Ausführungsform ist;
- Fig. 3 ein Flussdiagramm ist, das ein allgemeines Verfahren gemäss einer Ausführungsform beschreibt;
- Fig. 4 ein Flussdiagramm ist, das ein Verfahren gemäss einer Ausführungsform beschreibt;
- Fig. 5 ein Flussdiagramm ist, das ein Verfahren gemäss einer Ausführungsform beschreibt;
- Fig. 6 ein Diagramm ist, das eine Kurve gemäss einer Ausführungsform darstellt;
- Fig. 7 ein Diagramm ist, das eine Kurve gemäss einer Ausführungsform darstellt;
- Fig. 8 ein Flussdiagramm ist, das ein Verfahren gemäss einer Ausführungsform beschreibt;
- Fig. 9 ein Flussdiagramm ist, das ein Verfahren gemäss einer Ausführungsform beschreibt; und
- Fig. 10 ein Diagramm ist, das eine Kurve gemäss einer Ausführungsform darstellt.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0039] In der folgenden ausführlichen Beschreibung werden die Vorrichtung, das Verfahren und das Softwareprodukt gemäss den Lehren dieser Anmeldung durch die Ausführungsformen in Bezug auf einen Zweitakt-Grossdieselmotor beschrieben. Es ist jedoch zu erwähnen, dass, obwohl nur ein Zweitakt-Dieselmotor beschrieben und beansprucht wird, die Lehren dieser Anmeldung bei beliebigen Motoren verwendet werden können, wie beispielsweise Viertaktmotoren, Zweitakt-Benzinmotoren und Zweitakt-Kleindieselmotoren.

[0040] Fig. 1 ist eine Schnittansicht eines Motors 100. Der Motor weist eine Kurbelwelle mit einem Hauptzapfen 110 und einem oder mehreren Kurbelzapfen 120 auf, die jeweils mit einem Kreuzkopf 130 verbunden sind.

[0041] Für jeden Zylinder sind mindestens drei Lager vorhanden, und zwar ein Hauptlager 140 (in Fig. 1 nicht sichtbar, was durch eine gestrichelte Linie angezeigt ist), ein Kurbelzapfenlager 150 und ein Kreuzkopflager 160.

[0042] Zwei Sensoren 170 (nur einer ist dargestellt) sind für jeden Zylinder angeordnet. In einer Ausführungsform ist ein Sensor 170 nach dem Kreuzkopf 130 angeordnet, und ein Sensor 170 ist vor dem Kreuzkopf 130 angeordnet. Die Sensoren 170 sind so angeordnet, dass sie eine Distanz zwischen dem Kreuzkopf 130 und einem festen Punkt messen. Alternativ sind die Sensoren so angeordnet, dass sie eine Distanz zwischen einem Punkt, der am Kreuzkopf angesetzt ist, und einem festen Punkt messen.

[0043] Alternativ sind die Sensoren so angeordnet, dass sie die Distanz für eine Gleitbacke 135 messen.

[0044] In Fig. 1 ist ein Sensor 170 auf der Motorstruktur 100 angeordnet und misst die Distanz zu einer reflektierenden Platte 175, die an der Gleitbacke 135 angebracht ist. Es ist zu erwähnen, dass es verschiedene Alternativen im Hinblick darauf gibt, welche Art von Sensor verwendet wird, wie er angeordnet wird und welche Distanz er misst.

[0045] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Sensor 170 auf der Motorstruktur angeordnet, um die zuverlässigsten Messwerte zu erzeugen, wenn der Sensor stationär gehalten wird.

[0046] In einer Ausführungsform ist die Sensorplatte 175 auf dem Kreuzkopfbolzen angeordnet, um einen Messwert mit einer reduzierten Variation infolge von Winkelbewegung der Gleitbacke 135 zu gewährleisten.

**[0047]** In einer Ausführungsform sind die Sensoren so angeordnet, dass sie das Niveau des unteren Totpunkts für eine Struktur (zum Beispiel die Gleitbacke, wie zuvor beschrieben, obwohl auch andere Strukturen möglich sind) im Motor bestimmen, die am Kreuzkopf befestigt ist oder sich damit mitbewegt, wobei ein indirekter Messwert des unteren Totpunkts für den Kreuzkopf bestimmt wird. Demnach ermöglicht das Messen des Niveaus des unteren Totpunkts für solch eine Struktur eine Bestimmung von Abweichungen und Änderungen der Niveaus der unteren Totpunkte für einen Kreuzkopf.

**[0048]** Alternativ können die Sensoren 170 unterschiedlich angeordnet sein, und sie können sogar in Positionen angeordnet sein, die nicht in Übereinstimmung mit der Welle sind. Vorzugsweise sind sie jedoch parallel zur Welle angeordnet. Ausserdem sind die Sensoren vorzugsweise entlang einer Parallelen zur Welle axial beabstandet angeordnet, da dies ein Bestimmen ermöglicht, dass der Verschleiss im Hauptlager 140 ist.

**[0049]** Die Sensoren sind demnach so konfiguriert, dass sie eine Messung des Niveaus des untersten Punktes, d.h. des unteren Totpunkts, für den Kreuzkopf 130 während einer Umdrehung des Motors 100 bereitstellen.

**[0050]** Wie für einen Fachmann zu erkennen sein dürfte, gibt es eine Anzahl von Alternativen dafür, wie ein Sensor 170, wie beispielsweise ein optischer Näherungssensor oder ein kapazitätsmessender Näherungssensor, zu implementieren ist.

**[0051]** Fig. 2 veranschaulicht den allgemeinen Aufbau eines Lagers 200 mit einem Kern 210 aus einem Hartmetall, wie beispielsweise Stahl, und einer Gleitflächenwand 220 aus einem weicheren Metall, wie beispielsweise Weissmetall oder Zinn-Aluminium.

**[0052]** Die Dicke der Gleitfläche liegt üblicherweise im Bereich von 1,0 bis 1,5 mm, und die Sensoren 170 sind ausgelegt, um die Distanz oder das Niveau mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,01$  mm wiederholt zu messen.

**[0053]** Eine Steuerung ist mit den Sensoren 170 verbunden und so ausgelegt, dass sie die Messungen von den Sensoren 170 empfängt und verarbeitet, um den Verschleiss der Lager zu messen. Die Messung des Verschleisses basiert auf der Tatsache, dass jegliche Änderung der Dicke der Lagerwand 220 im belasteten Teil eines dieser Lager 140, 150, 160 (infolge von Verschleiss oder Festfressen) zu einer entsprechenden Änderung des Niveaus des unteren Totpunkts (BDC) eines oder mehrerer der Kreuzköpfe 130 in Bezug auf die Struktur des Motors 100 führt. Im Falle eines Verschleisses des Kurbelzapfenlagers 150 oder des Kreuzkopflagers 160 ändert sich das BDC-Niveau des betreffenden Zylinders, während sich im Falle eines Verschleisses des Hauptlagers 140 das BDC-Niveau eines Sensors 170 in einem Zylinder und eines Sensors im benachbarten Zylinder ändert.

**[0054]** Das Signal von den Sensoren 170 enthält einen bestimmten Rauschpegel, der die Genauigkeit der Messwerte der Sensoren beeinflusst.

**[0055]** Ein anderer Faktor, der die Genauigkeit der Sensoren beeinflusst, ist, dass das tatsächliche BDC-Niveau der Gleitbacke oder des Kreuzkopfes infolge geringfügiger Unregelmässigkeiten der Motorparameter, wie beispielsweise Zünddruck usw., leicht variiert.

**[0056]** Ein weiterer Faktor, der das Signal beeinflusst, ist die Motordrehzahl, d.h. die Umdrehungen pro Minute (U/min) für den Motor 100.

**[0057]** Ein anderer Faktor, der das Signal beeinflusst, ist das Propellersteigniveau.

**[0058]** Ein weiterer Faktor, der das Signal beeinflusst, ist die Last, der der Motor ausgesetzt ist. Ein Beispiel für solch eine Last ist die Frachtlast, die von einem Schiff befördert wird.

**[0059]** Die sind allesamt Beispiele für Motorbetriebsbedingungen, und es ist zu erwähnen, dass, auch wenn die folgende Beschreibung den Schwerpunkt auf das Kompensieren der Motordrehzahlen legt, die Lehren auch auf ein Kompensieren der anderen Betriebsbedingungen allein oder in Kombination angewendet werden können.

**[0060]** Andere Faktoren, wie beispielsweise Schiffskörperverformung aus unterschiedlichem Tiefgang des Schiffes und Motortemperatur, können ebenso eine Auswirkung auf das BDC-Niveau haben wie Variationen im Herstellungsprozess von verschiedenen Motorteilen.

**[0061]** Faktoren, wie beispielsweise Signalstreuung der Lager, können ebenfalls eine Auswirkung auf die gemessenen BDC-Niveaus haben.

**[0062]** Das Verfahren und die Vorrichtung, die hierin offenbart werden, sind so ausgelegt, dass sie Faktoren wie die zuvor erwähnten und andere berücksichtigen und eine zuverlässige Messung des Verschleisses von Lagern in einem Motor bereitstellen.

**[0063]** Fig. 3 stellt ein Flussdiagramm für ein allgemeines Verfahren der Ausführungsformen hierin dar.

**[0064]** In einem ersten Schritt 310 werden von der Steuerung Signale von den Sensoren 170 erfasst. Die Signale werden dann durch Kompensieren verschiedener Faktoren verarbeitet und durch Berechnen von Abweichungen korrigiert, 320, und die Ergebnisse werden ausgewertet, 330, woraufhin bestimmt wird, ob eine Warnung ausgegeben werden sollte oder nicht.

**[0065]** Es gibt viele Faktoren, die den Verschleiss eines Lagers in einem Motor während des Betriebs beeinflussen. Wenn ein Motor einen Ausfall zu verzeichnen hat, ist es wichtig, die Quelle für die Störung zu isolieren. Im Falle von Verschleiss

eines Lagers ist es wichtig, die Ursache für den erhöhten Verschleiss des Lagers zu verstehen, da ein neues Ersatzlager sonst höchstwahrscheinlich ebenfalls vorzeitig abgenutzt werden würde.

**[0066]** Wie bereits erwähnt, ermöglicht die Verwendung von zwei Sensoren für jeden Zylinder es einem Bediener bekanntlich, die Position des Lagers zu isolieren, das abgenutzt wird.

**[0067]** Das Identifizieren, welches Lager ersetzt werden muss, hilft bei der Ersetzung, da die Techniker wissen, wo der Motor zu öffnen ist, und keine unnötige Arbeit verrichten müssen, um zu versuchen, das betreffende Lager herauszufinden.

**[0068]** Wie jedoch von den Erfindern dieser Anmeldung erkannt wurde, können den Messwerten dieser beiden Sensoren weitere Informationen entnommen werden, wobei diese Informationen auch für die Identifizierung der Ursache des (erhöhten) Verschleisses nützlich sind, und dies ermöglicht es einem Techniker, das Problem zu beheben und erhöhten Verschleiss für das Ersatzlager zu verhindern.

**[0069]** Die weiteren Informationen können ausserdem verwendet werden, um Situationen Rechnung zu tragen, in welchen mehrere oder alle der Sensoren betroffen sind, ohne dass irgendein Schaden vorhanden ist.

**[0070]** Wie im Folgenden dargestellt wird, können die entnommenen Informationen ausserdem verwendet werden, um zu verhindern, dass ein Lager abgenutzt wird, indem eine Frühwarnung ausgegeben wird, die es Bedienern ermöglicht, die Ursache des Verschleisses zu beheben, bevor das Lager abgenutzt ist, wodurch ein Motorausfall und die daraus resultierende Stillstandszeit für diesen Motor verhindert werden.

**[0071]** Die Vorrichtung und das Verfahren dieser Offenbarung sind demnach äusserst vorteilhaft, da sie die Identifizierung der Ursache für den erhöhten Verschleiss ermöglichen und Fehler voraussagen können, und dies ohne zusätzliche Sensoren erreichen.

**[0072]** Das System kann daher durch einfaches Anschliessen einer aufgerüsteten Steuerung oder möglicherweise durch Aktualisieren der bestehenden Steuerung problemlos in bestehende Motoren mit zwei installierten Sensoren integriert werden.

**[0073]** Den grössten Einfluss auf das BDC-Niveau hat die Motordrehzahl, und der Signalwert, der von den Sensor(en) empfangen wird, muss für die Motordrehzahl kompensiert werden oder das BDC-Niveau ist niedriger, wenn die Motordrehzahl zunimmt, und die Verschleissüberwachung signalisiert fälschlicherweise, dass die Lager abgenutzt sind.

**[0074]** Je nach der verwendeten Motordrehzahl, die von der Motorgrosse abhängt, kann eine Variation von mehr als 0,3 mm im BDC-Niveau vorliegen. Daher ist eine Kompensation dieses Einflusses erforderlich. Da der Einfluss für jede Installation abhängig von der Anordnung und Ausrichtung der Wellenleitung usw. individuell ist, muss die Kompensation für jeden Sensor individuell für jede Installation festgelegt werden.

**[0075]** Der Signalwert wird für die Motordrehzahl kompensiert durch die Verwendung einer Nachschlagetabelle mit BDC-Niveaus für jeden Sensor für einen grossen Bereich von Drehzahlen.

**[0076]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie die Drehzahl basierend auf einer Nachschlagetabelle kompensiert, welche die normalen oder mittleren Signalwerte in Abhängigkeit von der Drehzahl oder U/min (Referenzwerte) enthält.

**[0077]** Der normale Wert kann sich innerhalb einer kleinen Änderung der Motordrehzahl erheblich ändern.

**[0078]** In einer Ausführungsform hat die Nachschlagetabelle eine Auflösung, die der Unterteilung des Drehzahlbereichs der Nenndrehzahl des Motors in Teilbereiche entspricht, welche hierin im Folgenden als Drehzahlpunkte bezeichnet werden.

**[0079]** In einer Ausführungsform entspricht der Drehzahlbereich dem Bereich von 0 % bis 120 % der Nenndrehzahl des Motors.

**[0080]** In einer Ausführungsform entspricht der Drehzahlbereich dem Bereich von 20 % bis 110 % der Nenndrehzahl des Motors.

**[0081]** In einer Ausführungsform wird der Bereich unter 20 % der Nenndrehzahl des Motors nicht zum Überwachen von Verschleiss in Lagern berücksichtigt.

**[0082]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie berücksichtigt, ob der Motor rückwärts laufen gelassen wird oder nicht.

**[0083]** Aufgrund der Drehzahlkompensation ist die Messung, die von der Steuerung berücksichtigt wird, nicht das tatsächliche BDC-Niveau, sondern die Differenz zwischen dem gemessenen BDC-Niveau und dem mittleren BDC-Niveau bei der aktuellen Motordrehzahl. Dies ermöglicht ein Erkennen einer anomalen oder unerwarteten Änderung des BDC-Niveaus, die auf den Verschleiss der Lager zurückzuführen ist.

**[0084]** Demnach sollte die Verarbeitung des Signals, das vom Sensor empfangen wird, auf einem kompensierten Wert für das Signal basieren.

In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie einen kompensierten Signalwert durch Subtrahieren eines Referenzwerts vom empfangenen Signalwert bestimmt:

$$S_{\text{comp}} = S_N - S_{\text{ref}}$$

**[0085]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so ausgelegt, dass sie die Sensorwerte filtert.

**[0086]** Zum Minimieren des Einflusses von Rauschen werden die Werte gefiltert, die durch die Sensoren 170 bereitgestellt werden, wobei in einer Ausführungsform ein Tiefpassfilter verwendet wird.

In einer Ausführungsform ein einfaches Filter, wobei ein gleitender Mittelwert für jeden Sensorwert aktualisiert wird, das heisst, einmal für jede Motorumdrehung. In einer Ausführungsform wird das Filter ausgedrückt als:

**[0087]** Neuer gefilterter Wert = Alter gefilterter Wert\*(1-x) + Wert \* x

**[0088]** Der Wert von x beeinflusst, wie schnell die Steuerung auf Änderungen reagiert. Ein hoher Wert bewirkt, dass die Steuerung sehr empfindlich für Änderungen und daher auch für Rauschen ist, während niedrige Werte von x zu einer langsamen Reaktion auf ein tatsächliches Ereignis führen. In einer Ausführungsform ist  $X = 0,05$ .

**[0089]** Einige Faktoren beeinflussen alle Sensoren gemeinsam, und die Signale, die von den beeinflussten Sensoren empfangen werden, werden möglicherweise nicht korrekt interpretiert.

**[0090]** Ein solcher Faktor ist eine geänderte Motortemperatur.

**[0091]** Um zwischen solchen Änderungen und einer Änderung infolge eines erhöhten Verschleisses eines Lagers zu unterscheiden, wird eine Abweichung für jeden Sensorwert berechnet.

**[0092]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Abweichung des Signals eines Sensors im Vergleich zu den Werten der anderen Sensoren durch Subtrahieren des Mittelwerts der anderen Signale von dem einzelnen Signal berechnet.

**[0093]** Die Sensorabweichung ( $d(S_i)$ ) für Sensor 5 ( $S_5$ ) aus einem Gesamtsatz von 8 Sensoren  $S_1$  bis  $S_8$  (entsprechend einem Vierzylinder-Motor) kann ausgedrückt werden als:

$$d(S_5) = S_5 - (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_6 + S_7 + S_8)/7$$

**[0094]** Ein anderer Faktor ist der Einfluss einer durch Längsschub gebildeten Verformung der Motorstruktur, welche manchmal durch eine Variation von Schubkräften verursacht wird. In einigen Fällen bewirkt diese Verformung, dass der vordere und der hintere Sensor in einem Zylinder Variationen in Bezug aufeinander aufweisen.

**[0095]** Durch eine genaue Überwachung und Untersuchung von Motoren während des Betriebs und eine sorgfältige Analyse der Ergebnisse kam man zum Schluss, dass die Variation für die beiden Sensoren ist, dass die Signalwerte häufig in Gegenphase sind. Dies bewirkt, dass der Signalwert eines Sensors steigt, wenn der Signalwert für den anderen Sensor sinkt, und umgekehrt. Dies wird im Folgenden als Zylinderabweichung bezeichnet.

**[0096]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie diese Variation durch Bestimmen eines mittleren Sensorwerts für die beiden Sensoren eines Zylinders und Vergleichen derselben mit dem Mittelwert der Sensoren der anderen Zylinder eliminiert.

**[0097]** Die Zylinderabweichung ( $d(cyl_i)$ ) für Zylinder 3 ( $cyl_3$ ) aus einem Gesamtsatz von 4 Zylindern, die zusammen 8 Sensoren  $S_1$  bis  $S_8$  aufweisen, kann ausgedrückt werden als:

$$d(cyl_3) = (S_5 + S_6)/2 - (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_7 + S_8)/6$$

**[0098]** Sowohl die Zylinder- als auch die Sensorabweichung verringert den Einfluss von Signalstreuung. Die Zylinderabweichung ist jedoch effizienter bei der Verringerung der Signalstreuung.

**[0099]** Daher ist ein Berechnen der Zylinderabweichung zur Verringerung der Signalstreuung sinnvoll.

**[0100]** Zylinderabweichungen sind weniger empfindlich für Situationen, in welchen nur ein Sensor Schaden an einem Lager registriert, da die registrierte Änderung während der Berechnung der Abweichung halbiert werden würde.

**[0101]** Daher wird bevorzugt, sowohl die Zylinder- als auch die Sensorabweichung zu berechnen, um eine zuverlässige Erkennung von Schaden an einem Lager zu ermöglichen.

**[0102]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie sowohl eine Zylinder- als auch eine Sensorabweichung berechnet.

**[0103]** Ein Beispiel einer Situation, in welcher mehr als ein Sensor betroffen ist, ist, wenn mehr als ein Lager beschädigt ist. Dies kann die Folge eines gemeinsamen Erosionsprozesses sein, der mehrere oder alle Lager verschlechtert. Solch eine Situation kann die Folge von verunreinigtem Öl oder eines Ausfalls der Ölzufuhr sein.

**[0104]** Solch eine Situation ist aus den Zylinder- und Sensorabweichungen nicht leicht zu erkennen, da die Wirkungen durch den Mittelungsprozess dieser Berechnungen aufgehoben werden würden.

**[0105]** Es ist jedoch möglich, solch eine Situation aus dem motordrehzahlkompensierten Wert für jedes Signal zu erkennen.

**[0106]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Zylinderabweichung, eine Sensorabweichung und einen motordrehzahlkompensierten Signalwert berechnet.

**[0107]** In einer Ausführungsform gemäss dem Vorhergesagten ist eine Steuerung demnach so konfiguriert, dass sie Informationen aus den Signalwerten unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren extrahiert, welche die Zuverlässigkeit der Sensormesswerte beeinflussen.

**[0108]** Eine Steuerung einer Vorrichtung gemäss dem hierin Gesagten ist demnach in der Lage, zuverlässige Messwerte zur Überwachung des Verschleisses eines Lagers in einem Motor zu erzeugen.

**[0109]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie die Messwerte auswertet und bestimmt, ob ein Schaden bevorsteht oder gleich stattfindet.

**[0110]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie den aktuellen Messwert für einen Zylinder oder ein Lager mit einem Mittelwert vergleicht, der über eine Zeitperiode ermittelt wurde. In einer Ausführungsform beträgt die Zeitperiode 6 Stunden. In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, dass die Differenz zwischen dem aktuellen Messwert und dem Zeitmittel grösser als ein Schwellenniveau ist, und eine Vorwarnaktion aktiviert, wenn dies der Fall ist. In einer Ausführungsform beträgt die Vorwarngrenze +/-0,25 mm.

**[0111]** Wenn das Vorwarnniveau überschritten wird, ist dies ein Hinweis darauf, dass sich der Zustand eines überwachten Lagers ändert.

**[0112]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Vorwarnung in einer Protokolldatei speichert.

**[0113]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Eingabe empfängt, um die Vorwarnaktion zurückzusetzen.

**[0114]** Wenn erkannt wird, dass der Zustand des Lagers erst begonnen hat sich zu ändern, kann der Motor für wenigstens einige Stunden mehr sehr wohl nicht in Gefahr sein, und es ist daher möglich, die Vorwarnaktion zurückzusetzen und mit dem Betrieb des Motors fortzufahren.

**[0115]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie den aktuellen Messwert für einen Zylinder oder ein Lager mit einer Alarmschwelle vergleicht. Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie einen Alarm aktiviert, wenn solch eine Schwelle überschritten wird.

**[0116]** Ein Alarm ist ein Hinweis darauf, dass das betreffende Lager beginnt, abgenutzt zu werden, oder kurz davorsteht, abgenutzt zu werden, und überprüft werden sollte.

**[0117]** In einer Ausführungsform beträgt der Alarmschwellenwert für einen Sensorwert +/- 0,5 mm.

**[0118]** In einer Ausführungsform beträgt der Alarmschwellenwert für eine Sensorabweichung +/- 0,4 mm.

**[0119]** In einer Ausführungsform beträgt der Alarmschwellenwert für eine Zylinderabweichung +/- 0,3 mm.

**[0120]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung konfiguriert, die Alarmaktion in einer Protokolldatei zu speichern.

**[0121]** Sollte eine grössere Änderung erkannt werden, kann eine Anforderung ausgegeben werden, die Motordrehzahl zu verlangsamen. Da die Motordrehzahl den grössten Einfluss auf die Lagerlast und den Verschleiss der Lager hat, ist es in einigen Situationen möglich, einen Motorausfall, der von beschädigten Lagern resultiert, durch Verlangsamen des Motors zu verzögern oder zu verhindern. In gravierenden Fällen muss der Motor vollständig angehalten werden, um einen Ausfall zu verhindern.

**[0122]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie den aktuellen Messwert für einen Zylinder oder ein Lager mit einer Verlangsamungsschwelle vergleicht. Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie eine Anforderung für eine Verlangsamung ausgibt, wenn solch eine Schwelle überschritten wird. In einer Ausführungsform beträgt der Schwellenwert für einen Sensorwert +/- 0,7 mm. In einer Ausführungsform beträgt der Verlangsamungsschwellenwert für eine Sensorabweichung +/-0,5 mm.

**[0123]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie die Motordrehzahl nach solch einer Verlangsamungsanforderung automatisch verlangsamt.

**[0124]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie den Motor nach solch einer Verlangsamungsanforderung automatisch anhält.

**[0125]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Verlangsamungsanforderung in einer Protokolldatei speichert.

**[0126]** Fig. 4 veranschaulicht ein allgemeines Verfahren zur Überwachung des Verschleisses eines Lagers gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Anmeldung.

**[0127]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie die Schritte von Fig. 4 für alle Sensoren parallel ausführt.

**[0128]** In einer Ausführungsform ist eine Steuerung so konfiguriert, dass sie die Schritte von Fig. 4 für einen Zylinder ausführt. In einer solchen Ausführungsform weist jeder Zylinder eine Steuerung auf. In einer solchen Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie Signalwerte von Steuerungen für andere Zylinder empfängt.

[0129] In einem ersten Schritt 410 wird ein Wert oder Signal  $S_N$  durch die Steuerung empfangen.

[0130] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie einen Kompensationswert durch Subtrahieren des empfangenen Signals mit einem Referenzwert berechnet (420):

$$S_{\text{comp}} = S_N - S_{\text{ref}}$$

[0131] In einer Ausführungsform ist die Steuerung ferner so konfiguriert, dass sie ein Filter anwendet, um Rauschen im empfangenen Signal zu reduzieren, 430.

[0132] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Sensorabweichung  $d(S_{\text{sensor}})$  berechnet:  
 $d(S_{\text{sensor}}) = S_{\text{sensor}} - \text{Mittelwert anderer Sensoren}$

[0133] In einer Ausführungsform ist die Steuerung ausserdem so konfiguriert, dass sie eine Zylinderabweichung  $d(\text{cylinder})$  berechnet:

$$d(\text{cylinder}) = (S_{\text{cylinder, vorne}} + S_{\text{cylinder, hinten}}) / 2 - \text{Mittelwert anderer Sensoren}$$

[0134] In Fig. 4 werden beide Abweichungen in Schritt 440 berechnet.

[0135] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Alarmschwelle für den Sensorwert überschritten wird, 450, und einen Alarm aktiviert, 460, wenn dies der Fall ist.

[0136] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Alarmschwelle für die Sensorabweichung überschritten wird, 450, und einen Alarm aktiviert, 460, wenn dies der Fall ist.

[0137] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Alarmschwelle für die Zylinderabweichung überschritten wird, 450, und einen Alarm aktiviert, 460, wenn dies der Fall ist.

[0138] In Fig. 4 werden alle drei Bestimmungen in Bezug auf die Alarmgrenzen durchgeführt, 450.

[0139] Die Steuerung ist ferner so konfiguriert, dass die Steuerung, wenn sie bestimmt, dass ein Alarm zu aktivieren ist, das Ereignis in einer Protokolldatei speichert, 460.

[0140] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob eine Verlangsamungsgrenze für eine Sensorabweichung überschritten wird, 480, und eine Anforderung für eine Verlangsamungsprozedur aktiviert, 490, wenn dies der Fall ist.

[0141] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie zu Schritt 410 zurückkehrt, um einen neuen Signalwert zu empfangen.

[0142] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 410 bis 440 für jede Umdrehung ausführt.

[0143] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 450 bis 490 für jede Umdrehung ausführt.

[0144] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 450 bis 490 in Intervallen ausführt. In einer Ausführungsform liegt das Intervall im Bereich von 1 bis 50 Umdrehungen. In einer Ausführungsform liegt das Intervall im Bereich von 10 bis 30 Umdrehungen. In einer Ausführungsform beträgt das Intervall 30 Umdrehungen. Dies ist in Fig. 4 durch die gestrichelte Linie angezeigt.

[0145] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Mittelwert für die Signalwerte für jeden Sensor in Intervallen von 50 Stunden an jedem Drehzahlpunkt neu berechnet. Dies ermöglicht es dem System, sich an Änderungen der Struktur des Motors anzupassen und darauf zu reagieren.

[0146] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob ein Referenzwert für eine beliebige Motordrehzahl um einen Wert geändert wird, der grösser als eine Aktualisierungsschwelle ist, wenn mit dem ersten erhaltenen gültigen Kompensationswert verglichen, und einen dies anzeigenden Alarm aktiviert, wenn dies der Fall ist. In einer Ausführungsform beträgt die Aktualisierungsschwelle 0,2 mm.

[0147] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Schwellenwerte für mindestens eines von der Vorwarnung, dem Alarm und der Verlangsamung gemäss dem aktuellen Betrieb des Motors dynamisch ändert.

[0148] Während des Normalbetriebs eines Zweitakt-Grossdieselmotors ist der Motor so eingestellt, dass er für eine lange Zeitperiode bei einer Motordrehzahl läuft. Während dieser Zeitperiode ist die Umgebung des Motors ziemlich stabil. Wenn es zum Beispiel keine Beschleunigungen gibt, gibt es weniger Verformungen infolge von Schubkräften.

[0149] Wenn sich die Motordrehzahl ändert, wird die Umgebung weniger stabil, was das BDC-Niveau der Lager beeinflusst, und diese BDC-Niveaus ändern sich und/oder schwanken dementsprechend. Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie während solcher Zeitperioden die Schwellenniveaus anhebt, um solchen Änderungen Rechnung zu tragen, ohne Alarm zu schlagen.

[0150] Ein Beispiel einer anderen Situation, welche die Motorumgebung oder den Betriebs des Motors beeinflusst, ist, wenn die Last eines Schiffes, das durch den Motor angetrieben wird, zunimmt und das Schiff tiefer im Wasser liegt.

[0151] Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie die Schwellenwerte senkt, wenn der Betrieb des Motors, möglicherweise bei einer neuen Motordrehzahl, wieder stabil wird.

**[0152]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie das mindestens eine Schwellenniveau nach Ablauf einer Verzögerungszeit senkt. Dies ermöglicht es, dass Nachwirkungen der Änderungen im Betrieb Rechnung getragen wird, ohne unnötigerweise Alarm zu schlagen.

**[0153]** In einer Ausführungsform sind zwei Sensoren in jedem Zylinder angeordnet, ein vorderer und ein hinterer Sensor, und die Steuerung ist, wie bereits erwähnt, so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob ein Hauptlager oder ein Kreuzkopf- und/oder Kurbelzapfenlager abgenutzt ist. Um zu bestimmen, dass ein Hauptlager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, wird der vordere Sensor eines ersten Zylinders mit dem hinteren Sensor eines zweiten Zylinders verglichen. Um zu bestimmen, dass ein Kreuzkopf- und/oder Kurbelzapfenlager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, wird der vordere Sensor eines ersten Zylinders mit dem hinteren Sensor desselben Zylinders verknüpft.

**[0154]** Es sind daher zwei Sensormesswerte für das Hauptlager und für das Kreuzkopf- und/oder das Kurbelzapfenlager verfügbar.

**[0155]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die beiden Sensormesswerte verknüpft und das Ergebnis der beiden Sensormesswerte mit einem Alarmschwellenniveau vergleicht.

**[0156]** Für eine Ausführungsform mit 4 Zylindern, die jeweils mit zwei Sensoren angeordnet sind, was eine Gesamtzahl von 8 Sensoren ergibt, die als  $(S_{F1}; S_{A1})$ ,  $(S_{F2}; S_{A2})$ ,  $(S_{F3}; S_{A3})$  und  $(S_{F4}; S_{A4})$  bezeichnet sind, wobei  $S_{F1}$  der vordere Sensor für Zylinder 1 ist, und  $S_{A1}$  der hintere Sensor für Zylinder 1 ist, wobei Zylinder 1 der Zylinder ist, der dem Motorausgang am nächsten ist (mit anderen Worten, Zylinder 1 ist der hinterste Zylinder in diesem Beispiel), ist der verknüpfte Sensorwert  $S_{M12}$  für das Hauptlager zwischen Zylinder 1 und 2:

$$S_{M12} = S_{F1} + S_{A2}; \text{ und}$$

der verknüpfte Sensorwert  $S_{CC1}$  für das Kreuzkopf- und/oder Kurbelzapfenlager von Zylinder 1 ist:

$$S_{CC1} = S_{F1} + S_{A1}.$$

**[0157]** In einer Ausführungsform werden die Sensorwerte wie zuvor durch Subtrahieren eines Referenzwerts kompensiert. In einer solchen Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Werte der kompensierten Sensorwerte summiert und den absoluten Wert der Summe berechnet.

**[0158]** Für das Hauptlager zwischen Zylinder 1 und 2 ist  $S_{M12}$  dann:

$$S_{M12} = | S_{F1} - S_{F1ref} + S_{A2} - S_{A2ref} |$$

**[0159]** Durch Vergleichen der Summe der beiden Sensoren wird die Empfindlichkeit der Messung weiter erhöht, da jegliche Änderung des BDC-Niveaus vor dem Vergleich verdoppelt wird, was vorteilhaft ist, da die Differenzen so klein sind.

**[0160]** Es ist zu erwähnen, dass die Schwellenniveaus für den Alarm, die Vorwarnung und die Verlangsamung für einzelne Sensorwerte nicht gleich sind, wie sie für verknüpfte Sensorwerte sind.

**[0161]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine schnelle Änderung der Sensorwerte erkennt.

**[0162]** Während des Betriebs des Motors ist eine kleine Änderung des BDC-Niveaus mit der Zeit zu erwarten, da die Lager abgenutzt werden. Diese Änderungen erfolgen jedoch sehr langsam und sind schwer zu unterscheiden von anderen Änderungen, wie beispielsweise einer geänderten Motorumgebung (Temperatur, Schubkräfte usw.), und die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie sich auf das BDC-Niveau statt auf die Niveauänderung konzentriert.

**[0163]** Eine schnelle Änderung des BDC-Niveaus jedoch kann ein Hinweis darauf sein, dass etwas gleich schiefgehen wird. Eine solche Situation ist, wenn Verunreinigung in das Ölsystem eingetreten ist und die Lager schneller abgenutzt werden.

**[0164]** Auch wenn die Änderung noch innerhalb der tolerierbaren Grenzen (unter den Grenzwerten für die verschiedenen Alarme) ist, kann die Geschwindigkeit der Änderung zu einem gravierenden Schaden führen, wenn diese nicht rechtzeitig gestoppt wird, und in einigen Fällen kann es zu spät sein, wenn Alarm geschlagen wird, wenn die Änderung schnell ist.

**[0165]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine schnelle Änderung des BDC-Niveaus durch Vergleichen der Sensorwerte mit einem vorherigen, aber neulichen Niveau erkennt. Dies ermöglicht es der Steuerung, zu bestimmen, ob in der letzten Zeitperiode eine signifikante Änderung vorliegt, auch wenn diese Änderung durchaus innerhalb der Toleranzgrenzen ist.

**[0166]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie durch Durchführen einer arithmetischen Analyse durch Vergleichen der Sensorwerte mit mindestens einer vorherigen Zeitperiode bestimmt, ob eine schnelle Änderung stattfindet (siehe unten).

**[0167]** Ein Vorteil der arithmetischen Analyse ist, dass die Kompensationstabelle fein abgestimmt wird.

**[0168]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie durch Durchführen einer exponentiellen Analyse durch Vergleichen der Sensorwerte mit einem gleitenden Referenzniveau bestimmt, ob eine schnelle Änderung stattfindet (siehe weiter unten).

**[0169]** Ein Vorteil der exponentiellen Analyse ist, dass sie kein Speichern von vielen Werten erfordert und daher schneller und betriebsmittelfreundlicher ist.

**[0170]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine schnelle Änderung des BDC-Niveaus durch Vergleichen der Sensorwerte mit einem mittleren Niveau für eine vorherige kurze Zeitperiode erkennt.

**[0171]** In einer Ausführungsform ist diese Zeitperiode im Intervall von 1 bis 20 Minuten. In einer Ausführungsform ist diese Zeitperiode im Intervall von 1 bis 10 Minuten. In einer Ausführungsform ist diese Zeitperiode im Intervall von 5 bis 10 Minuten. In einer Ausführungsform beträgt diese Zeitperiode 10 Minuten. In einer Ausführungsform beträgt diese Zeitperiode 5 Minuten.

**[0172]** In einer Ausführungsform geht die Zeitperiode, mit der verglichen wird, dem Messen um eine zweite Zeitperiode voran. In einer Ausführungsform ist diese zweite Zeitperiode im Intervall von 1 bis 20 Minuten. In einer Ausführungsform ist diese Zeitperiode im Intervall von 1 bis 10 Minuten. In einer Ausführungsform beträgt diese Zeitperiode 5 Minuten. In einer solchen Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die aktuellen Messungen mit einem mittleren Niveau einer ersten Zeitperiode vergleicht, die der aktuellen Zeit um eine zweite Zeitperiode vorangeht. In einem Beispiel, in dem die erste Zeitperiode 10 Minuten beträgt und die zweite Zeitperiode 5 Minuten beträgt, wird eine Messung zum Zeitpunkt T mit dem Mittelwert während T-5 und T-15 verglichen.

**[0173]** Eine Steuerung ist so konfiguriert, dass sie, um fehlerhaften Messwerten und anderen kurzen Schwankungen Rechnung zu tragen, in einer Ausführungsform den Mittelwert der letzten Messwerte mit dem Mittelwert von Sensorsignalen der vorherigen Zeitperiode vergleicht.

**[0174]** In einer Ausführungsform umfasst der Satz eine Anzahl von letzten empfangenen Sensorwerten, wobei die Anzahl im Bereich von 5 bis 10 liegt. In einer Ausführungsform umfasst der Satz die letzten fünf der empfangenen Sensorwerte. In einer Ausführungsform umfasst der Satz die letzten zehn der empfangenen Sensorwerte.

**[0175]** Eine Steuerung ist so konfiguriert, dass sie, um fehlerhaften Messwerten und anderen kurzen Schwankungen Rechnung zu tragen, in einer Ausführungsform den Mittelwert der letzten fünf Messwerte mit dem Mittelwert der vorherigen Zeitperiode vergleicht.

**[0176]** Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie eine Änderungsrate aus der Differenz zwischen dem mittleren Niveau einer vorherigen Zeitperiode und dem aktuellen (mittleren) Niveau bestimmt.

**[0177]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Differenz ein Schwellenniveau überschreitet, und die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie eine Meldung an einen Bediener ausgibt, wenn dies der Fall ist. In einer Ausführungsform beträgt das Schwellenniveau 0,2 mm.

**[0178]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Differenz ein Schwellenniveau überschreitet, und die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie eine Meldung an ein Protokoll ausgibt, wenn dies der Fall ist.

**[0179]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Differenz ein Schwellenniveau überschreitet, und die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie Alarm schlägt, wenn dies der Fall ist.

**[0180]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Differenz ein Schwellenniveau überschreitet, und die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie eine Verlangsamung anfordert, wenn dies der Fall ist.

**[0181]** In solchen Situationen kann demnach ein früher Hinweis gegeben werden, der einen ernststen Motorausfall möglicherweise verhindern kann.

**[0182]** Erkennen von schnellen Änderungen durch exponentielle Analyse In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine exponentielle Analyse der Sensorwerte durchführt und bestimmt, ob ein Alarm ausgegeben werden sollte oder nicht.

**[0183]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie ein Referenzniveau bestimmt und ein gegenwärtiges Zustandsniveau durch Berechnen von exponentiellen Mittelwerten bestimmt.

**[0184]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie ein Referenzniveau  $S_{\text{reflevel}}$  durch Aktualisieren einer alten Referenz mit einem kompensierten Wert  $S_{\text{comp}}$  unter Verwendung eines Tiefpassfilters mit einem Aktualisierungsfaktor aktualisiert.

**[0185]** In einer Ausführungsform wird dies ausgedrückt als:

$$S_{\text{reflevel,neu}} = S_{\text{reflevel,alt}} * (1-x) + S_{\text{comp}} * x$$

wobei x der Aktualisierungsfaktor ist.

**[0186]** Das Referenzniveau ist eine Darstellung des aktuellen normalen Niveaus und sollte demnach verhältnismässig langsam reagieren. Daher sollte der Aktualisierungsfaktor so gewählt werden, dass er klein ist. In einer Ausführungsform wird der Aktualisierungsfaktor so gewählt, dass er 0,0001 ist.

**[0187]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie ein gegenwärtiges Zustandsniveau  $S_{\text{pres}}$  durch Aktualisieren eines alten gegenwärtigen Zustands mit einem kompensierten  $S_{\text{comp}}$  unter Verwendung eines Tiefpassfilters mit einem Aktualisierungsfaktor aktualisiert.

**[0188]** In einer Ausführungsform wird dies ausgedrückt als:

$$S_{\text{pres,neu}} = S_{\text{pres,alt}} * (1-y) + S_{\text{comp}} * y$$

wobei y der Aktualisierungsfaktor ist.

**[0189]** Das gegenwärtige Zustandsniveau ist eine Darstellung des gegenwärtigen Zustands des BDC-Niveaus und sollte demnach verhältnismässig schnell reagieren, um auf schnelle Änderungen zu reagieren. Daher sollte der Aktualisierungsfaktor so gewählt werden, dass er gross ist. In einer Ausführungsform wird der Aktualisierungsfaktor y so gewählt, dass er 0,2 ist.

**[0190]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie auch einen Referenzwert  $S_{\text{refvalue}}$  berechnet. In einer Ausführungsform ist der Referenzwert die Differenz zwischen dem Referenzniveau und dem gegenwärtigen Zustand:

$$S_{\text{refvalue}} = S_{\text{pres}} - S_{\text{reflevel}}$$

**[0191]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Referenzwert analysiert, um zu bestimmen, ob Alarm geschlagen werden sollte.

**[0192]** Fig. 9 stellt ein Verfahren zur Erkennung von schnellen Änderungen von BDC-Niveaus in Lagern unter Verwendung von exponentiellen Algorithmen gemäss den Ausführungsformen hierin dar.

**[0193]** Ein Signal, das ein BDC-Niveau darstellt, wird empfangen und in Schritt 910 und 920 gemäss einer Tabelle zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen kompensiert.

**[0194]** In Schritt 930 werden die Berechnungen für das Referenzniveau, den gegenwärtigen Zustand und den Referenzwert durchgeführt, wie zuvor beschrieben.

**[0195]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Referenzwert eines einzigen Sensors analysiert, um zu bestimmen, dass eine schnelle Änderung stattfindet. Es wird bestimmt, dass die schnelle Änderung stattfindet, wenn der Referenzwert einen Schwellenwert überschreitet. In Fig. 9 werden diese Berechnungen in Schritt 960 durchgeführt.

**[0196]** Das Bestimmen von Verschleiss aus dem Messwert nur eines Sensors ermöglicht eine Erkennung von ungleichmässigem Verschleiss (in Axialrichtung) eines Lagers.

**[0197]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für nur einen Sensor 120.

**[0198]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für nur einen Sensor über 120.

**[0199]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für nur einen Sensor über 110.

**[0200]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Summe der Referenzwerte von Sensoren eines einzigen Zylinders analysiert, um zu bestimmen, dass eine schnelle Änderung stattfindet. Es wird bestimmt, dass die schnelle Änderung stattfindet, wenn die Summe einen Schwellenwert überschreitet. Die schnelle Änderung könnte im Kurbelzapfen oder dem Kreuzkopflager des Zylinders sein. In Fig. 9 werden diese Berechnungen im (alternativen) Schritt 940 durchgeführt und die Bestimmung, ob eine Alarmgrenze überschritten wird oder nicht, in Schritt 960.

**[0201]** Das Bestimmen von Verschleiss aus den Messwerten von zwei Sensoren ermöglicht eine schnelle Erkennung von Verschleiss eines Lagers, da die beiden Messwerte gleichzeitig wachsen und ihre Summe demnach zweimal so schnell wächst. Um dem Rechnung zu tragen, dass die Summe grösser als die zwei einzelnen Sensormesswerte ist, ist in einer Ausführungsform das Schwellenniveau für eine Summe grösser als das Schwellenniveau für einen einzigen Sensor.

**[0202]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für Sensoren in einem Zylinder 170.

**[0203]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für Sensoren in einem Zylinder über 170.

**[0204]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für Sensoren in einem Zylinder über 160.

**[0205]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Summe eines Referenzwerts eines Sensors von einem Zylinder mit einem Referenzwert eines Sensors in einem benachbarten Zylinder analysiert, um zu bestimmen, dass eine schnelle Änderung stattfindet. Es wird bestimmt, dass die schnelle Änderung stattfindet, wenn die Summe einen Schwellenwert überschreitet. Die schnelle Änderung könnte im Hauptlager zwischen den beiden Zylindern sein. In Fig. 9 werden diese Berechnungen im (alternativen) Schritt 950 durchgeführt und die Bestimmung, ob eine Alarmgrenze überschritten wird oder nicht, in Schritt 960.

**[0206]** Das Bestimmen von Verschleiss aus Messwerten von zwei Sensoren von zwei verschiedenen Zylindern ermöglicht eine noch schnellere Erkennung von Verschleiss eines Hauptlagers, da die beiden Messwerte schneller zu wachsen scheinen als die Sensoren in der Zylindersumme. Dies stellt demnach eine zusätzliche Sicherheit bereit. Um Rechnung zu tragen, dass die Summe schneller als die Zylindersumme wächst, ist in einer Ausführungsform das Schwellenniveau für die benachbarten Zylinder grösser als das Schwellenniveau für die Zylindersumme.

**[0207]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für Sensoren in benachbarten Zylindern 220.

**[0208]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für Sensoren in benachbarten Zylindern über 220.

**[0209]** In einer Ausführungsform ist das Schwellenniveau für Sensoren in benachbarten Zylindern über 210.

[0210] Es ist zu erwähnen, dass all diese Schritte (940 und 950) nicht ausgeführt zu werden brauchen.

[0211] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Alarmanforderung(nicht dargestellt) ausgibt, wenn bestimmt wird, dass eine schnelle Änderung stattgefunden hat (Schritt 965).

[0212] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Verlangsamungsanforderung ausgibt (Schritt 970), wenn bestimmt wird, dass eine schnelle Änderung stattgefunden hat (Schritt (965)). Wenn die Änderungen schnell sind, ist es wichtig, dass Messungen schnell durchgeführt werden, um zu verhindern, dass Schaden entsteht, und eine Verlangsamung stellt das schnellste Mittel gegen die schnelle Änderung bereit.

[0213] In einer Ausführungsform ist die Steuerung ausserdem so konfiguriert, dass sie bewirkt, dass Informationen über die schnellen Änderungen in einer Protokolldatei gespeichert werden (Schritt 980).

[0214] Dies ermöglicht es einer Steuerung, rasch auf schnelle Änderungen zu reagieren, ohne mehrfache Werte für jeden Sensor speichern zu müssen, und weiteren Verschleiss oder Schaden an einem Lager zu verhindern.

[0215] Um Variationen von BDC-Niveaus infolge von Änderungen der Motordrehzahl zu berücksichtigen, kann eine dynamische Alarmgrenze oder ein dynamisches Schwellenniveau bei der Überwachung auf schnelle Änderungen verwendet werden.

[0216] In einer Ausführungsform wird die dynamische Alarmgrenze oder das dynamische Schwellenniveau auf der Basis der Änderung der Motordrehzahl RPM (U/min) berechnet, und das dynamische Schwellenniveau steigt mit zunehmender Motordrehzahl.

[0217] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Eingabe empfängt, welche die aktuelle oder eine neue Drehzahl anzeigt, die als RPMN bezeichnet wird.

[0218] Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie eine Referenzdrehzahl auf der Basis der neuen Drehzahl aktualisiert. In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Referenzdrehzahl durch einen exponentiellen gleitenden Mittelwert aktualisiert, wie in:

$$RPM_{ref,neu} = RPM_{ref,alt} * (1-z) + RPM_N * z$$

[0219] Die Steuerung ist ausserdem so konfiguriert, dass sie eine Änderung der RPM, die als ARPM bezeichnet wird, durch Berechnen des absoluten Wertes der Differenz zwischen der aktuellen Drehzahl RPMN und der Referenzdrehzahl berechnet:

$$\#RPM = |RPM_N - RPM_{ref}|$$

[0220] In einer Ausführungsform ist #RPM so festgelegt, dass sie 3 ist für alle Werte über 3. Dies gewährleistet, dass die Alarmgrenze steigt, ohne zu hoch zu werden.

[0221] Ein Basisschwellenniveau oder eine Basisalarmgrenze, die als Alarm<sub>basic</sub> bezeichnet wird, wird als eine der zuvor auf gelisteten Schwellen bestimmt, je nachdem, welche Sensorkombination überwacht werden soll (einzelner Sensor, gleicher Zylinder oder benachbarter Zylinder).

[0222] In einer Ausführungsform ist die Steuerung ferner so konfiguriert, dass sie ein erstes dynamisches Kandidaten-Schwellenniveau (als Alarm 1 bezeichnet) auf der Basis einer Verstärkungskonstante, die als k bezeichnet wird, berechnet, wie in:

$$\text{Alarm 1} = \text{Alarm}_{basic} (1 + \#RPM * k)$$

[0223] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie das erste Kandidaten-Schwellenniveau als das dynamische Schwellenniveau verwendet.

[0224] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie ein zweites dynamisches Kandidaten-Schwellenniveau (als Alarm 2 bezeichnet) auf der Basis der Anzahl von Motordrehzahlmesswerten, die seit dem letzten Anstieg des Schwellenniveaus empfangen wurden und als H bezeichnet werden, einer Verstärkungskonstante, die als k bezeichnet wird, und einer Verzögerungskonstante, die als # bezeichnet wird, berechnet, wie in:

$$\text{Alarm 2} = \text{Alarm}_{basic} (1 + \#RPM * k * \text{Exp}(-H/\#))$$

[0225] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie das zweite Kandidaten-Schwellenniveau als das dynamische Schwellenniveau verwendet.

[0226] Je höher die Verstärkungskonstante ist, umso schneller steigt das Alarmniveau. Beispiele für die Verstärkungskonstante sind: 0,1, 0,15, 0,2, 0,25 und 0,3. In einer Ausführungsform liegt die Verstärkungskonstante im Bereich von 0,05 bis 0,4.

[0227] Beispiele für die Verzögerungskonstante sind: 190, 200, 210. In einer Ausführungsform liegt die Verzögerungskonstante im Bereich von 150 bis 250.

[0228] In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie ein höchstes Schwellenniveau der Kandidaten-Schwellenniveaus bestimmt und dieses als das dynamische Kandidatenschwellenniveau verwendet:

$$\text{Dynamisches Schwellenniveau} = \max(\text{Alarm 1}, \text{Alarm 2}).$$

**[0229]** Demnach ist eine Steuerung in der Lage, sich an Variationen anzupassen, und trotzdem in der Lage, schnelle Änderungen des Verschleisses eines Lagers zu erkennen.

**[0230]** Es ist zu erwähnen, dass sich die exponentielle Analyse der schnellen Änderungen, wie zuvor erörtert, auch für Viertakt-Motoren eignet. In einer Ausführungsform ist der Motor ein Zweitakt-Motor. In einer Ausführungsform ist der Motor ein Viertakt-Motor.

**[0231]** Um alle veränderlichen Faktoren bei der Überwachung eines Motors zu berücksichtigen, wird die Überwachungs-vorrichtung zuerst während einer Lernphase kalibriert.

**[0232]** Die Nachschlagetabelle zur Kompensation der Motordrehzahl muss während eines «Lernprozesses» erstellt werden, der durch die Steuerung durchgeführt wird.

**[0233]** In einer Ausführungsform hat die Lernphase eine Dauer von 500 Stunden.

**[0234]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Drehzahlkompensationstabelle für jeden Sensor 170 erstellt.

**[0235]** Im Falle eines Verschleissüberwachungssystems, das in einen neu gebauten Motor integriert ist, des Vornehmens einer Werksprüfung oder des Durchführens einer Probefahrt ist es wichtig, dass das System von der frühestmöglichen Zeit an Schutz für die Lager bieten kann. Daher wird eine Grobkalibrierungskurve erstellt, sobald ein 10-Minuten-Mittelwert von einer festen Motordrehzahl erreicht wird. Diese Kurve wird dann neu angepasst, so dass drei feste Motordrehzahlen verwendet werden, mit denen während des Lernprozesses begonnen wird.

**[0236]** Fig. 5 stellt ein allgemeines Flussdiagramm zum Bereitstellen einer Grobkalibrierung dar. Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie zuerst eine grobe Schätzung der Motordrehzahlkompensation durch Annähern der Tabellenwerte mit einer Kurve des BDC-Niveaus vs. der Motordrehzahl erstellt.

**[0237]** Diese grobe Schätzung ermöglicht eine gewisse Kontrolle während der Lernphase.

**[0238]** In einer Ausführungsform empfängt die Steuerung die Werte für jeden Sensor bei einer gegebenen Motordrehzahl (oder U/min), 510. Die Werte werden gemittelt, 520, und es wird eine vorläufige Kurve aus der gemittelten Motordrehzahl-BDC-Niveau-Koordinate oder dem gemittelten Motordrehzahl-BDC-Niveau-Kontrollpunkt und einer erwarteten Änderung in Abhängigkeit von der Motorgrösse über den Drehzahlbereich erstellt, 530. In einer Ausführungsform wird die erwartete Änderung vorberechnet und in einer Tabelle, wie beispielsweise Tabelle 1, gespeichert.

Motortyp (Bohrung, cm)	mm Änderung (20-110% U/min)
80 bis 98	-0,35
60 bis 70	-0,25
Bis 50	-0,15

Tabelle 1 Erwartete Änderung für Motortypen.

**[0239]** Fig. 6 stellt eine Kurve einer vorläufigen Kurve oder einer groben Schätzung der Kurve 600 mit einem Kontrollpunkt 610 für das mittlere BDC-Niveau für eine bestimmte Motordrehzahl dar.

**[0240]** Die Kurve 600 ist eine grobe Schätzung, und die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie sie nur während der Erstellung der Grobkalibrierungskurve als eine Referenz verwendet.

**[0241]** In einer Ausführungsform wird eine zweite Drehzahl ausgewählt, und die Steuerung empfängt die Werte für jeden Sensor bei der zweiten Motordrehzahl, 540. Die Werte werden gemittelt, 550, und die Kurve wird aktualisiert, 560, um die zweite gemittelte Motordrehzahl-BDC-Niveau-Koordinate oder den zweiten gemittelten Motordrehzahl-BDC-Niveau-Kontrollpunkt zu berücksichtigen.

**[0242]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Schritte 540 bis 560 für eine dritte Drehzahl wiederholt. In Fig. 5 ist dies durch eine gestrichelte Linie angezeigt.

**[0243]** In Schritt 570 stellt die Steuerung die Grobkalibrierungskurve (700) fertig durch Interpolieren zwischen den Kontrollpunkten (710, 720, 730) und Extrapolieren, um den vollständigen Motordrehzahlbereich abzudecken.

**[0244]** In einer Ausführungsform liegt der Motordrehzahlbereich zwischen 0 und 120%. In einer Ausführungsform liegt der Motordrehzahlbereich zwischen 20 und 120%.

**[0245]** Fig. 7 stellt eine beispielhafte Kurve einer Grobkalibrierung 700 mit drei Kontrollpunkten 710, 720 und 730 für das mittlere BDC-Niveau für drei Motordrehzahlen dar.

**[0246]** In einer Ausführungsform wird der Motor bei jeder Drehzahl für jeweils 10 Minuten betrieben. Es ist zu erwähnen, dass andere Betriebszeiten ebenso verfügbar sind.

**[0247]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die drei Drehzahlen gemäss Tabelle 2 auswählt.

Drehzahlnummer	Drehzahl
1	20 bis 50% der Nenndrehzahl
2	50 bis 80% der Nenndrehzahl
3	80 bis 100% der Nenndrehzahl

Tabelle 2 Drehzahlen und entsprechende Drehzahlintervalle.

**[0248]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die drei in Intervallen von mindestens 20% der Nenndrehzahl gewählten Drehzahlen so verteilt, dass gewährleistet ist, dass die Kontrollpunkte in der Kurve 700 korrekt beabstandet sind.

**[0249]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Grobkalibrierungskurve 700 während der restlichen Lernphase verwendet, um eine gewisse Referenz des Verschleisses während der Lernphase zu ermöglichen.

**[0250]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung ferner so konfiguriert, dass sie Sensorwerte während des Betriebs des Motors bei verschiedenen Drehzahlen empfängt und die Tabelle von BDC-Niveaus vs. Motordrehzahlen aktualisiert.

**[0251]** Fig. 8 stellt ein Verfahren einer Ausführungsform der vorliegenden Anmeldung zum Fertigstellen der Motordrehzahl-BDC-Tabelle dar.

**[0252]** In einer Ausführungsform werden die Schritte von Fig. 8 für alle Sensoren parallel ausgeführt.

**[0253]** In einem ersten Schritt 810 wird ein Wert oder Signal  $S_N$  durch die Steuerung empfangen. Die Steuerung bestimmt dann, ob die Kompensation für die aktuelle Drehzahl gültig ist oder nicht, 815.

**[0254]** Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie, wenn eine vorbestimmte Anzahl von Abtastwerten für eine Motordrehzahl empfangen wurde, einen Referenzwert für diese Motordrehzahl durch Mitteln der empfangenen Abtastwerte für diesen Sensor bei dieser Drehzahl berechnet und einen ersten gültigen Kompensationswert erzeugt, und die Tabelle zur Kompensation der Motordrehzahl wird aktualisiert.

**[0255]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 1000 Abtastwerte für jede Motordrehzahl empfängt und abtastet.

**[0256]** Die Steuerung so konfiguriert, dass sie, wenn bestimmt wird, dass die Kompensation gültig ist, einen Kompensationswert durch Subtrahieren des empfangenen Signals mit einem Referenzwert berechnet (Schritt 820):

$$S_{comp} = S_N - S_{ref}$$

**[0257]** Die Steuerung so konfiguriert, dass sie, wenn bestimmt wird, dass die Kompensation nicht gültig ist, einen Kompensationswert durch Subtrahieren des empfangenen Signals mit einem Referenzwert berechnet (Schritt 825):

$$S_{comp} = S_N - S_{ref,rough}$$

**[0258]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung ferner so konfiguriert, dass sie ein Filter anwendet, um Rauschen im empfangenen Signal zu reduzieren, 830.

**[0259]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie als Nächstes eine Sensorabweichung  $d(S_{sensor})$  berechnet:

$$d(S_{sensor}) = S_{sensor} - \text{Mittelwert anderer Sensoren}$$

**[0260]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung ausserdem so konfiguriert, dass sie eine Zylinderabweichung  $d(cylinder)$  berechnet:

$$d(cylinder) = (S_{cylinder, vorne} + S_{cylinder, hinten}) / 2 - \text{Mittelwert anderer Sensoren}$$

**[0261]** In Fig. 8 werden beide Abweichungen in Schritt 840 berechnet.

**[0262]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Alarmschwelle für den Sensorwert überschritten wird, 850, und einen Alarm aktiviert, 860, wenn dies der Fall ist.

**[0263]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Alarmschwelle für die Zylinderabweichung überschritten wird, 850, und einen Alarm aktiviert, 860, wenn dies der Fall ist.

**[0264]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob die Alarmschwelle für die Sensorabweichung überschritten wird, 850, und einen Alarm aktiviert, 860, wenn dies der Fall ist.

**[0265]** In Fig. 8 werden alle drei Bestimmungen in Bezug auf die Alarmschwellen in Schritt 850 durchgeführt.

**[0266]** In einer Ausführungsform beträgt der Alarmschwellenwert für einen Sensorwert während der Lernphase +/-0,8 mm.

**[0267]** In einer Ausführungsform beträgt der Alarmschwellenwert für eine Sensorabweichung während der Lernphase +/-0,5 mm.

**[0268]** In einer Ausführungsform beträgt der Alarmschwellenwert für eine Zylinderabweichung während der Lernphase +/-0,4 mm.

**[0269]** Die Steuerung ist ausserdem so konfiguriert, dass die Steuerung, wenn sie bestimmt, dass ein Alarm zu aktivieren ist, das Ereignis in einer Protokolldatei speichert, 870.

**[0270]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob eine Verlangsamungsgrenze für eine Sensorabweichung überschritten wird, 880, und eine Anforderung für eine Verlangsamungsprozedur aktiviert, 890, wenn dies der Fall ist.

**[0271]** In einer Ausführungsform beträgt der Verlangsamungsschwellenwert für einen Sensorwert während der Lernphase +/-0,9 mm. In einer Ausführungsform beträgt der Verlangsamungsschwellenwert für eine Sensorabweichung während der Lernphase +/-0,7 mm.

**[0272]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie zu Schritt 810 zurückkehrt, um einen neuen Signalwert zu empfangen.

**[0273]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 810 bis 840 für jede Umdrehung ausführt.

**[0274]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 850 bis 890 für jede Umdrehung ausführt.

**[0275]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie 850 bis 890 in Intervallen ausführt. In einer Ausführungsform liegt das Intervall im Bereich von 1 bis 50 Umdrehungen. In einer Ausführungsform liegt das Intervall im Bereich von 10 bis 30 Umdrehungen. In einer Ausführungsform beträgt das Intervall 30 Umdrehungen. Dies ist in Fig. 8 durch die gestrichelte Linie angezeigt.

**[0276]** Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie, um zu gewährleisten, dass der gesamte Motorbereich während der Lernphase erfasst wird, Abtastwerte für verschiedene Motordrehzahlen über den Bereich von verfügbaren Motordrehzahlen empfängt.

**[0277]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie Abtastwerte für 100 Motordrehzahlen empfängt.

**[0278]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie Abtastwerte von jedem Sensor für jede Motordrehzahl empfängt, das heisst, dass sie Abtastwerte für jede mögliche Umdrehung pro Minute im Bereich des Motors empfängt.

**[0279]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie einen Referenzpunkt für jeden Drehzahlpunkt bestimmt, der während der Lernphase nicht validiert wurde. In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Referenzpunkt durch Interpolieren aus den Referenzwerten der benachbarten Drehzahlpunkte bestimmt. In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Referenzpunkt durch Extrapolieren von den Referenzwerten der Referenzpunkte der groben Schätzung bestimmt.

**[0280]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Mittelwert für die Signalwerte für jeden Sensor in Intervallen von 50 Stunden an jedem Drehzahlpunkt neu berechnet. Dies ermöglicht es dem System, sich an Änderungen der Struktur des Motors anzupassen und darauf zu reagieren.

**[0281]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie bestimmt, ob ein Referenzwert für eine beliebige Motordrehzahl um einen Wert geändert wird, der grösser als eine Aktualisierungsschwelle ist, wenn mit dem ersten erhaltenen gültigen Kompensationswert verglichen, und einen dies anzeigenden Alarm aktiviert, wenn dies der Fall ist. In einer Ausführungsform beträgt die Aktualisierungsschwelle 0,2 mm.

**[0282]** Um eine zuverlässige Überwachung des Verschleisses eines Lagers während einer extensiven Lernphase zu gewährleisten, wird die Lernphase in drei Schritte unterteilt. Der erste Schritt besteht darin, eine sehr grobe vorläufige Schätzung zu erstellen, welche als eine Referenz für den zweiten Schritt verwendet wird, in dem eine vollständige grobe Schätzung fertiggestellt wird. Die vollständige grobe Schätzung wird dann durch die restliche Lernphase verwendet (Schritt 3).

**[0283]** Dies gewährleistet, dass der Verschleiss von Lagern selbst während der Inbetriebnahme des Motors überwacht wird. Dies ermöglicht ein Erkennen von erhöhtem Verschleiss zum Beispiel infolge von fehlerhaften Installationen und Unregelmässigkeiten, was für den Motor zu einem erhöhten Schutz gegen Stillstandszeit führt.

**[0284]** Eine einfache Kalibrierung könnte solche Inbetriebsetzungsprobleme nicht berücksichtigen, und die hierin offenbarte Lernphase ist demnach äusserst vorteilhaft.

**[0285]** Während der Lebensdauer eines Motors wird er einer Reihe von Wartungsvorgängen und Überholungen unterzogen. Zum Beispiel wenn eine Halterung, die den bzw. die Sensor(en) hält, infolge einer Überholung eines Hauptlagers entfernt wurde. Wenn die Halterung wieder angebracht wird, ist zu erwarten, dass der bzw. die Sensor(en) anders angeordnet werden. Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein Sensor ersetzt werden muss, nachdem er beschädigt oder anderweitig funktionsuntüchtig gemacht wurde. Ein Sensor muss ausserdem möglicherweise neu angepasst werden, wenn die den Sensor haltende Halterung etwas verbogen ist.

**[0286]** Dies erfordert eine Neuanpassung der Drehzahlkompensationstabelle oder -kurve für einen oder mehrere der Sensoren.

**[0287]** Die Anpassung erfolgt durch eine Anpassung des Versatzes eines einzelnen Sensors.

**[0288]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Signale vom Sensor durch Kompensieren des Signalwerts gemäss der bestehenden Drehzahlkompensations-Nachschlagetabelle oder -Kurve anpasst. Während des Normalbetriebs ist die Differenz zwischen dem gemessenen BDC-Niveau und dem Referenzwert null (zumindest im Schnitt). Der kompensierte Wert spiegelt daher den Versatz für den Sensor wider, da der absolute

**[0289]** Wert des kompensierten Wertes jetzt grösser als null ist (zumindest im Schnitt).

**[0290]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie einen Mittelwert des Versatzes über eine Zeitperiode berechnet. In einer Ausführungsform beträgt die Zeitperiode 50 Stunden.

**[0291]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Referenzwerte für einen betroffenen Sensor gemäss dem berechneten mittleren Versatz versetzt.

**[0292]** Da es jedoch einen Zeitablauf zwischen einem Sensorausfall und einer Sensorersetzung gibt und dieser Zeitablauf unter gewissen Umständen verhältnismässig lang sein kann, besteht ein Risiko eines unerkannten Verschleisses eines Lagers während dieses Zeitablaufs.

**[0293]** Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie, um jeglichem solchem Verschleiss eines Lagers Rechnung zu tragen, die Neuanpassung auf einer Verknüpfung der Signale vom benachbarten Sensor und einem Mittelwert basiert, der über eine Zeitperiode vor und nach der Ersetzung ermittelt wurde. In einer Ausführungsform beträgt die Zeitperiode 500 Stunden.

**[0294]** Fig. 10 stellt ein Diagramm der Drehzahlkompensationskurven für zwei Sensoren dar, wobei:  
 $a_1t_1 + b_1$  die Kurve für den ersten Sensor während der 500 Stunden vor dem Ausfall des Sensors ist;  
 $a_2t_2 + b_2$  die Kurve für den ersten Sensor während der 500 Stunden nach der Ersetzung des Sensors ist; und  
 $a_3t_3 + b_3$  die Kurve für den benachbarten Sensor während der Zeit ist, während der der erste Sensor defekt war.

**[0295]** In diesen Formeln bezeichnet «a» die Steigung, «t» ist die Zeit, und «h» ist eine Konstante, die den Anfangspunkt für die Kurve für  $t = 0$  anzeigt.

**[0296]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie, basierend auf dem Mittelwert von kompensierten und gefilterten Sensorwerten über 6 Stunden, diese drei Geraden ermittelt durch die Ausgleichung der Messabweichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate.

**[0297]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie während der Neuanpassung des Sensors die Drehzahlkompensation für den benachbarten Sensor verwendet.

**[0298]** Nachdem die Periode für die Neuanpassung des Sensors verstrichen ist, kann der Versatz (0) für den ersetzten Sensor berechnet werden.

**[0299]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie den Versatz für den ersetzten Sensor berechnet, und in einer Ausführungsform erfolgt dies durch:

$$O = O_1 + a_3t_b + Ta_2 \text{ wobei:}$$

$O_1$  der Versatz während der Zeit ist, während der der Sensor defekt war;

$t_b$  die Zeit ist, während der der Sensor defekt war; und  $T$  die Zeitperiode ist (in der vorstehenden Ausführungsform  $T = 500$  Stunden).

**[0300]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie einen ersetzten Sensor beim Berechnen der Sensorabweichung und/oder Zylinderabweichung für die anderen Sensoren während der Zeitperiode nach der Ersetzung des Sensors oder der Zeitperiode der Neuanpassung für den Sensor ausschliesst.

**[0301]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Sensorabweichung und/oder Zylinderabweichung für einen ersetzten Sensor während der Zeitperiode der Neuanpassung für den Sensor nicht berechnet.

**[0302]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie die Aktivierung eines Alarms oder die Ausgabe einer Verlangsamungsanforderung für Sensorwerte unterlässt, die vom ersetzten Sensor während der Zeitperiode der Neuanpassung herrühren.

**[0303]** Dies ermöglicht eine Lernphase nur für den betroffenen oder ersetzten Sensor und erfordert keine vollständige Wiederholung der Lernphase für alle Sensoren. Dies ermöglicht eine sicherere Überwachung während der Neuanpassungsphase, als eine vollständige Wiederholung der Lernphase für alle Sensoren gegeben hätte.

**[0304]** Die Datenspeicherung im System zur Überwachung des Lagerverschleisses dient zwei Zwecken. Der erste Zweck ist, die Daten abrufen zu können, sollte ein Lagerschaden stattgefunden haben. In einer Ausführungsform ist dies als eine «Blackbox»-Funktion implementiert.

**[0305]** Der zweite Zweck steht mit der Prüfung der Lager in Beziehung. Herkömmlicherweise werden Lager für routinemässige Prüfungen nach Zeitplan geöffnet. Zum Beispiel muss jedes Lager in, sagen wir, Vier- oder Fünfjahresintervallen geöffnet werden. Um ein unnötiges Öffnen der Lager zu vermeiden, ist es wünschenswert, von zeitbasierten Prüfungen auf zustandsbasierte Prüfungen umzusteigen. Zu diesem Zweck können die gespeicherten Daten verwendet werden, um Trendkurven zu erzeugen, die zeigen, ob ein Verschleiss während des Prüfungsintervalls stattgefunden hat. Solche Kurven können einem Klassifikationsbesichtiger vorgelegt werden.

**[0306]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Speicherung für jeden Sensor von gefilterten Werten mit Zeitstempel ermöglicht, die von den letzten 24 Stunden verfügbar sind. In einer Ausführungsform werden solche gefilterten Werte in einem Kurzzeitspeicher gespeichert. In einer Ausführungsform ist ein Satz von Daten für alle 30 Motorumdrehungen erforderlich. Eine Steuerung ist so konfiguriert, dass sie, falls eine Alarmgrenze überschritten wird, eine Kopie des Kurzzeitspeichers separat als eine «eingefrorene» Kopie speichert. In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie Daten für 5 Minuten nach der Zeit des Alarms in die Kopie aufnimmt.

**[0307]** In einer Ausführungsform ist die Steuerung so konfiguriert, dass sie eine Speicherung für jeden Sensor von gefilterten Höchst-, Mindest- und Mittelwerten ermöglicht. In einer Ausführungsform werden solche gefilterten Höchst-, Mindest- und Mittelwerte in einem Langzeitspeicher gespeichert. In einer Ausführungsform werden die gefilterten Höchst-, Mindest- und Mittelwerte für alle 6 Betriebsstunden gespeichert. In einer Ausführungsform werden die gefilterten Höchst-, Mindest- und Mittelwerte mit einem Zeitstempel gespeichert.

**[0308]** In einer Ausführungsform wird ausserdem ein Ereignisprotokoll gespeichert. In einer Ausführungsform enthält ein Ereignisprotokoll die folgenden Informationen:

Alle Alarme, Verlangsamungen oder Vorwarnungen, die ausgegeben werden, oder Änderungen während des Lernprozesses;

mögliche Ersetzungen und/oder Versatzanpassungen jeglicher Sensoren;

Umänderungen der Sensorreferenz von Grobkalibrierung in Feinkalibrierung; und

alle Rücksetzungen des Referenzniveaus für Vorwarnungen.

**[0309]** In einer Ausführungsform sind alle Informationen zeitgestempelt und werden alle Speicher- und Ereignisprotokolle in einem nichtflüchtigen Speicher gehalten.

**[0310]** In einer Ausführungsform ist eine Vorrichtung zum Herunterladen von gespeicherten Daten und Ereignisprotokollen auf ein externes Gerät wie einen PC konfiguriert. Diese Daten können dem Zweck der Vorlage vor Besichtigern von Klassifikationsgesellschaften dienen.

**[0311]** In einer Ausführungsform enthalten die Daten Folgendes:

**[0312]** Motor-Informationsteil. Dieser enthält Informationen über das Schiff und den Motor. In einer Ausführungsform sind die Informationen wie folgt.

Name des Schiffes	=	XXXXXXXX
IMO-Nummer	=	XXXXXXXX
Klassifikationsregister Nr.	=	XXXXXXXX
Komponente	=	XXXXXXXX
Motor-Lizenzgeber	=	XXXXXXXX
Motorfabrikant	=	XXXXXXXX
Motortyp	=	XXXXXXXX
Motor Seriennr.	=	XXXXXXXXXX
CM-Systemtyp	=	Lagerverschleiss-Überwachungssystem
CM-Systemfabrikant	=	XXXXXXXXXX
CM-System-Hardware	=	XXXXXXX
CM-System-Software	=	XXXXXXXX
Trenddatenperiode von	=	JJJJ-MM-TT
Trenddatenperiode bis	=	JJJJ-MM-TT
Motor-Betriebsstunden von	=	99999
Motor-Betriebsstunden bis	=	99999

**[0313]** Der Protokollteil mit allen Änderungen des Systemstatus und Sensorstatus gemäss dem Ereignisprotokoll. Das Format ist [DATUM][ZEIT][EREIGNIS].

**[0314]** Trendteil gefilterte Werte. Abgeleitet von «Langzeitspeicher». Die folgenden Daten sind für jeden Sensor alle sechs Motor-Betriebsstunden darzustellen: Zeitstempel, Motor-Betriebsstunden und gefilterte 6-Std-Mittelwerte. Das Format ist in einer Ausführungsform [DATUM UND ZEIT: JJJJ-MM-TT hh:mm:ss]; [MOTORBETRIEBSSTUNDEN: h]; [DISTANZ: mm].

**[0315]** Status-Teil. Der Zweck dieser Datei ist es, einen schnellen Überblick über jeden Zylinder bereitzustellen, um zu zeigen, ob ein Öffnen der Lager in Bezug auf diesen Zylinder zur Überprüfung infolge von erkanntem Verschleiss oder infolge anderer Umstände gerechtfertigt ist. Diese Umstände könnten eine Erkennung von Verschleiss sein, der die «Signifikanzgrenze» während eines Austausches eines Sensors überschreitet, oder Referenzverlust sein. In einer Ausführungsform wird der Status als eine Darstellung auf vier Ebenen angezeigt. Die vier Ebenen sind:

Normal «N», zeigt an, dass kein Verschleiss über die Vorwarngrenze hinaus erkannt wurde;

Vorwarnung «W», zeigt an, dass Verschleiss über die Vorwarngrenze hinaus erkannt wurde;

Alarm «A», zeigt an, dass ein Alarm von Sensoren ausgelöst wurde, die mit diesem Zylinder verbunden sind; und

Unbekannt «U», zeigt an, dass ein Sensor dieses Zylinders Referenz verloren hat oder dass seine Referenzkurve infolge von Verschleiss korrigiert wurde, der durch seinen «Nachbarn» während des Austausches erkannt wurde. Dieselbe Anzeige hat zu erfolgen, wenn ein beschädigter Sensor unverändert bleibt.

**[0316]** In einer Ausführungsform ist eine Vorrichtung ausserdem zum Bereitstellen der vollständigen Daten des Langzeitspeichers, des Kurzzeitspeichers und der Referenzkurven jedes Sensors konfiguriert.

**[0317]** Die verschiedenen Aspekte dessen, was zuvor beschrieben wurde, können alleine oder in verschiedenen Kombinationen verwendet werden. Die Lehre dieser Anmeldung kann durch eine Kombination von Hardware und Software implementiert sein, sie kann aber auch in Hardware oder Software implementiert sein. Die Lehre dieser Anmeldung kann auch als computerlesbarer Code auf einem computerlesbaren Medium realisiert sein.

**[0318]** Die Lehre der vorliegenden Erfindung weist zahlreiche Vorteile auf. Verschiedene Ausführungsformen oder Implementierungen können einen oder mehrere der folgenden Vorteile ergeben. Es ist zu erwähnen, dass dies keine erschöpfende Liste ist und dass es andere Vorteile geben kann, die hierin nicht beschrieben werden. Zum Beispiel ist ein Vorteil der Lehre dieser Anmeldung, dass eine Vorrichtung gemäss dem hierin Gesagten eine zuverlässige Überwachung bereitstellt, die mehreren (externen) Faktoren Rechnung trägt.

**[0319]** Ein anderer beispielhafter Vorteil der Lehre der vorliegenden Anmeldung ist, dass die Verschleissüberwachung einer durch Schubkräfte verursachten Verformung Rechnung trägt.

**[0320]** Ein weiterer beispielhafter Vorteil der Lehre der vorliegenden Anmeldung ist, dass die Überwachung von Verschleiss in Lagern auch während einer Kalibrierungsphase zuverlässig ist.

**[0321]** Ein anderer beispielhafter Vorteil der Lehre der vorliegenden Anmeldung ist, dass eine Ersetzung eines Sensors zuverlässiger durchgeführt und angepasst werden kann.

**[0322]** Es versteht sich von selbst, dass trotz des Bestrebens, in der vorstehenden Spezifikation das Hauptaugenmerk auf jene Merkmale der Erfindung zu lenken, die für besonders wichtig gehalten werden, der Anmelder Schutz in Bezug auf alle patentierbaren Merkmale oder Kombinationen von Merkmalen beansprucht, die hierin zuvor erwähnt und/oder in den Zeichnungen dargestellt wurden, einerlei ob sie besonders hervorgehoben wurden oder nicht.

**[0323]** Der Begriff «umfassen», wie in den Ansprüchen verwendet, schliesst andere Elemente oder Schritte nicht aus. Der Begriff «ein» oder «eine», wie in den Ansprüchen verwendet, schliesst eine Mehrzahl nicht aus. Eine Einheit oder andere Mittel können die Funktionen mehrerer Einheiten oder Mittel ausführen, die in den Ansprüchen erwähnt werden.

**[0324]** Einige Aspekte der Erfindung sind wie folgt:

**[0325]** 1. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Betriebsbedingung;

Bestimmen einer Abweichung, um Faktoren Rechnung zu tragen, die das Sensorsignal beeinflussen;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.

**[0326]** 2. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie eine Sensorabweichung für jeden Sensor basierend auf den empfangenen Sensorwerten bestimmt, um die Abweichung jedes Sensors vom Mittelwert der anderen Sensoren zu bestimmen.

**[0327]** 3. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei der Motor ferner mindestens einen Zylinder umfasst, und die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie eine Zylinderabweichung für jeden Zylinder basierend auf den empfangenen Sensorwerten bestimmt durch Bestimmung der Abweichung der Sensorwerte von jedem einzelnen Zylinder vom Mittelwert der Sensorwerte der anderen Sensoren.

**[0328]** 4. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie durch Vergleichen eines Schwellenwerts mit einem kompensierten Sensorwert bestimmt, ob ein Schwellenwert überschritten wird.

**[0329]** 5. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie durch Vergleichen eines Schwellenwerts mit einer Abweichung bestimmt, ob ein Schwellenwert überschritten wird.

**[0330]** 6. Vorrichtung nach Aspekt 2 und 5, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie durch Vergleichen eines Schwellenwerts mit einer Sensorabweichung bestimmt, ob ein Schwellenwert überschritten wird.

**[0331]** 7. Vorrichtung nach Aspekt 3 und 5, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie durch Vergleichen eines Schwellenwerts mit einer Zylinderabweichung bestimmt, ob ein Schwellenwert überschritten wird.

**[0332]** 8. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei ein Schwellenwert einem aus einer Gruppe genommenen entspricht, die eine Vorwarnung, einen Alarm und eine Verlangsamung umfasst.

**[0333]** 9. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt.

**[0334]** 10. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um ein Propellersteigniveau handelt.

**[0335]** 11. Vorrichtung nach Aspekt 1, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Last handelt.

**[0336]** 12. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen einer Abweichung, um Faktoren Rechnung zu tragen, die das Sensorsignal beeinflussen;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.

**[0337]** 13. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum:

dynamischen Ändern des Schwellenwerts gemäss dem aktuellen Betrieb des Motors.

**[0338]** 14. Vorrichtung nach Aspekt 13, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie feststellt, dass sich eine Betriebsbedingung ändert, und als Reaktion darauf das Schwellenniveau anhebt.

**[0339]** 15. Vorrichtung nach Aspekt 13, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt.

**[0340]** 16. Vorrichtung nach Aspekt 13, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um ein Propellersteigniveau handelt.

**[0341]** 17. Vorrichtung nach Aspekt 13, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Last handelt.

**[0342]** 18. Vorrichtung nach Aspekt 14, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie feststellt, dass sich die Betriebsbedingung nicht ändert, und als Reaktion darauf das Schwellenniveau senkt.

**[0343]** 19. Vorrichtung nach Aspekt 21, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie das Schwellenniveau senkt, nachdem eine Verzögerungszeit verstrichen ist, seit sich die Betriebsbedingung änderte.

**[0344]** 20. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst:

dynamisches Ändern des Schwellenwerts gemäss dem aktuellen Betrieb des Motors.

**[0345]** 21. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die

Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, und wobei die mindestens zwei Sensoren so angeordnet sind, dass zwei Sensoren in jedem Zylinder vorhanden sind, ein vorderer und ein hinterer Sensor, wobei Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum:

Bestimmen, dass ein Hauptlager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, durch Verknüpfen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors eines zweiten Zylinders und/oder Bestimmen, dass ein Hauptlager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, durch Verknüpfen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors desselben Zylinders und Vergleichen des Ergebnisses der beiden Sensorsignale mit dem Schwellenniveau.

**[0346]** 22. Vorrichtung nach Aspekt 21, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie einen verknüpften Signalwert mit einem verdoppelten Schwellenniveau vergleicht.

**[0347]** 23. Vorrichtung nach Aspekt 21, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt.

**[0348]** 24. Vorrichtung nach Aspekt 21, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um ein Propellersteigniveau handelt.

**[0349]** 25. Vorrichtung nach Aspekt 21, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Last handelt.

**[0350]** 26. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst:

Bestimmen, dass ein Hauptlager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, durch Vergleichen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensor eines zweiten Zylinders und/oder

Bestimmen, dass ein Hauptlager abgenutzt oder in einem kritischen Zustand ist, durch Vergleichen des Signals des vorderen Sensors eines ersten Zylinders mit dem Signal des hinteren Sensors desselben Zylinders und

Verknüpfen der beiden Sensorsignale und Vergleichen des Ergebnisses der beiden Sensorsignale mit dem Schwellenniveau.

**[0351]** 27. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau des unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist zum:

Erkennen einer schnellen Änderung des Niveaus des unteren Totpunkts durch Vergleichen der empfangenen Sensorsignale mit einem mittleren Niveau von Sensorsignalen für eine vorherige Zeitperiode.

**[0352]** 28. Vorrichtung nach Anspruch 27, wobei die Zeitperiode, mit der verglichen wird, den gemessenen Sensorwerten um eine zweite Zeitperiode vorangeht.

**[0353]** 29. Vorrichtung nach Aspekt 27, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie den Mittelwert eines Satzes von empfangenen Sensorsignalen mit dem mittleren Niveau der vorherigen Zeitperiode vergleicht.

**[0354]** 30. Vorrichtung nach Aspekt 27, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie eine Änderungsrate aus der Differenz zwischen dem mittleren Niveau einer vorherigen Zeitperiode und dem aktuellen Niveau bestimmt.

**[0355]** 31. Vorrichtung nach Aspekt 27, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt.

**[0356]** 32. Vorrichtung nach Aspekt 27, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um ein Propellersteigniveau handelt.

**[0357]** 33. Vorrichtung nach Aspekt 27, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Last handelt.

**[0358]** 34. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor

ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst:

Erkennen einer schnellen Änderung des BDC-Niveaus durch Vergleichen des empfangenen Sensorsignals mit einem mittleren Niveau von Sensorsignalen für eine vorherige Zeitperiode.

**[0359]** 35. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau des unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum:

Erkennen einer schnellen Änderung eines Niveaus eines unteren Totpunkts durch

Aktualisieren eines Referenzniveaus für einen Sensor; Aktualisieren eines gegenwärtigen Niveaus für einen Sensor und Bestimmen eines Referenzwerts und

Bestimmen, ob der Referenzwert ein Schwellenniveau einer schnellen Änderung überschreitet.

**[0360]** 36. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie das Referenzniveau basierend auf einem exponentiellen gleitenden Mittelwert aktualisiert.

**[0361]** 37. Vorrichtung nach Aspekt 36, wobei ein Aktualisierungsfaktor für den exponentiellen gleitenden Mittelwert eine langsame Aktualisierung kennzeichnet.

**[0362]** 38. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie das gegenwärtige Niveau basierend auf einem exponentiellen gleitenden Mittelwert aktualisiert.

**[0363]** 39. Vorrichtung nach Aspekt 38, wobei ein Aktualisierungsfaktor für den exponentiellen gleitenden Mittelwert eine schnelle Aktualisierung kennzeichnet.

**[0364]** 40. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei der Referenzwert die Differenz zwischen dem Referenzniveau und dem gegenwärtigen Niveau für einen Sensor ist.

**[0365]** 41. Vorrichtung nach Aspekt 36, wobei der Referenzwert eine Summe der Differenz zwischen dem Referenzniveau und dem gegenwärtigen Niveau für einen Sensor, der zu einem Zylinder gehört, und der Differenz zwischen dem Referenzniveau und dem gegenwärtigen Niveau für den anderen Sensor ist, der zu demselben Zylinder gehört.

**[0366]** 42. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei der Referenzwert eine Summe der Differenz zwischen dem Referenzniveau und dem gegenwärtigen Niveau für einen Sensor, der zu einem Zylinder gehört, und der Differenz zwischen dem Referenzniveau und dem gegenwärtigen Niveau für den anderen Sensor ist, der zu einem benachbarten Zylinder gehört.

**[0367]** 43. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt.

**[0368]** 44. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um ein Propellersteigniveau handelt.

**[0369]** 45. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Last handelt.

**[0370]** 46. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei das Schwellenniveau der schnellen Änderung dynamisch ist.

**[0371]** 47. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie das dynamische Schwellenniveau basierend auf einer Änderung der Motordrehzahl bestimmt.

**[0372]** 48. Vorrichtung nach Aspekt 47, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie das dynamische Schwellenniveau basierend auf einer Änderung der Motordrehzahl verglichen mit einer Referenzdrehzahl bestimmt, wobei die Referenzdrehzahl ein exponentieller gleitender Mittelwert von Motordrehzahlen ist.

**[0373]** 49. Vorrichtung nach Aspekt 48, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie das dynamische Schwellenniveau basierend auf einer Änderung der Motordrehzahl und einer Verstärkungskonstante bestimmt.

**[0374]** 50. Vorrichtung nach Aspekt 48, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie das dynamische Schwellenniveau basierend auf einer Änderung der Motordrehzahl, einer Verzögerungskonstante, einer Anzahl von empfangenen Motordrehzahlen seit einer letzten Bestimmung eines Schwellenniveaus einer schnellen Änderung und einer Verstärkungskonstante bestimmt.

**[0375]** 51. Vorrichtung nach Aspekt 35, wobei es sich bei dem Motor um einen Zweitakt-Grossdieselmotor handelt.

**[0376]** 52. Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Motor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und

konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum:  
Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum:

Erkennen einer schnellen Änderung eines Niveaus eines unteren Totpunkts durch

Aktualisieren eines Referenzniveaus für einen Sensor;

Aktualisieren eines gegenwärtigen Niveaus für einen Sensor und

Bestimmen eines Referenzwerts und Bestimmen, ob der Referenzwert ein Schwellenniveau einer schnellen Änderung überschreitet.

**[0377]** 53. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum: Empfangen eines Signals von jedem Sensor;  
Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung; und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum:

Neuanpassen der Kompensation für einen Sensor durch Anpassen der Signale von einem Sensor durch Kompensieren des Signalwerts gemäss einer Nachschlagetabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen durch Berechnen eines Mittelwerts eines Versatzes für den Sensor über eine Zeitperiode und Versetzen der Referenzwerte für einen betroffenen Sensor gemäss dem berechneten mittleren Versatz.

**[0378]** 54. Vorrichtung nach Aspekt 53, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie die Neuanpassung auf eine Verknüpfung der Signale von einem benachbarten Sensor und einen Mittelwert basiert, der über eine Zeitperiode vor und nach dem Ereignis ermittelt wurde, das die Neuanpassung erforderte.

**[0379]** 55. Vorrichtung nach Aspekt 53, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie beim Neuanpassen des Sensors die Tabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen für einen benachbarten Sensor verwendet.

**[0380]** 56. Vorrichtung nach Aspekt 53, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie einen Versatz (0) für den Sensor berechnet, nachdem eine Zeitperiode zum Neuanpassen des Sensors verstrichen ist, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie den Versatz für den Sensor berechnet durch:

$$O = O_1 + a_3 t_b + T a_2$$

wobei

$O_1$  der Versatz während der Zeit ist, während der der Sensor defekt war;

$t_b$  die Zeit ist, während der der Sensor defekt war; und

$a_2$  die Steigung einer Kurve ist, die den Werten einer Tabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen während der Neuanpassungsperiode entspricht,

$a_3$  die Steigung einer Kurve ist, die den Werten einer Tabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen für einen benachbarten Sensor entspricht, und

T die Zeitperiode zum Neuanpassen des Sensors ist.

**[0381]** 57. Vorrichtung nach Aspekt 54, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie einen Sensor beim Berechnen der Sensorabweichung und/oder Zylinderabweichung für die anderen Sensoren während der Zeitperiode nach dem Ereignis, das die Zeitperiode der Neuanpassung für den Sensor erforderte, ausschliesst.

**[0382]** 58. Vorrichtung nach Aspekt 53, wobei die Betriebsbedingung eines von einer Motordrehzahl, einem Propellersteigniveau und einer Last ist.

**[0383]** 59. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor; Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst:

Neuanpassen der Kompensation für einen Sensor durch Anpassen der Signale von einem Sensor durch Kompensieren des Signalwerts gemäss einer Nachschlagetabelle zur Kompensation von Betriebsbedingungen durch

Berechnen eines Mittelwerts eines Versatzes für den Sensor über eine Zeitperiode und Versetzen der Referenzwerte für einen betroffenen Sensor gemäss dem berechneten mittleren Versatz.

**[0384]** 60. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist zum:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei die Steuerung ferner konfiguriert ist zum:

Erzeugen von Trendkurven, die zeigen, ob ein Verschleiss während eines Zeitintervalls stattgefunden hat.

**[0385]** 61. Vorrichtung nach Aspekt 60, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie gefilterte Werte mit einem Zeitstempel für jeden Sensor in einem Kurzzeitspeicher speichert und gefilterte Höchst-, Mindest- und Mittelwerte für jeden Sensor in einem Langzeitspeicher speichert.

**[0386]** 62. Vorrichtung nach Aspekt 60, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie bestimmt, ob eine Alarmgrenze überschritten wird, und eine Kopie des Kurzzeitspeichers in einem Langzeitspeicher speichert, wenn dies der Fall ist.

**[0387]** 63. Vorrichtung nach Aspekt 62, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie Daten für 5 Minuten nach der Zeit des Alarms in die Kopie aufnimmt.

**[0388]** 64. Vorrichtung nach Aspekt 60, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie die gefilterten Höchst-, Mindest- und Mittelwerte alle 6 Betriebsstunden speichert.

**[0389]** 65. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren umfasst:

Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von einer Motorbetriebsbedingung;

Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und Ausgeben, wenn dies der Fall ist, einer Anzeige der überschrittenen Schwelle, und wobei das Verfahren ferner umfasst:

Erzeugen von Trendkurven, die zeigen, ob ein Verschleiss während eines Zeitintervalls stattgefunden hat.

**[0390]** 66. Motor, umfassend eine Vorrichtung nach Aspekt 1, 13, 21, 27, 53 oder 60, wobei es sich bei dem Motor um einen Zweitakt-Grossdieselmotor für Schiffe handelt.

**[0391]** 67. Seeschiff, umfassend einen Motor nach einem der Aspekte 51 oder 66.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei die Vorrichtung ferner eine Steuerung umfasst, die konfiguriert ist, um in einer Lernphase eine Tabelle mit Referenzwerten zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen zu erzeugen, und die ferner für den Normalbetrieb konfiguriert ist zum:  
Empfangen eines Signals von jedem Sensor;  
Kompensieren jedes Signals mit einem Referenzwert in Abhängigkeit von der jeweiligen Motorbetriebsbedingung; und  
Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und, wenn dies der Fall ist, Ausgeben einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Lernphase folgende Schritte umfasst:  
Abtasten einer ersten Anzahl von Sensorwerten in Bezug auf eine zweite Anzahl von Motorbetriebsbedingungspunkten während des Betriebs des Motors, und  
Bestimmen, wenn die erste Anzahl von Abtastwerten für eine Motorbetriebsbedingung empfangen wurde, eines Referenzwerts durch Mitteln der empfangenen Abtastwerte für diesen Motorbetriebsbedingungspunkt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Lernphase in zwei Phasen unterteilt ist, nämlich eine erste Phase mit Empfangen von Signalwerten von mindestens einem Sensor über eine Zeitperiode für eine erste Motorbetriebsbedingung; Mitteln der Signalwerte, um einen ersten Referenzwert zu erzeugen; und eine zweite Phase mit weiteren Motorbetriebsbedingungen, wobei jede weitere Motorbetriebsbedingung folgende Schritte umfasst:  
Empfangen von Signalwerten von dem mindestens einen Sensor und Erzeugen eines zugehörigen Referenzwertes durch Mitteln der empfangenen Signalwerte, Schätzen eines Kompensationswertes unter Verwendung des ersten

Referenzwertes als Grobkalibrierung, indem der Kompensationswert durch Extrapolieren des Referenzwertes unter Verwendung eines vorbestimmten geschätzten Änderungsfaktors bestimmt wird, Kompensieren des zur aktuellen Motorbetriebsbedingung gehörigen Referenzwertes mit dem geschätzten Kompensationswert; und Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und, wenn dies der Fall ist, Ausgeben einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Lernphase in zwei Phasen unterteilt ist, nämlich eine erste Phase mit Empfangen von Signalwerten von dem mindestens einen Sensor über eine Zeitperiode und Erzeugen eines Referenzwertes durch Mitteln der empfangenen Signalwerte für eine vorgegebene feste Anzahl von Motorbetriebsbedingungen; und eine zweite Phase mit weiteren Motorbetriebsbedingungen, wobei jede weitere Motorbetriebsbedingung folgende Schritte umfasst:  
Empfangen von Signalwerten von dem mindestens einen Sensor und Erzeugen eines zugehörigen Referenzwertes durch Mitteln der empfangenen Signalwerte,  
Schätzen eines Kompensationswertes unter Verwendung von bereits ermittelten Referenzwerten als Grobkalibrierung, indem der Kompensationswert durch Interpolieren zwischen den Referenzwerten von zwei benachbarten Motorbetriebsbedingungen, wenn die aktuelle Motorbetriebsbedingung innerhalb des Bereiches der bereits ausgeführten Motorbetriebsbedingungen liegt, bzw. durch Extrapolieren des Referenzwertes unter Verwendung eines vorbestimmten geschätzten Änderungsfaktors, wenn die aktuelle Motorbetriebsbedingung ausserhalb des Bereiches der bereits ausgeführten Motorbetriebsbedingungen liegt, bestimmt wird, Kompensieren des zur aktuellen Motorbetriebsbedingung gehörigen Referenzwertes mit dem geschätzten Kompensationswert; und Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und, wenn dies der Fall ist, Ausgeben einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt und der Motorbetriebsbedingungspunkt ein Drehzahlpunkt ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um ein Propellersteigniveau handelt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei es sich bei der Betriebsbedingung um eine Last handelt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei die feste Anzahl von Motorbetriebsbedingungen der ersten Phase der Lernphase drei ist, wobei es sich bei der Motorbetriebsbedingung um eine Motordrehzahl handelt und der Motorbetriebsbedingungspunkt ein Drehzahlpunkt ist, und wobei die drei Motordrehzahlen sind:  
eine erste Motordrehzahl, die aus dem Bereich von 20 bis 50% einer Nenndrehzahl des Motors genommen ist;  
eine zweite Motordrehzahl, die aus dem Bereich von 50 bis 80% der Nenndrehzahl des Motors genommen ist; und  
eine dritte Motordrehzahl, die aus dem Bereich von 80 bis 100% der Nenndrehzahl des Motors genommen ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie den Referenzwert für mindestens einen Motorbetriebsbedingungspunkt in einem Zeitintervall neu bestimmt und die Tabelle zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen mit dem neuen Referenzwert aktualisiert.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie bestimmt, ob der neue Referenzwert für einen Motorbetriebsbedingungspunkt im Vergleich mit dem alten Referenzwert um einen Faktor geändert wird, und einen Alarm aktiviert, wenn dies der Fall ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Steuerung ferner so konfiguriert ist, dass sie die Tabelle zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen nach der Lernphase durch Interpolieren und Extrapolieren zwischen Werten der Tabelle zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen aktualisiert.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, umfassend mehr als zwei Sensoren, wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie eine Sensorabweichung für jeden Sensor basierend auf den empfangenen Sensorwerten bestimmt, um die Abweichung jedes Sensors vom Mittelwert der anderen Sensoren zu bestimmen.
13. Motor, umfassend eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei es sich bei dem Motor um einen Zweitakt-Grossdieselmotor für Schiffe handelt.
14. Seeschiff, umfassend einen Motor nach Anspruch 13.
15. Verfahren zur Implementierung in einer Vorrichtung mit einer Steuerung, die zum Ausführen von Anweisungen ausgelegt ist, die auf einem physikalischen Medium gespeichert sind, wobei das Verfahren zum Überwachen von Verschleiss eines Kreuzkopflagers, eines Kurbelzapfenlagers und eines Hauptlagers in einem Zweitakt-Grossdieselmotor ist, wobei die Vorrichtung mindestens zwei Sensoren umfasst, wobei die Sensoren so angeordnet und konfiguriert sind, dass sie ein Niveau eines unteren Totpunkts für den Kreuzkopf oder eine Gleitbacke in einem bestimmten Zylinder in Bezug auf einen festen Punkt des Motors messen, wobei das Verfahren eine Lernphase, in der eine Tabelle mit Referenzwerten zur Kompensation von Motorbetriebsbedingungen erzeugt wird, und eine Phase für den Normalbetrieb umfasst mit den Schritten:  
Empfangen eines Signals von jedem Sensor;

## CH 702 986 A2

Kompensieren jedes Signals in Abhängigkeit von der aktuellen Motorbetriebsbedingung;  
Bestimmen, ob ein Schwellenwert überschritten wurde, und, wenn dies der Fall ist, Ausgeben einer Anzeige der überschrittenen Schwelle.

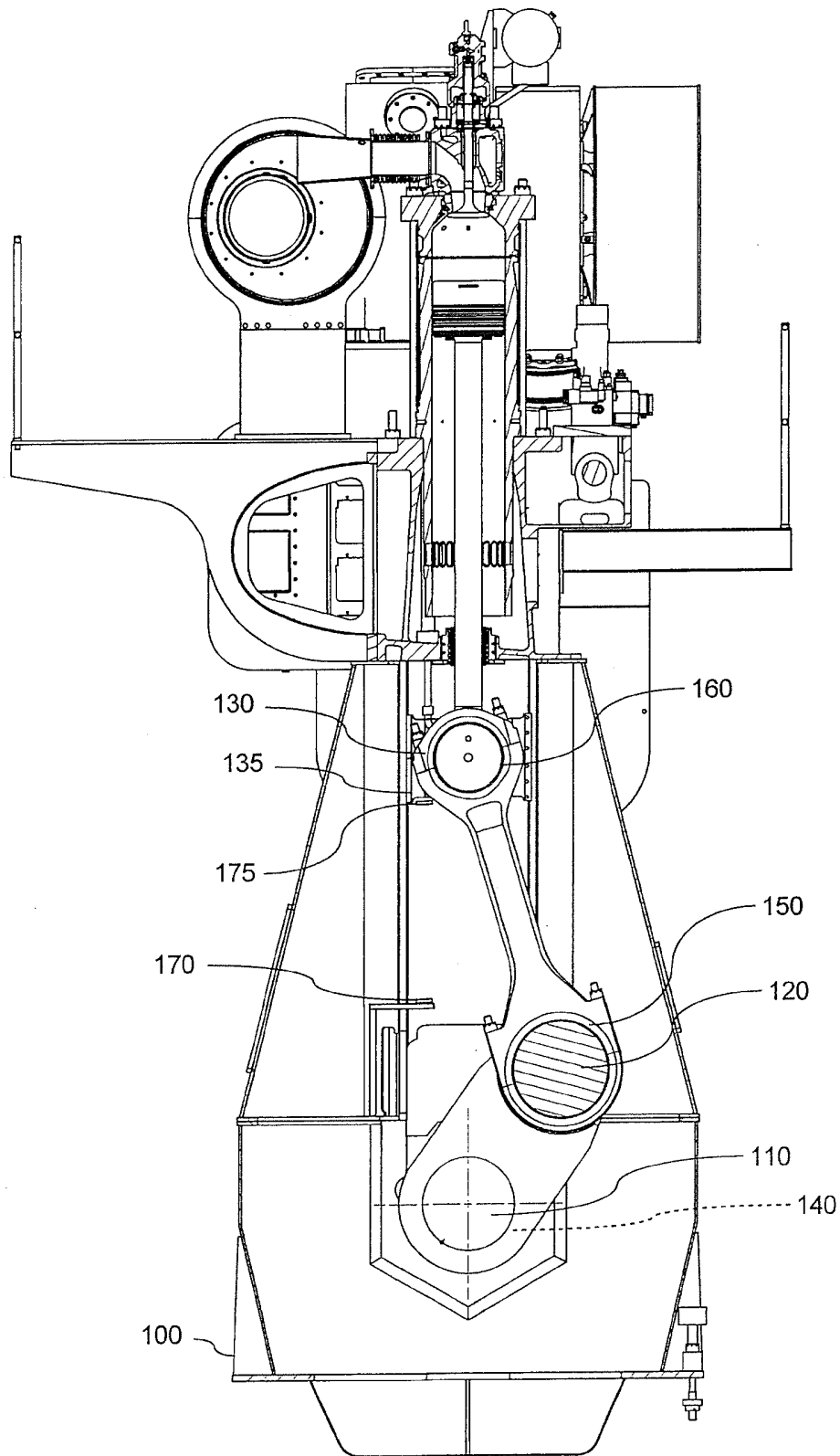


Fig 1

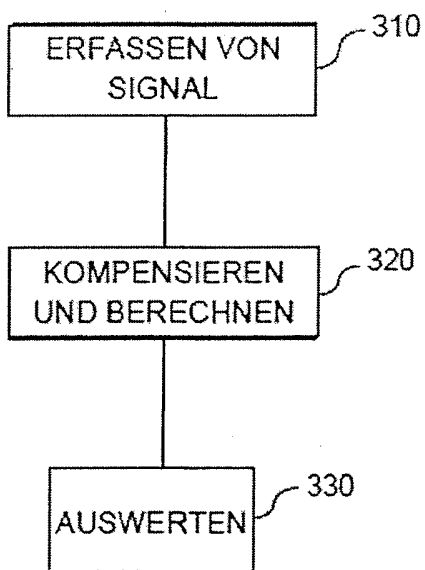


Fig 3

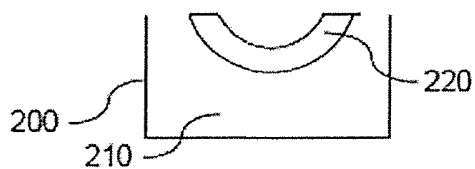


Fig 2

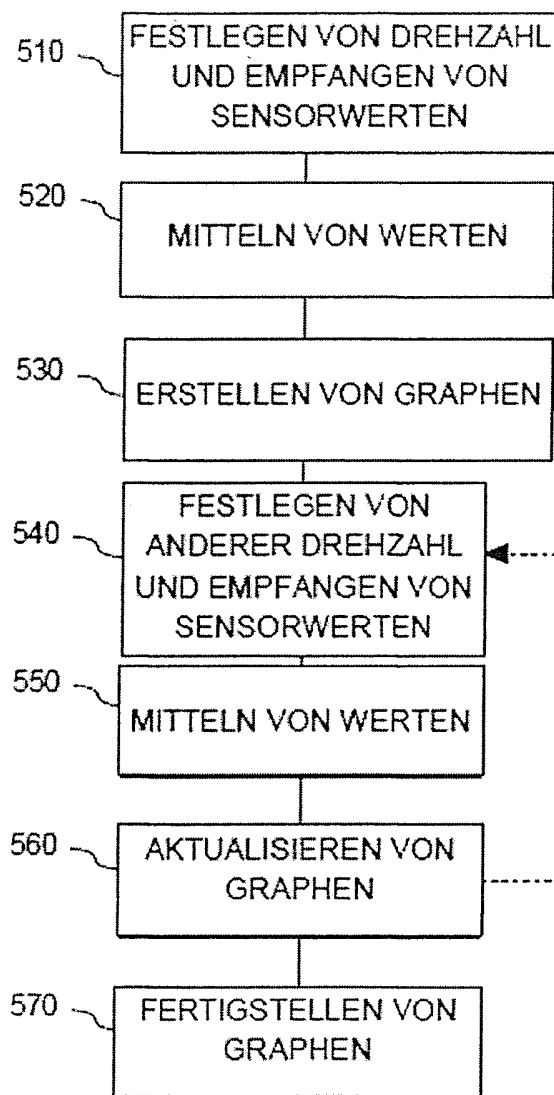


Fig 5

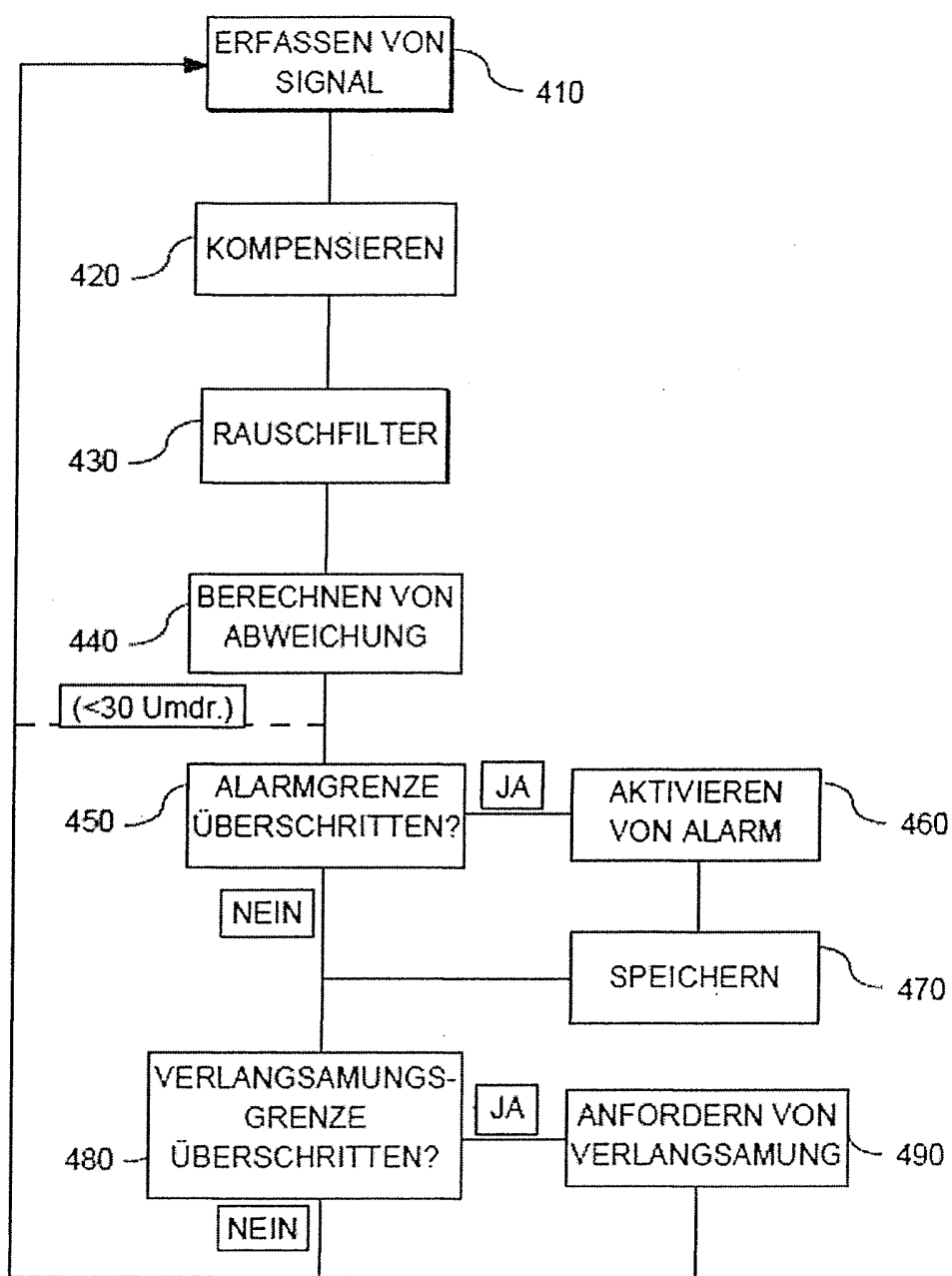


Fig 4

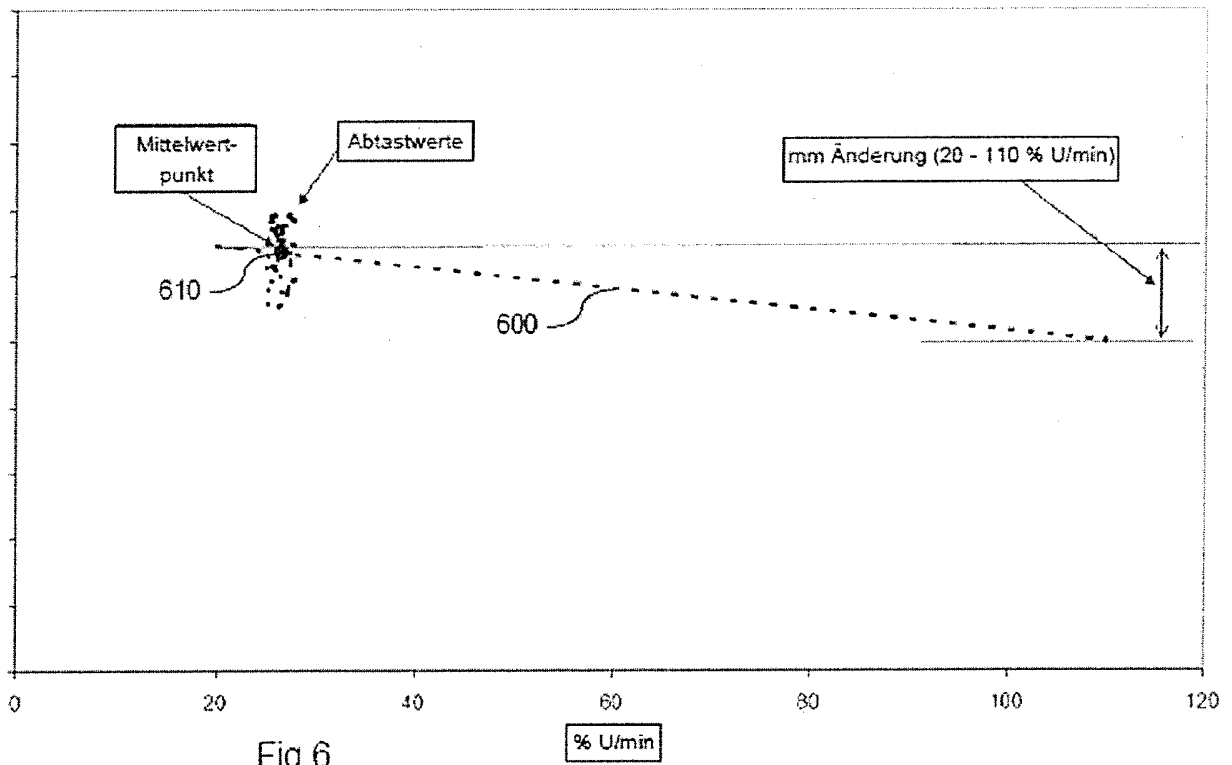


Fig 6

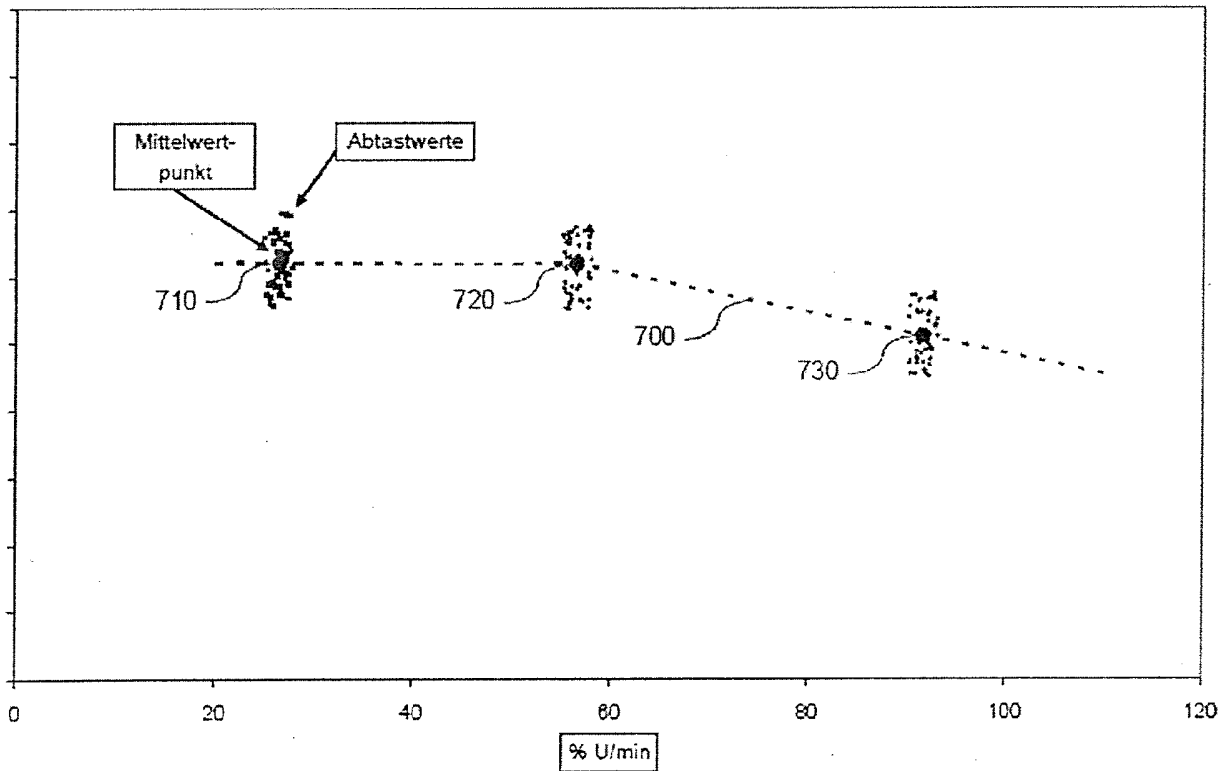


Fig 7

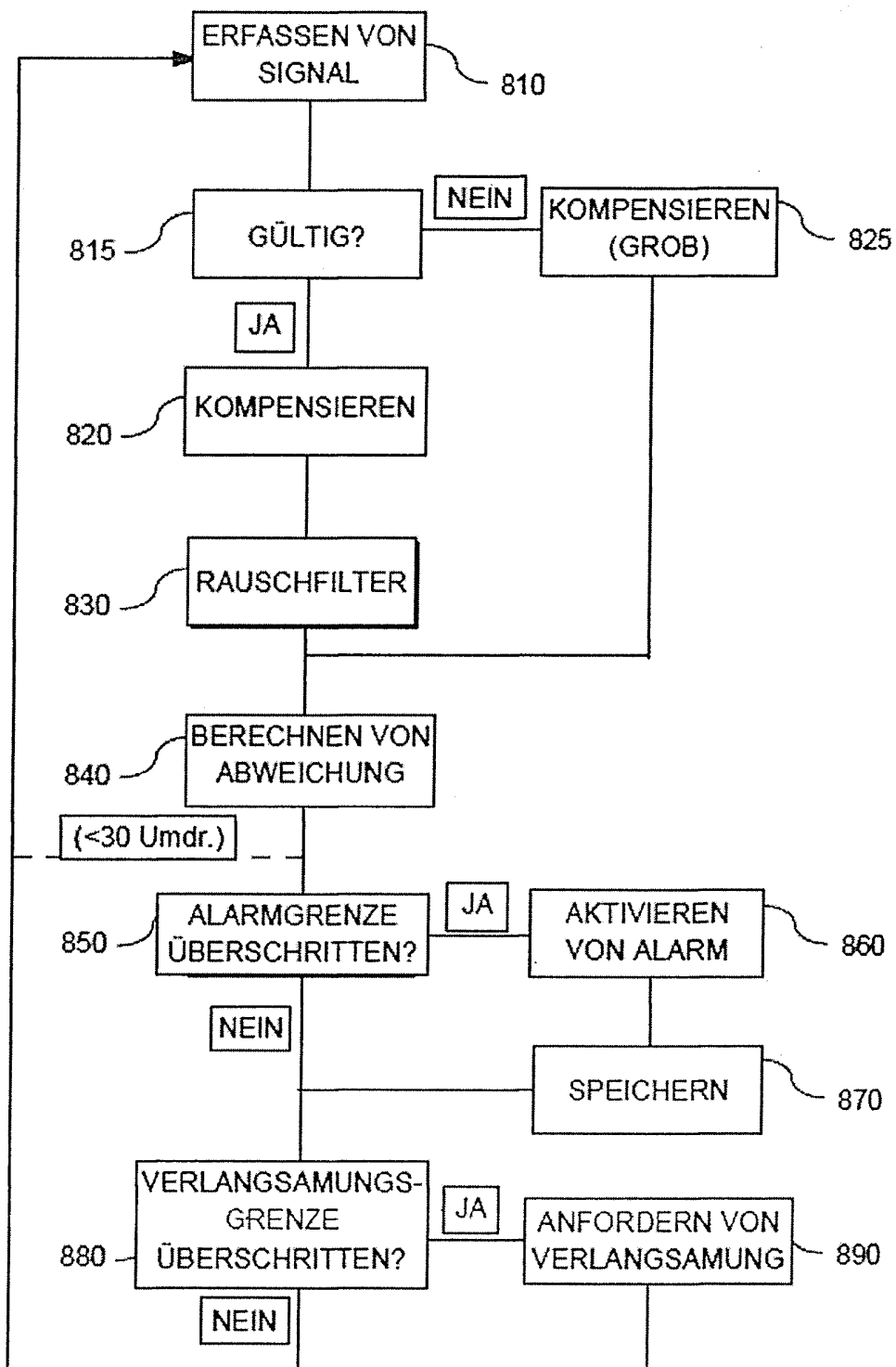


Fig 8

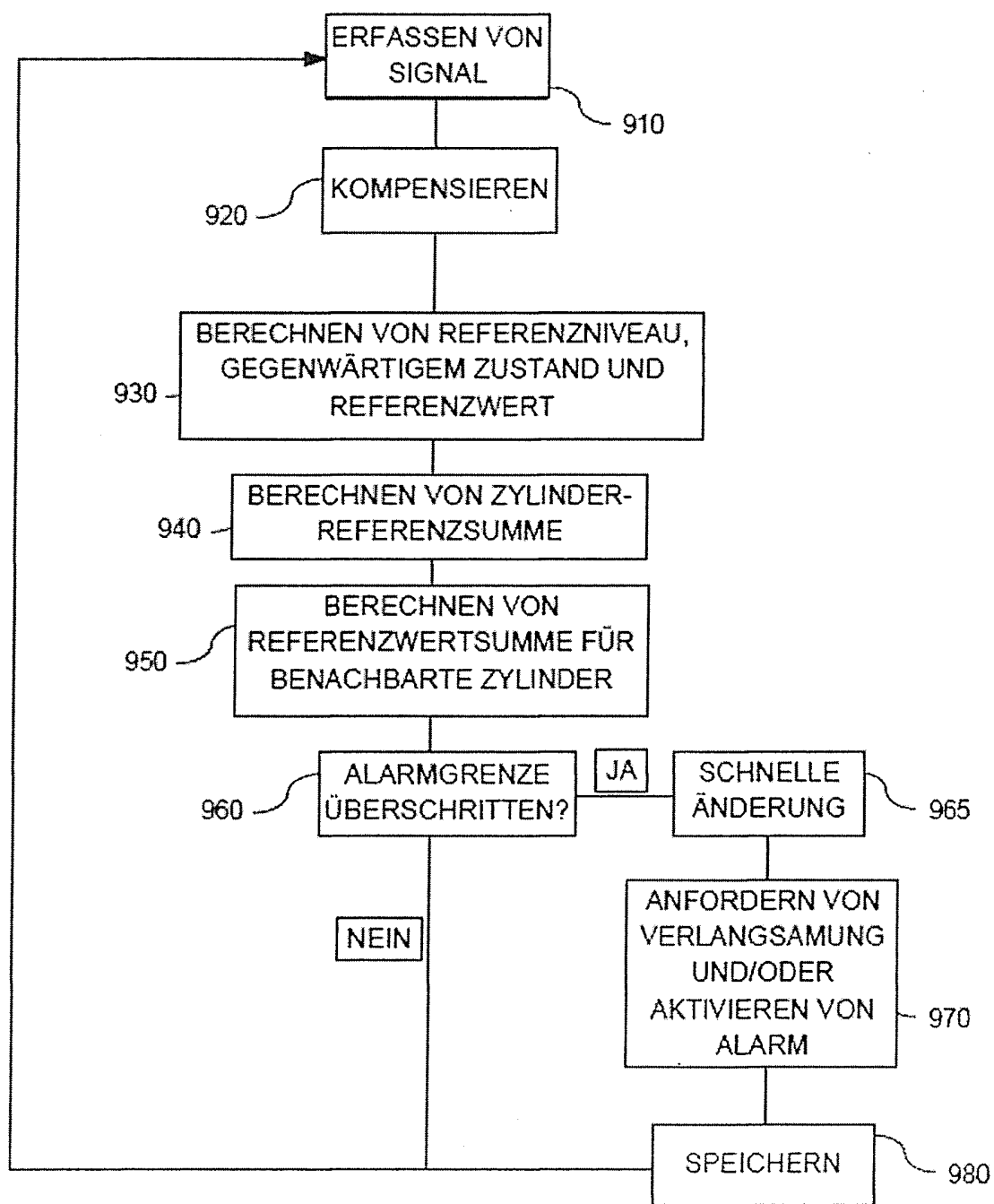


Fig 9

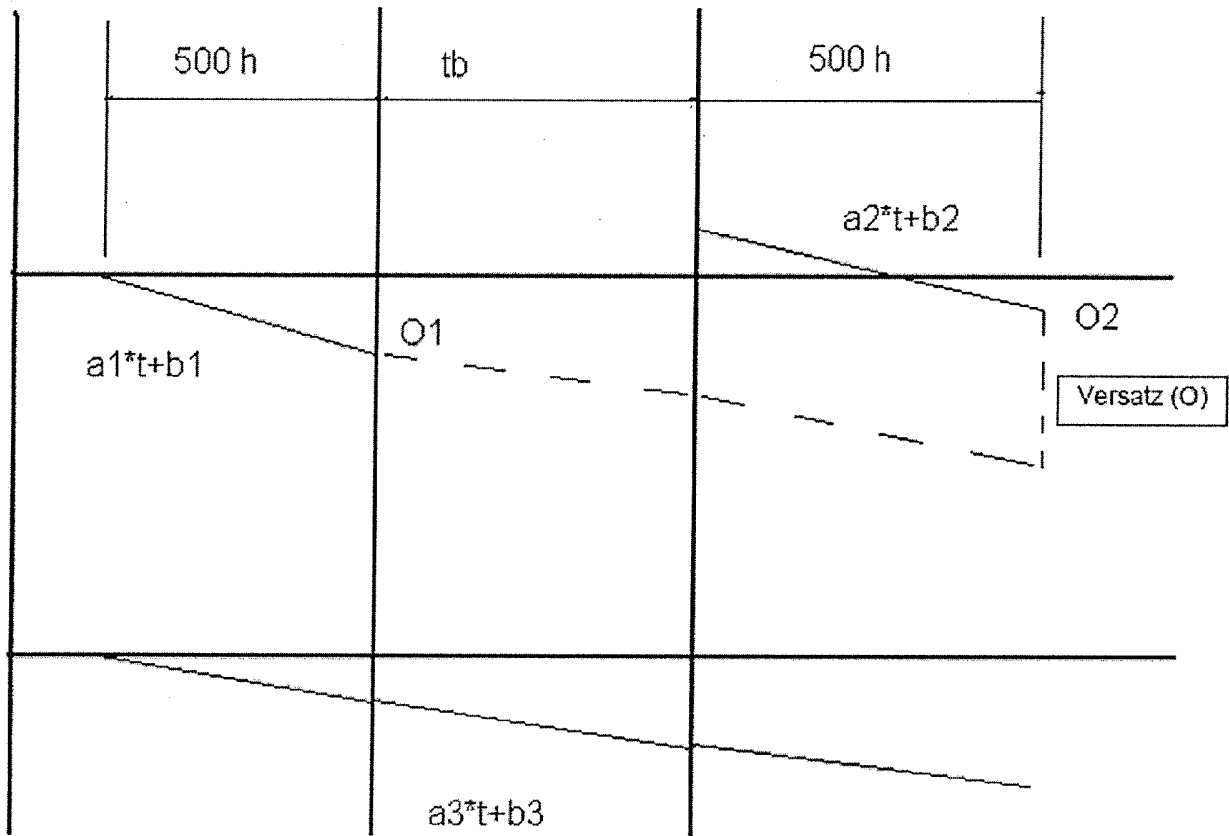


Fig 10