



**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

Anmeldenummer: **92810090.8**

Int. Cl.<sup>5</sup>: **F04D 29/66**

Anmeldetag: **07.02.92**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**11.08.93 Patentblatt 93/32**

Anmelder: **GEBRÜDER SULZER**  
**AKTIENGESELLSCHAFT**  
**Zürcherstrasse 12**  
**CH-8400 Winterthur(CH)**

Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE FR GB LI**

Erfinder: **Gülich, Johann Friedrich**  
**Burgstrasse 62 b**  
**CH-8408 Winterthur(CH)**

**Verfahren und Vorrichtung zum Bestimmen der kavitationsbedingten Erosion in fluiddurchströmten Komponenten.**

Die kavitationsbedingte Erosion in fluiddurchströmten Komponenten wie zum Beispiel einer Pumpe (1) lässt sich durch die Erfassung der Vibration des Pumpengehäuses herleiten. Der kavitationsbedingte Flüssigkeitsschall überträgt sich auf das Pumpengehäuse und wird mittels eines Sensors (7b) einer Körperschall-Messvorrichtung (7a) erfasst, in einer Signalaufbereitungseinheit (10) verstärkt, gefiltert und digitalisiert und einem Rechner (11) übermittelt. Weitere Messdatenerfassungsvorrichtungen wie die Auslassdruck-Messvorrichtung (6), die Saugdruck-Messvorrichtung (8), die Fluidtemperatur-Messvorrichtung (9) oder die Drehzahl-Messvorrichtung (4) ermöglichen dem Rechner (11) zum Beispiel die Berechnung des Förderstromes oder des Zusammenhanges zwischen Förderstrom und Erosionsrate. Die ermittelten Werte sind über die Ausgabeeinheit (13) anzeigbar, wobei zum Beispiel beim Überschreiten eines über die Eingabeeinheit (12) vorgebbaren Grenzwertes die Ausgabeeinheit (13) zum Beispiel eine Warnung aktiviert.

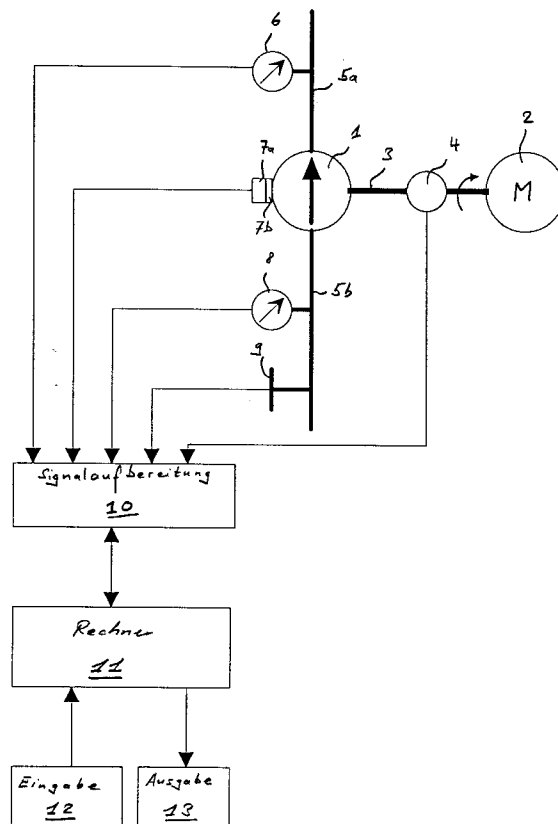


Fig. 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der kavitationsbedingten Erosion in fluiddurchströmten Komponenten gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei Pumpen und anderen fluiddurchströmten Komponenten tritt im geförderten Fluid unter gewissen Bedingungen eine Kavitation auf. So treten zum Beispiel an den Eintrittskanten der Laufradschaufeln einer Kreiselpumpe infolge örtlicher Übergeschwindigkeiten Zonen mit Unterdruck auf, die zur Dampfblasenbildung führen, wenn der örtliche Druck unter den Dampfdruck des geförderten Fluides fällt. Die Dampfblasen werden mit der Strömung in Zonen höheren Druckes gespült, wo sie implodieren. Dabei entsteht örtlich eine sehr hohe Druckspitze beziehungsweise eine sehr hohe Kavitationsintensität, die Materialanfressungen beziehungsweise Kavitationsschäden verursachen können.

Es ist bekannt, die hydrodynamische Kavitationsintensität beziehungsweise die kavitationsbedingte Erosionsrate in fluiddurchströmten Komponenten wie Pumpen, Turbinen, Regel- oder Absperrarmaturen durch die Messung des Flüssigkeitsschalles kontinuierlich abzuschätzen. Ein empirisch ermittelter Zusammenhang zwischen Flüssigkeitsschall und Erosionsrate erlaubt das potentielle Risiko von Kavitationsschäden quantitativ zu beurteilen.

Ein entsprechendes Verfahren mit Vorrichtung zur Bestimmung der Erosionsrate ist zum Beispiel aus "Guidelines for Prevention of Cavitation in Centrifugal Feedpumps, EPRI GS-6398, Project 1884-10, Final Report, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1989" Seite 2-24 sowie Seite B-9 bekannt.

Die Messung des Flüssigkeitsschalles bedingt, dass eine entsprechende Druckmessvorrichtung in die fluiddurchströmte Komponente eingebracht werden muss und mit dem Fluid direkten Kontakt hat. Das Anbringen einer entsprechenden Öffnung in der Aussenwand der fluiddurchströmten Komponente ist besonders bei bestehenden Anlagen, zum Beispiel im Nuklearbereich, aus sicherheitstechnischen Gründen äusserst problematisch. Aus diesem Grund ist das bekannte Verfahren zur Bestimmung der Erosionsrate zum Beispiel für kurzfristige Kontrollen an bestehenden Anlagen ungeeignet. Ein weiterer Nachteil des bekannten Verfahrens liegt darin, dass die Druckmessvorrichtung strömungstechnisch präzise innerhalb der fluiddurchströmten Komponente befestigt werden muss, um Messfehler auf Grund von sich anlagernden Luftblasen zu vermeiden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, die kavitationsbedingte Erosionsrate zu bestimmen ohne die Notwendigkeit eines Messfühlers

innerhalb der fluiddurchströmten Komponente.

Diese Aufgabe wird nach der Erfindung dadurch gelöst, dass eine Körperschall-Messvorrichtung den Körperschall beziehungsweise die Vibration der Aussenwand der fluiddurchströmten Komponente erfasst und einer Signalaufbereitungseinheit weiterleitet, und dass ein Rechner mit numerischen Methoden aus dem aufbereiteten Signal den Flüssigkeitsschall berechnet, daraus die Erosionsrate bestimmt und einer Ausgabeeinheit übermittelt.

Die kavitationsbedingte Erosion in fluiddurchströmten Komponenten wie zum Beispiel einer Pumpe lässt sich durch die Erfassung der Vibration des Pumpengehäuses herleiten. Der kavitationsbedingte Flüssigkeitsschall überträgt sich auf das Pumpengehäuse und wird mittels eines Sensors einer Körperschall-Messvorrichtung erfasst, in einer Signalaufbereitungseinheit verstärkt, gefiltert und digitalisiert und einem Rechner übermittelt. Weitere Messdatenerfassungsvorrichtungen wie die Auslassdruck-Messvorrichtung, die Saugdruck-Messvorrichtung, die Fluidtemperatur-Messvorrichtung oder die Drehzahl-Messvorrichtung ermöglichen dem Rechner zum Beispiel die Berechnung des Förderstromes oder des Zusammenhanges zwischen Förderstrom und Erosionsrate. Die ermittelten Werte sind über die Ausgabeeinheit anzeigbar, wobei zum Beispiel beim Überschreiten eines über die Eingabeeinheit vorgebbaren Grenzwertes die Ausgabeeinheit zum Beispiel eine Warnung aktiviert.

Die Vorteile der Erfindung sind darin zu sehen, dass die Bestimmung der Erosionsrate ohne Eingriff in die fluiddurchströmte Komponente und zudem auch temporär und kurzfristig, z.B. zu Testzwecken oder Kontrollzwecken, durchführbar ist.

Die implodierenden Dampfblasen verursachen Druckwellen, welche mit einer Druckmessvorrichtung als Flüssigkeitsschall messbar sind. Die Druckwellen versetzen dabei auch die Aussenwand der fluiddurchströmten Komponente, z.B. ein Pumpengehäuse, in Schwingung, was sich als Körperschall äussert und zum Beispiel mittels eines Beschleunigungsmessers, der an der Aussenseite des Pumpengehäuses befestigt ist, messbar ist. Sowohl der Flüssigkeitsschall als auch der Körperschall sind abhängig von der hydrodynamischen Kavitationsintensität, und sind daher potentielle Messgrössen zum Abschätzen der durch Kavitation verursachten Erosion.

Kavitationsschäden treten nur dann auf, wenn die vier folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Dampfblasen entstehen in der fliessenden Flüssigkeit
- b) die Dampfblasen gelangen in Zonen, in denen der lokale Druck den Dampfdruck übersteigt

- c) die Dampfblasen implodieren nahe einer festen Oberfläche
- d) die hydrodynamische Kavitationsintensität übersteigt den Kavitationswiderstand des Materials

Sobald implodierende Dampfblasen auftreten, können Druckwellen im Frequenzbereich von typischerweise über 10 kHz gemessen werden. Es ist daher eindeutig feststellbar ob die Bedingungen a) und b) erfüllt sind. Es ist bis heute jedoch keine Möglichkeit bekannt, mittels der Messung von Schallwellen festzustellen, ob Dampfblasen in der Nähe der Oberfläche implodieren und somit potentiell schädlich sind, oder ob die Dampfblasen innerhalb der Flüssigkeit implodieren, wo sie nicht schädlich sind. Die Unfähigkeit festzustellen, ob die Bedingung c) erfüllt ist, ist die gravierendste Einschränkung, wenn mittels der Messung von Schallwellen eine Kavitationsdiagnose durchgeführt wird.

Trotzdem ermöglicht ein Diagnosesystems einen Hinweis zu ermitteln, ob die hydrodynamische Kavitationsintensität den Kavitationswiderstand des Materials übersteigt, und dadurch mögliche Schäden zu quantifizieren.

Empirische Untersuchungen haben ergeben, dass eine Korrelation zwischen dem Metallverlust auf Grund kavitationsbedingter Erosion und dem Flüssigkeitsschall besteht.

Der bekannte Zusammenhang lautet:

$$E_R = f(CNL) \quad (1)$$

wobei  $E_R$  der Erosionsrate (in mm/h) und CNL (Cavitation Noise Level) dem kavitationsbedingten Flüssigkeitsschallpegel entspricht.

Dagegen konnte zwischen der Gehäusevibration CV (Casing Vibrations) und der Erosionsrate  $E_R$  keine Korrelation festgestellt werden.

Die Gleichung

$$P_{ER} = U_R \cdot E_R \quad (2)$$

beschreibt den Zusammenhang der spezifischen Erosionsleistung  $P_{ER}$  als Produkt der maximalen lokalen Erosionsrate  $E_R$  mit der werkstoffabhängigen Materialkonstante  $U_R$ . Empirische Untersuchungen ergaben eine Korrelation zwischen der spezifischen Erosionsleistung  $P_{ER}$  sowie der akustischen Flüssigkeitsschallintensität  $I_{ac}$  (Gleichung 3).

$$P_{ER} = C_N \cdot F_{cor}/F_{Mat} \cdot (I_{ac}/I_R)^x \quad (3)$$

mit den empirischen Konstanten  $C_N$  und  $x$ .

- $F_{cor}$ : Korrosionsfaktor
- $F_{Mat}$ : Faktor für metallurgische Struktur
- $I_{ac}$ : akustische Intensität
- $I_R$ : Referenzgröße

Die gemessene Beschleunigung der Aussenwand

einer fluiddurchströmten Komponente, wie z.B. eines Pumpengehäuses, ist ein Mass für die Druckschwankungen des Fluids innerhalb der Komponente. Mit akustischen Methoden wie z.B. der statistischen Energieanalyse oder durch Bestimmen der Transferfunktion ist eine Ermittlung des Flüssigkeitsschalles NL auf Grund der Gehäusevibration CV möglich (Gleichung 4).

$$NL = f(CV) \quad (4)$$

Aus der Gehäusevibration CV lässt sich somit die akustische Intensität  $I_{ac}$  des Flüssigkeitsschalles bestimmen und daraus die entsprechende Erosionsleistung  $P_{ER}$ . Die Erosionsleistung  $P_{ER}$  und damit die Erosionsrate  $E_R$  lässt sich daher aus der Gehäusevibration CV berechnen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungs- und Anwendungsbeispielen beschrieben. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Anordnung einer Vorrichtung zur Bestimmung der kavitationsbedingten Erosion in einer Pumpe;

Fig. 2 eine schematische Anordnung einer Vorrichtung zur Bestimmung der kavitationsbedingten Erosion sowie der Durchflussmenge;

Fig. 3 eine schematische Anordnung einer Vorrichtung zur Beeinflussung der kavitationsbedingten Erosion einer Pumpe.

Figur 1 zeigt eine Pumpe 1, die durch einen Motor 2 über eine drehende Welle 3 angetrieben ist. Die Pumpe fördert ein Fluid von der Saugleitung 5b zur Druckleitung 5a. Eine Körperschallmessvorrichtung 7 erfasst die Vibrationen der Aussenwand der Pumpe 1, wobei die Körperschallmessvorrichtung 7 fest mit der Aussenwand verbunden sein kann oder zum Beispiel die Vibrationen der Aussenwand berührungslos abtastet. Die Körperschallmessvorrichtung 7 kann auf der Aussenwand aufliegen oder z.B. durch eine Bohrung mehr oder weniger tief in die Aussenwand eingelassen sein. Die Signalaufbereitungseinheit 10 verarbeitet das Vibrationssignal CV, indem es zum Beispiel verstärkt, gefiltert und digitalisiert wird. Der Rechner 11, dem Werte durch die Eingabeeinheit 12 vorgebar sind, und der die berechneten Werte auf der Ausgabereinheit 13 ausgibt, berechnet aus dem aufbereiteten Vibrationssignal den Flüssigkeitsschall NL und unter Verwendung der empirischen Korrelation gemäss Gleichung 3 die Erosionsleistung  $P_{ER}$  sowie unter Verwendung von Gleichung 2 die Erosionsrate  $E_R$ . Die Ausgabereinheit 13 kann weiter z.B. die kumulierte Erosion anzeigen, oder beim Überschreiten einer vorgebbaren Schwelle, zum Beispiel für die Erosionsrate  $E_R$ ,

ein Signal wie zum Beispiel ein Alarm auslösen.

Figur 2 weist gegenüber Figur 1 zusätzliche Messvorrichtungen auf, so eine Auslassdruck-Messvorrichtung 6, eine Saugdruck-Messvorrichtung 8, eine Fluidtemperatur-Messvorrichtung 9 sowie eine Drehzahlmessvorrichtung 4. Die gegenüber Figur 1 zusätzlichen Messvorrichtungen erlauben dem Rechner 11 die Berechnung des aktuellen Förderstromes der Pumpe, die Berechnung des Arbeitspunktes der Pumpe, sowie die Konversion des Förderdruckes auf einen Referenzdruck mit einer Referenzgeschwindigkeit der Welle 3. Die Auswertung der von der Signalaufbereitungsvorrichtung 10 bereitgestellten Daten erlauben dem Rechner 11 zum Beispiel die folgenden Größen zu berechnen:

- spezifische Haltedruckenergie (NPSH, net positiv suction head) der Pumpe 1
- Förderstrom
- Flüssigkeitsschall
- aktuelle Erosionsrate
- Lasthistogramm
- Histogrammes mit Last und Erosionsrate
- kumulierte Erosion

Figur 3 zeigt die gleichen Messvorrichtungen wie Fig. 2. Die Drehzahl des Motors 2 ist über eine Stelleinrichtung 14 steuerbar, welche ihrerseits durch die Ausgabereinheit 13 des Rechners 11 gesteuert wird. Dieser geschlossene Regelkreis erlaubt zum Beispiel, den Förderstrom der Pumpe 1 abhängig von der Erosionsrate zu bestimmen.

Ein geschlossener Regelkreis dieser Art erlaubt es zum Beispiel den Arbeitspunkt der Pumpe durch Verstellen der Motorendrehzahl oder zum Beispiel durch Verstellen der Stellung eines Ventils so zu verändern, dass die Pumpe in einem Bereich mit geringerer Kavitationsgefährdung arbeitet.

Die beschriebenen Ausführungs- und Anwendungsbeispiele lassen sich natürlich auch dann realisieren, wenn der Flüssigkeitsschall NL direkt über eine Druckmessvorrichtung zur Verfügung steht.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der kavitationsbedingten Erosion in fluiddurchströmten Komponenten wie zum Beispiel Pumpen (1) oder Armaturen, dadurch gekennzeichnet, dass eine empirisch bestimmte Relation zwischen Flüssigkeitsschall und Erosionsrate benutzt wird, dass mit einem Messsensor (7b), der sich ausserhalb der fluiddurchströmten Komponente (1) befindet, die Vibration oder der Körperschall der Aussenwandung an mindestens einer Stelle erfasst wird, und dass aus diesem Messsignal der Flüssigkeits-

schall und daraus die Erosionsrate bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit der aus der Akustik bekannten Methode der statistischen Energieanalyse aus dem Vibrations- oder Körperschallsignal der Flüssigkeitsschall ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mittels Transferfunktion aus dem Vibrations- oder Körperschallsignal der Flüssigkeitsschall ermittelt wird.
4. Vorrichtung zum Bestimmen der kavitationsbedingten Erosion in fluiddurchströmten Komponenten wie zum Beispiel eine fluiddfördernde Pumpe (1), die durch einen Motor (2) über eine Welle (3) angetrieben ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messvorrichtung (7a) mit Messsensor (7b) den Körperschall beziehungsweise die Vibration ausserhalb des Fluids erfasst und einer Signalaufbereitungseinheit (10) weiterleitet, und dass ein Rechner (11) mit numerischen Methoden aus dem aufbereiteten Signal eine den Flüssigkeitsschall repräsentierende Grösse berechnet, daraus die Erosionsrate bestimmt und einer Ausgabereinheit (13) übermittelt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (7b) der Messvorrichtung (7a) innerhalb der Aussenwand an die fluiddurchströmte Komponente (1) angekoppelt ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (7b) der Messvorrichtung (7a) an die Aussenwand der fluiddurchströmten Komponente (1) angekoppelt ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor (7b) der Messvorrichtung (7a) die Vibration oder den Körperschall der Aussenwand der fluiddurchströmten Komponente (1) berührungslos misst.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Signale einer Auslassdruck-Messvorrichtung (6), einer Saugdruck-Messvorrichtung (8) sowie einer Fluidtemperatur-Messvorrichtung (9) von der Signalaufbereitungseinheit (10) erfasst, verstärkt und digitalisiert werden, derart, dass mit Hilfe des Rechners (11) der Förderstrom bestimmbar ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Drehzahl-Messvorrichtung (4) die Drehzahl der Welle (3) über die Signalaufbereitungseinheit (10) an den Rechner (11) leitet. 5
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9 dadurch gekennzeichnet, dass, wenn die Erosionsrate einen dem Rechner (11) vorgebbaren Schwellenwert übersteigt, die Ausgabeeinheit (13) darauf aufmerksam macht. 10
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass beim Überschreiten einer vorgebbaren Erosionsrate die Ausgabeeinheit (13) über eine Stelleinrichtung (14) den Förderstrom durch die fluiddurchströmte Komponente (1) verändert. 15
12. Fluidpumpe überwacht, gesteuert oder geregelt mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 11. 20

25

30

35

40

45

50

55

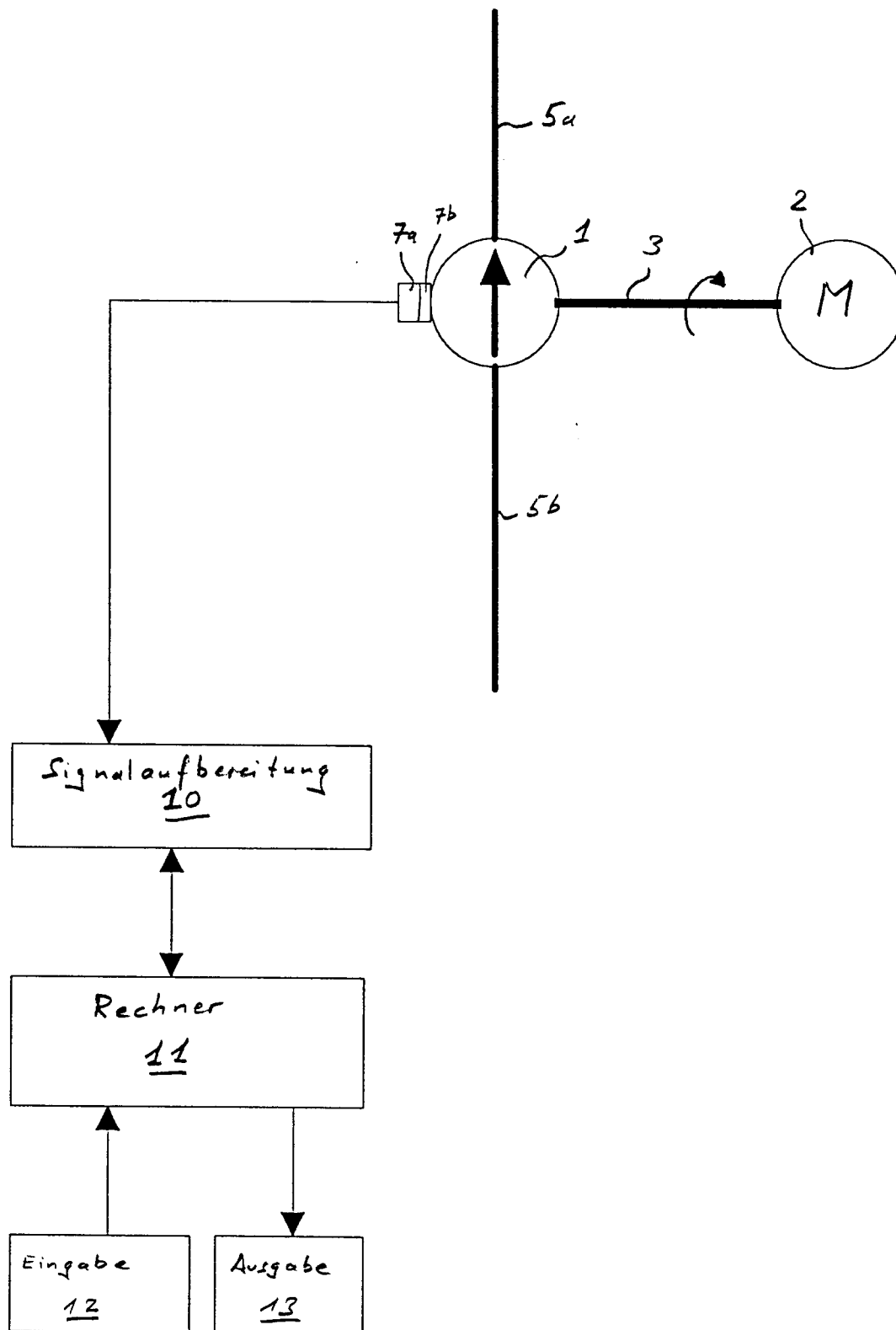


Fig. 1

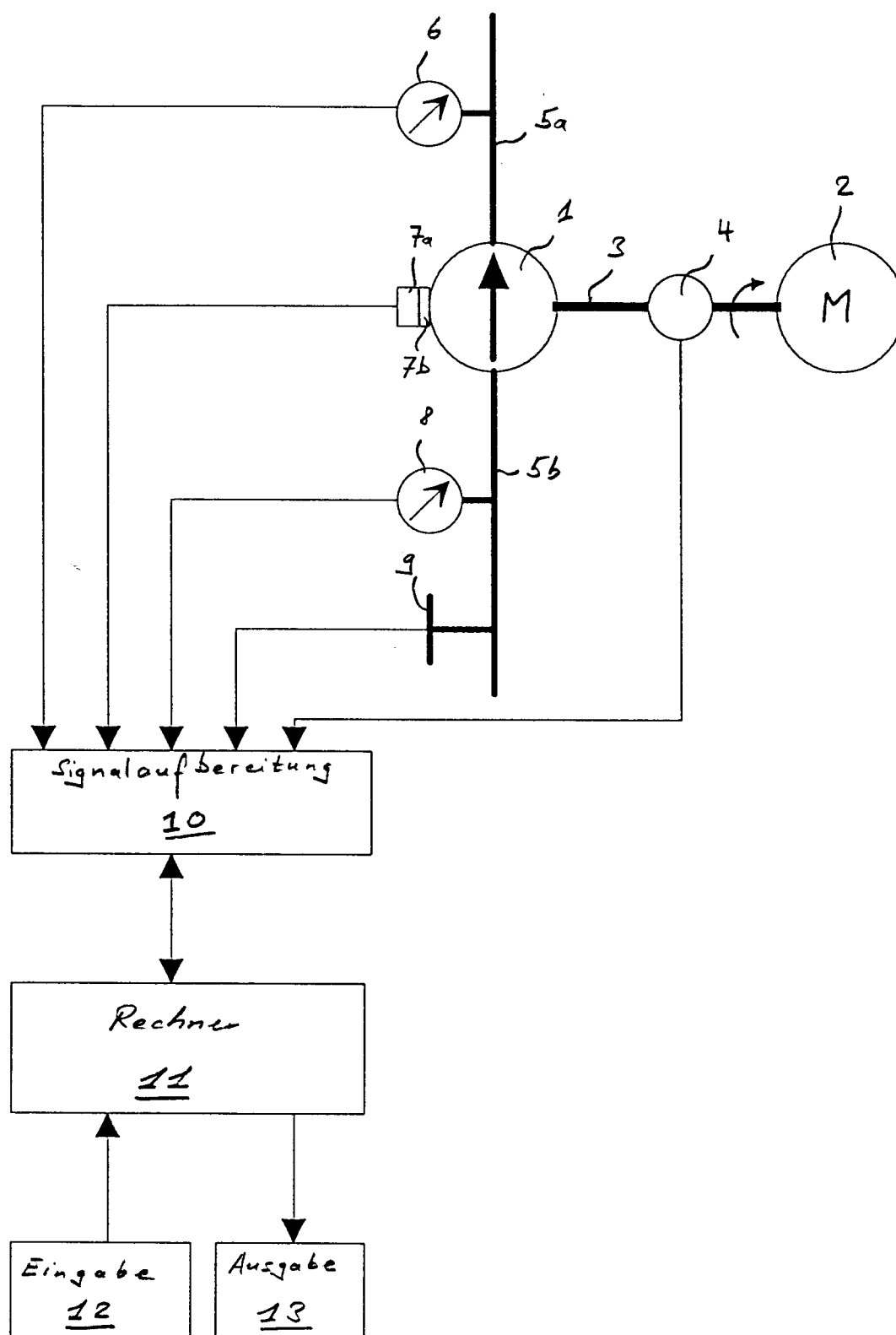


Fig. 2

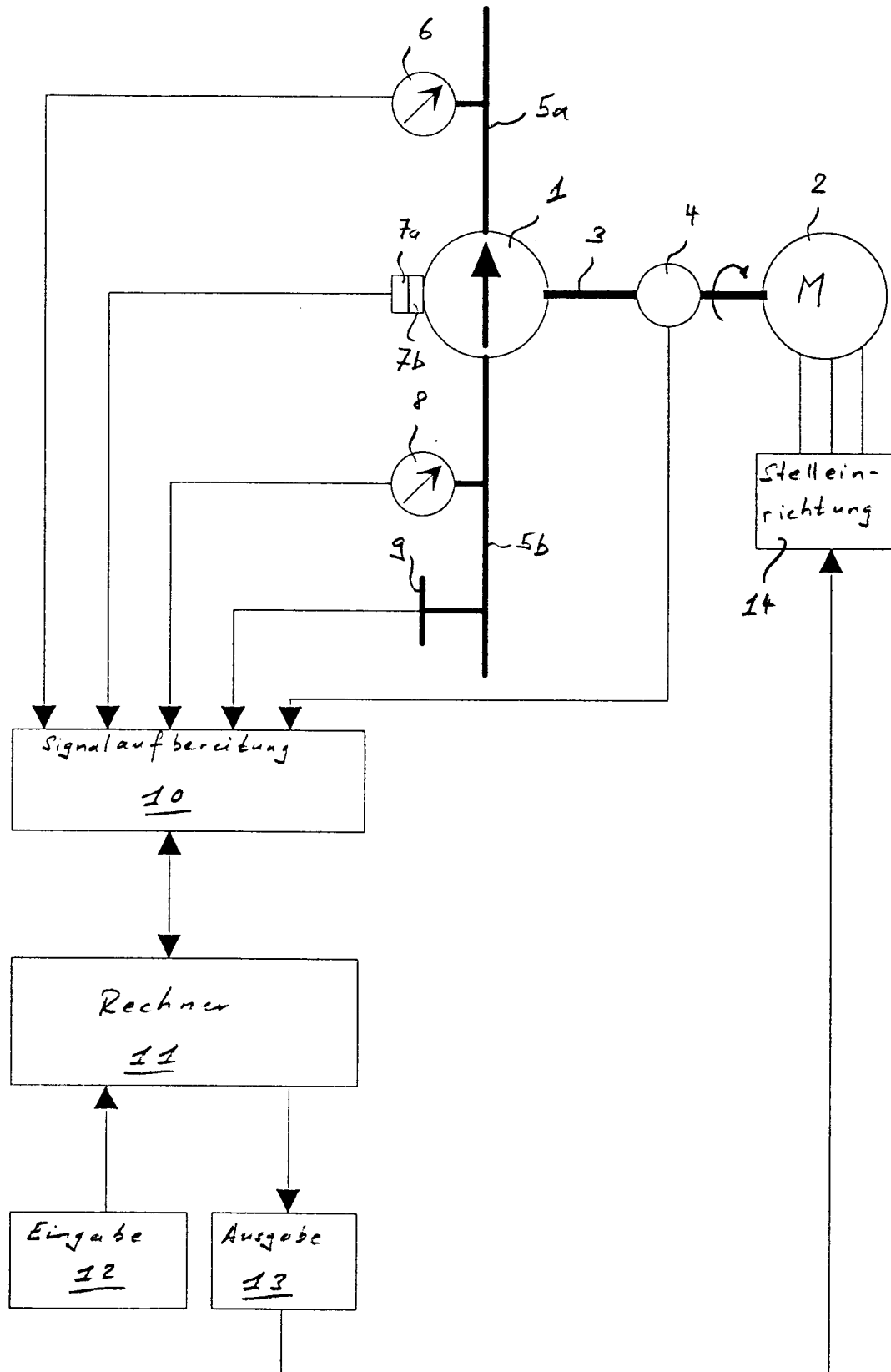


Fig. 3





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 81 0090

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE  |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Kategorie   | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile   | Betrifft Anspruch   | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5) |
| X   | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 14, no. 144 (M-951)19. März 1990<br>& JP-A-20 10 000 ( ISHIKAWAJIMA HARIMA )<br>12. Januar 1990<br>* Zusammenfassung *                      | 1   | F04D29/66                                |
| A   | ---   | 4,6   |  |
| X   | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 11, no. 94 (M-574)25. März 1987<br>& JP-A-61 244 896 ( SHIPBUILD RES. ASSOC.<br>JAPAN ) 31. Oktober 1986<br>* Zusammenfassung *             | 1   |  |
| A   | ---   | 4,11  |  |
| X   | DE-A-3 520 538 (KRAFTWERK UNION)<br>* Seite 4, Zeile 8 - Zeile 17 *<br>* Seite 5, Zeile 1 - Zeile 8 *<br>* Seite 7, Zeile 23 - Seite 11, Zeile 36;<br>Abbildungen 1,2 *       | 1   |  |
| Y   | ---   | 4,6,11  |  |
| Y   | WORLD PUMPS<br>Nr. 296, Mai 1991, OXFORD, GB<br>Seite 30 'cavitation monitor'<br>---  | 4,6,11  | RECHERCHIERTE<br>SACHGEBIETE (Int. Cl.5) |
| A   | DATABASE WPIL<br>Section EI, Week 8231,<br>Derwent Publications Ltd., London, GB;<br>Class S, AN 82K4286E<br>& SU-A-872 972 (DENISOV) 18. Oktober 1981<br>* Zusammenfassung * | 1-4   | F04D                                     |
| A   | US-A-3 761 196 (WEINERT)<br>* Spalte 1, Zeile 19 - Zeile 22 *<br>* Spalte 2, Zeile 15 - Zeile 40 *<br>* Spalte 2, Zeile 61 - Spalte 3, Zeile 13;<br>Abbildung 1 *<br>-----    | 1,7,8   |  |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt   |   |   |  |
| Recherchenort   | Abchlußdatum der Recherche  | Prüfer  |  |
| DEN HAAG  | 07 OKTOBER 1992   | ZIDI K.   |  |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE   |   | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder<br>nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument<br>-----<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes<br>Dokument |  |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer<br>anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |   |   |  |