



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**18.10.2023 Patentblatt 2023/42**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F04B 51/00** <sup>(2006.01)</sup> **F04B 1/34** <sup>(2006.01)</sup>  
**F04B 49/06** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **23164766.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F04B 51/00; F04B 1/34; F04B 49/06;**  
**F04B 2205/05; F04C 2270/80**

(22) Anmeldetag: **28.03.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
 Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Hydac Fluidtechnik GmbH**  
**66280 Sulzbach/Saar (DE)**

(72) Erfinder: **Pietrzyk, Tobias**  
**66822 Lebach (DE)**

(74) Vertreter: **Bartels und Partner, Patentanwälte**  
**Lange Strasse 51**  
**70174 Stuttgart (DE)**

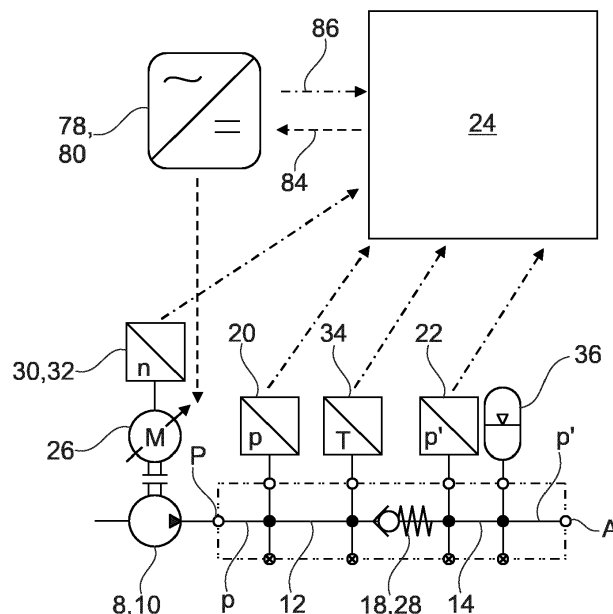
(30) Priorität: **16.04.2022 DE 102022001315**

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ERMITTELN EINES ZUSTANDES, INSBESONDERE EINES VERSCHLEISSZUSTANDES, EINER VERDRÄNGEREINHEIT**

(57) 1. Vorrichtung und Verfahren zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit

2. Es ist eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit (8) offenbart, mit einer an eine Hochdruckseite der Verdrängereinheit (8) angeschlossenen Fluidleitung (12, 14); zumindest einer mit der Fluidleitung (12, 14) fluidisch verbundenen Fluideinrichtung (18), die strom-

aufwärts von sich in der Fluidleitung (12, 14) einen Fluidruckaufbau ermöglicht; jeweils einem Drucksensor (20, 22), der in der Fluidleitung stromaufwärts vor jeder Fluideinrichtung (18) eine Systemgröße in Form des Fluiddrucks ( $p, p'$ ) erfasst, und einer Auswerteeinrichtung (24), die derart eingerichtet ist, dass diese in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße ( $p, p'$ ) den Zustand der Verdrängereinheit (8) ermittelt.



**Fig. 1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere eines Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit.

**[0002]** Aus EP 1 960 666 B1 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Zustandsüberwachung bei Axialkolbenmaschinen bekannt. Die Vorrichtung hat eine Erfassungseinheit, die an und in der Axialkolbenmaschine angebrachte Sensoren zur Erfassung von Betriebsdaten, insbesondere einem Druck in einer Hochdruckleitung der Axialkolbenmaschine, und zur Erfassung von Überwachungsdaten aufweist. Die Betriebsdaten und die Überwachungsdaten werden jeweils mittels einer mit der Erfassungseinheit verbundenen Auswerteeinrichtung im Zeit- bzw. im Zeit- und Frequenzbereich analysiert. In einer sich an die Auswerteeinrichtung anschließenden Diagnoseeinheit werden die analysierten Betriebs- und Überwachungsdaten verknüpft und von einer sich wiederum an die Diagnoseeinheit anschließenden Ausgabereinheit sind in Bezug auf einen Maschinenzustand ein Voralarm, der eine anstehende nächste Wartung kennzeichnet, und ein Hauptalarm auslösbar, der einen für den weiteren Betrieb kritischen Maschinenzustand anzeigt und einen Notschalter betätigen kann.

**[0003]** Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Ermitteln des Zustandes, insbesondere des Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit bereitzustellen, die bei verringertem Aufwand im Hinblick auf die Durchführung der Zustandsermittlung eine genaue Zustandsermittlung zulässt.

**[0004]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 in seiner Gesamtheit gelöst.

**[0005]** Gemäß Anspruch 1 hat die erfindungsgemäße Vorrichtung eine an eine Hochdruckseite der Verdrängereinheit angeschlossene Fluidleitung; zumindest eine mit der Fluidleitung fluidisch verbundene Fluideinrichtung, die stromaufwärts von sich in der Fluidleitung einen Fluiddruckaufbau ermöglicht; jeweils einen Drucksensor, der in der Fluidleitung stromaufwärts vor der jeweiligen Fluideinrichtung eine Systemgröße in Form des Fluiddrucks erfasst; und eine Auswerteeinrichtung, die derart eingerichtet ist, dass diese in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße den Zustand, insbesondere den Verschleißzustand, der Verdrängereinheit ermittelt.

**[0006]** Erfindungsgemäß ist zunächst erkannt worden, dass eine jeweilige Verdrängereinheit mit zunehmendem Verschleiß in Relation zu deren Neuzustand zum Erzeugen eines vorgegebenen Fluiddrucks zumindest bereichsweise mit einer höheren Drehzahl anzutreiben ist oder anders formuliert bei vorgegebener Drehzahl zumindest bereichsweise einen geringeren Fluiddruck abgibt. Die dahingehenden Erkenntnisse sind grundlegend für die vorliegende Erfindung, die in Anspruch 1 wiedergegeben ist.

**[0007]** Durch die Merkmale des Anspruchs 1, insbesondere aufgrund der Fluideinrichtung, kann in der Fluidleitung in Abhängigkeit einer entsprechenden Ansteuerung der Verdrängereinheit ein Fluiddruck als eine Systemgröße aufgebaut, gehalten und gegebenenfalls wieder abgebaut werden, wobei in dem dahingehenden Kurvenverlauf des Fluiddrucks eine für den Zustand der jeweiligen Verdrängereinheit signifikante Verlaufsänderung erkennbar ist, die einen charakteristischen Betriebspunkt der Verdrängereinheit kennzeichnet, in dem der theoretische Volumenstrom der Verdrängereinheit ihren volumetrischen Verlusten entspricht, und wobei ein Vergleich von Systemgrößen, insbesondere des Fluiddrucks, im Betriebspunkt oder zumindest eines von diesen abhängigen Parameters, insbesondere der Verdrängereinheit, mit entsprechenden Referenzwerten einen genauen Rückschluss auf den Zustand der Verdrängereinheit zulässt. Die Fluiddruckänderung kann während eines Diagnoselaufes, eines Hochfahrens oder Abschaltens einer Fluideinrichtung in Form der Verbraucheranordnung stattfinden. Die Systemgrößen werden dabei mittels der Auswerteeinrichtung ausschließlich im Zeitbereich verarbeitet, wodurch in Relation zur zumindest teilweisen Verarbeitung im Frequenzbereich eine geringere Rechenleistung der Auswerteeinrichtung und eine geringere Abtastfrequenz der Sensorik bereitgestellt werden kann sowie geringere Datenmengen zu verarbeiten sind. Dadurch kann die Zustandsermittlung mit geringem Aufwand durchgeführt werden. Zudem ist die Vorrichtung außerhalb der Verdrängereinheit vorgesehen, wodurch die Vorrichtung jederzeit mit jedweder Verdrängereinheit kombinierbar ist, beispielsweise nach Verkauf der Verdrängereinheit nachrüstbar ist.

**[0008]** Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Verdrängereinheit hydrostatisch und/oder drehzahlregelbar ausgebildet. Besonders bevorzugt ist die Verdrängereinheit als Pumpe ausgebildet, vorzugsweise als Konstantpumpe. Das verwendete Fluid kann Hydraulikflüssigkeit sein, insbesondere Hydrauliköl, so dass die Fluidkomponenten der Vorrichtung entsprechend als Hydraulikkomponenten ausgebildet sind.

**[0009]** Die jeweilige Fluideinrichtung in Form einer Fluidsteuereinrichtung kann derart eingerichtet sein, dass der Fluiddruck stromaufwärts in der Fluidleitung zumindest bis zu einem vorgebbaren Druck und/oder durch entsprechende Ansteuerung der jeweiligen Fluideinrichtung aufgebaut wird.

**[0010]** Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist eine Fluideinrichtung als eine mit einem Nenndruck betreibbare Verbraucheranordnung ausgebildet, die an die Fluidleitung, insbesondere an ein der Verdrängereinheit abgewandtes Ende der Fluidleitung, angeschlossen ist. Die Verbraucheranordnung kann eine ansteuerbare Ventileinrichtung aufweisen, die bei entsprechender Ansteuerung den genannten Druckaufbau ermöglicht und/oder ein auf den Nenndruck eingestelltes Druckbegrenzungsventil aufweisen, das die Verbraucheranordnung gegen einen Druck über dem Nenndruck absichert.

5 [0011] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel unterteilt eine weitere Fluideinrichtung die Fluidleitung in einen mit der Verdrängereinheit verbundenen Fluidleitungsteil und einen weiteren Fluidleitungsteil und/oder ist die weitere Fluideinrichtung derart eingerichtet, dass diese eine Fluiddruckweitergabe von dem einen Fluidleitungsteil in den weiteren Fluidleitungsteil, insbesondere ab einer vorgebbaren Druckschwelle, zulässt und in die entgegengesetzte Richtung blockiert. Besonders bevorzugt ist die weitere Fluideinrichtung als Rückschlagventil ausgebildet, das in Richtung von der Verdrängereinheit weg öffnet.

10 [0012] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist eine Einrichtung vorgesehen, die eine Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit ermittelt, die als weitere Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes mit einfließt. Die Einrichtung kann als Drehzahlsensor ausgebildet sein, der die Drehzahl an der Verdrängereinheit oder an einem die Verdrängereinheit antreibenden Elektromotor erfasst. Dabei können sich die Drehzahl des Elektromotors und der Verdrängereinheit entsprechen.

15 [0013] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein Temperatursensor, der eine als weitere Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes miteinfließende Temperatur des durch die Verdrängereinheit strömenden Fluids erfasst. Diese Fluidtemperatur kann der Temperatursensor in der Fluidleitung oder in einem Tank erfassen, aus dem die Verdrängereinheit Fluid ansaugt und/oder in den die Verbraucheranordnung Fluid abführt.

[0014] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ein Hydrospeicher vorgesehen, der an die Fluidleitung, insbesondere den weiteren Fluidleitungsteil, angeschlossen ist zwecks Ausgleichs eines Druckabfalls.

20 [0015] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird, vorzugsweise mittels des weiteren Drucksensors, der Nenn- oder Lastdruck der Verbraucheranordnung erfasst, der als Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes miteinfließt. Der mittels des weiteren Drucksensors erfasste weitere Fluiddruck kann dem Nenn- oder Lastdruck der Verbraucheranordnung entsprechen.

[0016] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist eine Einrichtung vorgesehen, die einen Schwenkwinkel der Verdrängereinheit ermittelt, der als weitere Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes mit einfließt. Dabei ist die Verdrängereinheit als Verstellpumpe, beispielsweise als Axialkolbenpumpe, ausgebildet.

25 [0017] Gegenstand der Erfindung ist zudem ein Verfahren zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere eines Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit, insbesondere unter Verwendung einer vorstehenden Vorrichtung, mit folgenden Verfahrensschritten: Aufbauen eines Fluiddrucks in einer Fluidleitung stromaufwärts vor zumindest einer mit der Fluidleitung fluidisch verbundenen Fluideinrichtung, wobei die Fluidleitung an die Hochdruckseite der Verdrängereinheit angeschlossen ist; Erfassen einer Systemgröße in Form des jeweiligen Fluiddrucks in der Fluidleitung stromaufwärts vor der jeweiligen Fluideinrichtung; und Ermitteln des Zustandes der Verdrängereinheit in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße.

30 [0018] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird der Zustand zudem in Abhängigkeit zumindest einer der folgenden weiteren Systemgrößen ermittelt: einer Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit; eines Schwenkwinkels der Verdrängereinheit; und einer Temperatur des durch die Verdrängereinheit strömenden Fluids.

35 [0019] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit zumindest nach einer der folgenden Möglichkeiten ermittelt: mittels eines Drehzahlsensors erfasst; aus einem einer elektrischen Ansteuerung des Elektromotors zum Antreiben der Verdrängereinheit zuordenbaren Signal abgeleitet; und aus von der Verdrängereinheit abgegebenen Schallsignalen abgeleitet.

40 [0020] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird zum Ermitteln des Betriebspunktes zumindest einer der folgenden Änderungsprozesse über eine Zeitspanne durchgeführt: die Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit wird geändert; ein Nenn- oder Lastdruck einer Verbraucheranordnung wird geändert, die an die Fluidleitung, insbesondere an das der Verdrängereinheit abgewandte Ende der Fluidleitung, angeschlossen ist; und ein Schwenkwinkel der Verdrängereinheit wird geändert. Besonders bevorzugt wird die Antriebsdrehzahl, der Nenn- oder Lastdruck und/oder der Schwenkwinkel während des Änderungsprozesses erhöht und/oder abgesenkt, vorzugsweise zunächst erhöht und darauffolgend wieder abgesenkt oder umgekehrt.

45 [0021] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel beträgt der Abtastzeitraum des jeweiligen Kurvenverlaufs des Fluiddrucks oder einem von diesem abhängigen Kurvenverlauf während des Steigerns oder Verringerns der Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit bis zu 3 Sekunden, vorzugsweise ca. 0,5 oder 2,5 Sekunden, und/oder die Abtastrate 100 bis 300 Hertz, vorzugsweise 200 Hertz.

50 [0022] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird im Rahmen des Änderungsprozesses die Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit ausgehend von einem positiven Wert in Richtung Null, insbesondere rampenförmig, verringert, währenddessen der Kurvenverlauf zumindest eines jeweiligen Fluiddrucks zunächst im Wesentlichen konstant, insbesondere entsprechend dem Nenndruckwert der Verbraucheranordnung, ist und darauffolgend bei Unterschreiten einer bestimmten Drehzahl beginnt abzufallen, was die signifikante Verlaufsänderung darstellt.

55 [0023] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird basierend auf einer zeitlichen Analyse der Änderung zumindest einer Systemgröße im Betriebspunkt oder eines davon abhängigen Parameters, insbesondere der Verdrängereinheit, der zukünftige Zustand, insbesondere Verschleißzustand, und/oder die Restlebensdauer der Verdrängereinheit geschätzt. Entsprechend kann die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zum Er-

mitteln des zukünftigen Zustandes, insbesondere Verschleißzustandes, und/oder der Restlebensdauer der Verdrängereinheit dienen.

[0024] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird unter Verwendung der Antriebsdrehzahl  $n_{DAD}$  der Verdrängereinheit im Betriebspunkt, des jeweiligen Fluiddrucks  $p_{DAD}$  im Betriebspunkt und gegebenenfalls des geometrischen Fördervolumens  $V_g$  der Verdrängereinheit, ein Parameter berechnet, insbesondere der Parameter

$$\lambda = \frac{n_{DAD} \cdot V_g}{p_{DAD}}$$

der Verdrängereinheit. Dabei steht "DAD" für Druck-Abknick-Drehzahl. Weil der Leckagestrom der Verdrängereinheit bei zunehmender Temperatur aufgrund der abnehmenden Viskosität der Hydraulikflüssigkeit zu-

$$\lambda = \frac{Q_{Leck}}{\Delta p_p}$$

nimmt, ist der Parameter der Verdrängereinheit temperaturabhängig und wird unter Ausführen des Schlussvergleichs in Abhängigkeit derselben Temperatur mit einem Referenz-Parameter  $\lambda$  der Verdrängereinheit verglichen.

[0025] Im Folgenden wird die für die vorliegende Erfindung grundlegende Formel des volumetrischen Wirkungsgrades  $\eta_{vol}$  [%] näher erläutert:

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{eff}}{Q_{th}} = \frac{Q_{th} - Q_{Leck}}{Q_{th}} = \frac{Q_{th} - \lambda \cdot \Delta p_p}{Q_{th}}$$

[0026] Dabei steht

- $Q_{eff}$  für den tatsächlichen, also effektiven Volumenstrom der Verdrängereinheit,
- $Q_{th}$  für den berechneten, theoretischen Volumenstrom der Verdrängereinheit,
- $Q_{Leck}$  für den internen Leckagestrom der Verdrängereinheit,
- $\lambda$  für den charakteristischen Parameter der Verdrängereinheit, und
- $\Delta p_p$  für die über der Verdrängereinheit abfallende Druckdifferenz, die dem Fluiddruck  $p$  auf der Hochdruckseite der Verdrängereinheit entspricht, wenn die Verdrängereinheit aus einem Tank ansaugt, in dem Umgebungsdruck herrscht.

[0027] In dem genannten charakteristischen Betriebspunkt mit der Antriebsdrehzahl  $n_{DAD}$  und dem Fluiddruck  $p_{DAD}$  entspricht der theoretische Volumenstrom  $Q_{th}$  der Verdrängereinheit ihrem internen Leckagestrom  $Q_{Leck}$ , so dass der volumetrische Wirkungsgrad  $\eta_{vol}$  der Verdrängereinheit gleich Null ist. Dabei entspricht  $Q_{th} = V_g \cdot n = Q_{Leck} = \lambda \cdot \Delta p_p$ , wobei  $V_g$  für das geometrische Fördervolumen der Verdrängereinheit und  $n$  für die Antriebsdrehzahl der Verdrängereinheit steht.

[0028] Im Folgenden wird die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen in Prinzipdarstellung

Fig. 1 teilweise in der Art eines hydraulischen Schaltplans und teilweise in Blockdarstellung die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Ermitteln eines Zustandes einer Verdrängereinheit;

Fig. 2 einen über der Zeit aufgetragenen Drehzahlkurvenverlauf für eine Verdrängereinheit nach Fig. 1;

Fig. 3 einen über der Zeit aufgetragenen Druckkurvenverlauf auf der Hochdruckseite der Verdrängereinheit nach Fig. 1, der von dem Drehzahlkurvenverlauf nach Fig. 2 abhängig ist;

Fig. 4 oben einen teilweisen Drehzahlkurvenverlauf gemäß Fig. 2 und unten davon abhängige teilweise Druckkurvenverläufe gemäß Fig. 3 von verschiedenen Verschleißzuständen aufweisenden Verdrängereinheiten, wobei die Druckkurvenverläufe im Bereich ihrer jeweiligen signifikanten Verlaufsänderung abgebildet sind, die einen für den Zustand charakteristischen Betriebspunkt der jeweiligen Verdrängereinheit kennzeichnen;

Fig. 5 einen im Bereich der signifikanten Verlaufsänderung vergrößerten und über der Drehzahl der Verdrängereinheit aufgetragenen Druckkurvenverlauf;

Fig. 6 über dem Verschleißzustand der Verdrängereinheit aufgetragene Kurvenverläufe des Parameters  $\lambda$  der Verdrängereinheit in Abhängigkeit der Temperatur des die Verdrängereinheit durchströmenden Fluids; und

Fig. 7 und 8 in jeweils einer Blockdarstellung den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0029]** Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere eines Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit 8 weist gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel einen Druckversorgungsanschluss P und eine mit einem Ende an den Druckversorgungsanschluss P angeschlossene Fluidleitung 12, 14 auf. Zudem sind zwei mit der Fluidleitung 12, 14 fluidisch verbundene Fluideinrichtungen 18 (in den Figuren ist nur eine dargestellt) und jeweils ein Drucksensor 20, 22, der in der Fluidleitung 12, 14 stromaufwärts vor jeder Fluideinrichtung 18 eine Systemgröße in Form des Fluiddrucks  $p$ ,  $p'$  erfasst, sowie eine Auswerteeinrichtung 24 vorgesehen. Die Fluideinrichtungen 18 ermöglichen jeweils stromaufwärts von sich in der Fluidleitung 12, 14 einen Fluiddruckaufbau und die Auswerteeinrichtung 24 ist derart eingerichtet, dass diese in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße  $p$ ,  $p'$  den Zustand, insbesondere den Verschleißzustand, der Verdrängereinheit 8 ermittelt.

**[0030]** An den Druckversorgungsanschluss P, also das eine Ende der Fluidleitung 12, 14, ist mit ihrer Hochdruckseite die hydrostatische Verdrängereinheit 8 angeschlossen. Die Verdrängereinheit 8 ist als drehzahlgeregelte Pumpe 10, vorzugsweise als Konstantpumpe, ausgebildet, die mittels eines Elektromotors 26 antreibbar ist.

**[0031]** An dem anderen Ende der Fluidleitung 12, 14 ist ein Verbraucheranschluss A vorgesehen, an den eine in den Figuren nicht gezeigte Fluideinrichtung fluidisch angeschlossen ist. Diese Fluideinrichtung kann als eine mit einem Nenndruck  $p_{Nenn}$  betreibbare Verbraucheranordnung ausgebildet sein. Eine weitere Fluideinrichtung 18 ist in die Fluidleitung 12, 14 geschaltet und unterteilt die Fluidleitung 12, 14 in einen mit dem Druckversorgungsanschluss P fluidisch verbundenen Fluidleitungsteil 12 und einen mit dem Verbraucheranschluss A fluidisch verbundenen weiteren Fluidleitungsteil 14. Die weitere Fluideinrichtung 18 ist derart eingerichtet, dass diese eine Fluiddruckweitergabe von dem Druckversorgungsanschluss P zu dem Verbraucheranschluss A ab einer vorgebbaren Druckschwelle zulässt, die insbesondere in etwa dem Nenndruck  $p_{Nenn}$  der Verbraucheranordnung entspricht, und von dem Verbraucheranschluss A zu dem Druckversorgungsanschluss P permanent blockiert. Die weitere Fluideinrichtung 18 ist als, insbesondere federkraftbetätigtes, Rückschlagventil 28 ausgebildet, das in Richtung des Verbraucheranschlusses A öffnet.

**[0032]** Es ist eine Einrichtung 30 zum Ermitteln der Antriebsdrehzahl  $n$  der Pumpe 10 vorgesehen, die als Drehzahlsensor 32 zum Erfassen der Drehzahl  $n$  des Elektromotors 26 ausgebildet ist. Zudem ist ein Drucksensor 20 vorgesehen, der an den Fluidleitungsteil 12 angeschlossen ist und in dem Fluidleitungsteil 12 einen Fluiddruck  $p$  erfasst. Ebenfalls an den Fluidleitungsteil 12 angeschlossen sein kann ein Temperatursensor 34, der in dem Fluidleitungsteil 12 die Fluidtemperatur T erfassen kann. Zudem kann an den weiteren Fluidleitungsteil 14 ein Hydrospeicher 36 zum Ausgleichen von etwaigen Druckverlusten in dem weiteren Fluidleitungsteil 14 angeschlossen sein, beispielsweise aufgrund von Leckageströmen seitens der Verbraucheranordnung. Der Drehzahlsensor 32, der Drucksensor 20 und der Temperatursensor 34 sind elektrisch mit der Auswerteeinrichtung 24 verbunden. Die so erfasste Antriebsdrehzahl  $n$  der Pumpe 10, der Fluiddruck  $p$  und die Temperatur T stellen jeweils eine weitere Systemgröße dar, die in die Ermittlung des Zustandes mittels der Auswerteeinrichtung 24 miteinfließen.

**[0033]** Für ein zweites Ausführungsbeispiel der Vorrichtung gelten die voranstehenden Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel entsprechend.

**[0034]** Zusätzlich ist bei dem zweiten Ausführungsbeispiel an den weiteren Fluidleitungsteil 14 ein weiterer Drucksensor 22 angeschlossen und erfasst in dem weiteren Fluidleitungsteil 14 einen weiteren Fluiddruck  $p'$ , der als weitere Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes miteinfließt. Der weitere Drucksensor 22 ist elektrisch mit der Auswerteeinrichtung 24 verbunden. Der weitere Fluiddruck  $p'$  kann dem Nenndruck  $p_{Nenn}$  der Verbraucheranordnung entsprechen. Durch einen Druckverlust bei Durchströmen des Rückschlagventils 28 kommt es zu einer Druckdifferenz, so dass der Druck  $p$  um die Druckdifferenz größer ist als der Druck  $p'$ . Bei guter Auslegung des Rückschlagventils 28 ist die Druckdifferenz eher gering.

**[0035]** Im Folgenden wird das von der Auswerteeinrichtung 24 im Zeitbereich durchgeführte, erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert:

Zum Ermitteln des Zustandes der Pumpe 10 wird ein charakteristischer Betriebspunkt der Pumpe 10 ermittelt, in dem der theoretische Volumenstrom  $Q_{th}$  der Pumpe 10 ihren volumetrischen Verlusten  $Q_{Leck}$  entspricht, das heißt der volumetrische Wirkungsgrad  $\eta_{vol}$  der Pumpe 10 Null ist.

**[0036]** Zum Ermitteln dieses Betriebspunktes wird die Antriebsdrehzahl  $n$  der Pumpe 10 im Rahmen eines in Fig. 2 gezeigten Änderungsprozesses über eine Zeitspanne [s] von ca. Null bis zu einem vorgebbaren Drehzahlwert  $n [min^{-1}]$  gesteigert und wieder auf ca. Null reduziert. Die Drehzahl  $n$  kann dabei zumindest derart gesteigert werden, dass der

auf der Hochdruckseite der Pumpe 10 herrschende Fluiddruck  $p$  zumindest den Nenndruck  $p_{Nenn}$  der Verbraucheranordnung erreicht. Die Antriebsdrehzahl  $n$  wird während des Änderungsprozesses mittels des Drehzahlsensors 32 erfasst und kann einen im Wesentlichen dreieckförmigen Verlauf  $n_V$  beschreiben, kann also prinzipiell eine ansteigende Rampe aufweisen, an die sich eine abfallende Rampe 41 anschließt. Gleichzeitig zu der dahingehend geänderten Antriebsdrehzahl  $n$  wird bei dem ersten Ausführungsbeispiel mittels des Drucksensors 20 in dem Fluidleitungsteil 12 ein in Fig. 3 gezeigter Fluiddruckverlauf  $p_V$  und mittels des Temperatursensors 34 die Temperatur  $T$  in dem Fluidleitungsteil 12 erfasst. Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel wird zudem mittels des weiteren Drucksensors 22 der Fluiddruckverlauf  $p'_V$  oder  $p_{Nenn,V}$  in dem weiteren Fluidleitungsteil 14 erfasst. Der Abtastzeitraum  $AZ$  des jeweiligen Fluiddruckverlaufs während des Reduzierens der Antriebsdrehzahl  $n$  der Pumpe 10 kann wie in Fig. 3 gezeigt ca. 0,5 Sekunden oder wie in den Fig. nicht dargestellt beispielsweise 2,5 Sekunden betragen, wobei die Abtastrate in etwa 200 Hertz betragen kann. Gleiches kann für den Zeitraum des Steigerns der Antriebsdrehzahl  $n$  gelten.

**[0037]** Nach der Erfassung 38 (Fig. 7) der Systemgrößen  $n, p, p', T$  können die Werte jeder Systemgröße  $n, p, p', T$  einer Datenfilterung 40 unterzogen werden, beispielsweise kann ein Mittelwert der jeweiligen Systemgrößenwerte  $n, p, p', T$  aus den letzten erfassten Systemgrößenwerten  $n, p, p', T$  im Sinne eines gleitenden Durchschnittes gebildet werden.

**[0038]** Der in Fig. 3 gezeigte Fluiddruckverlauf  $p_V$  [bar] des Drucksensors 20, der über der Zeit [s] aufgetragen ist, ist im Wesentlichen trapezförmig ausgebildet, weist also eine ansteigende und eine abfallende 42 Rampe auf, zwischen denen der Fluiddruckverlauf  $p_V$  einen im Wesentlichen konstanten Teil 44 aufweist und insbesondere dem Nenndruckverlauf  $p_{Nenn,V}$  der Verbraucheranordnung entspricht. Der Fluiddruckverlauf  $p_V$  beschreibt im Übergang von seinem im Wesentlichen konstant verlaufenden Teil 44 zu seiner ansteigenden oder abfallenden 42 Rampe eine signifikante Verlaufsänderung 46 in Form eines Abknickens, die den vorstehend genannten charakteristischen Betriebspunkt kennzeichnet.

**[0039]** Die signifikante Verlaufsänderung 46 ergibt sich daraus, dass jede beliebige Pumpe ab Unterschreiten einer bestimmten Antriebsdrehzahl  $n$ , nämlich der Antriebsdrehzahl  $n_{DAD}$  im genannten Betriebspunkt nicht mehr in der Lage ist den in Fluidflussrichtung hinter dem Rückschlagventil 28 herrschenden Fluiddruck  $p'$  oder Nenndruck  $p_{Nenn}$  der Verbraucheranordnung aufzubringen, so dass der Volumenstrom über das Rückschlagventil 28 bei Unterschreiten der bestimmten Antriebsdrehzahl  $n$  vollständig zum Erliegen kommt und das Rückschlagventil 28 schließt. Bei einer ausgehend von der bestimmten Drehzahl  $n_{DAD}$  weiter abfallenden Drehzahl  $n$  fällt auch der Fluiddruck  $p$  immer weiter ab, wobei der Fluiddruck  $p'$  oder  $p_{Nenn}$  aufgrund des in Richtung des Druckversorgungsanschlusses P schließenden Rückschlagventils 28 zumindest kurzfristig mittels des Hydrospeichers 36 aufrechterhalten werden kann.

**[0040]** In Fig. 4 sind oben ein Teil der abfallenden Rampe 41 der Drehzahl  $n$  [ $min^{-1}$ ] sowie unten zumindest teilweise der im Wesentlichen konstante Teil 44 und die abfallende Rampe 42 des von der Drehzahl  $n$  abhängigen Fluiddrucks  $p$  [bar] mehrerer Pumpen 10 prinzipiell dargestellt, die sich hinsichtlich ihres Verschleißzustandes unterscheiden. Die Drehzahl  $n$  und der Fluiddruck  $p$  sind jeweils über der Zeit [s] aufgetragen. Die verschiedenen Verschleißzustände der Pumpen 10 sind in Fig. 4 daran zu erkennen, dass der Fluiddruck  $p$  der am stärksten verschlissenen Pumpe 10 bereits bei einer höheren Drehzahl  $n$  und der Fluiddruck  $p$  der am wenigsten verschlissenen Pumpe 10 bei einer in Relation dazu geringeren Drehzahl  $n$  abfällt, jeweils unter Ausbildung der signifikanten Verlaufsänderung 46 des Druckkurvenverlaufs  $p_V$ . Bei Erreichen der Drehzahl  $n$  gleich Null ist der von jeder Pumpe 10 abgegebene jeweilige Fluiddruck  $p$  ebenfalls Null, unabhängig von deren jeweiligem Verschleißzustand. Bei einer idealen Pumpe wäre der Druck noch vorhanden; selbstredend wäre der geförderte Volumenstrom gleich Null.

**[0041]** Der genannte Betriebspunkt wird in dem Fluiddruckverlauf  $p_V$  von der Auswerteeinrichtung 24 mittels eines Auswertalgorithmus 48 lokalisiert.

**[0042]** Bei dem ersten Ausführungsbeispiel der Vorrichtung wird mittels des Auswertalgorithmus 48, insbesondere durch Berechnung des Druckgradienten mittels (Rückwärts-)Differenzquotientenbildung, ein zeitlicher Änderungsverlauf

$\dot{p}_V = \frac{dp_V}{dt}$  des Fluiddrucks des Drucksensors 20 erzeugt. Darauffolgend wird in dem Änderungsverlauf  $\dot{p}_V$  unter Durchführen eines Zwischenvergleichs 48 des Änderungsverlaufs  $\dot{p}_V$  mit entsprechenden Referenzwerten 49 in Form von Grenzwerten die signifikante Verlaufsänderung 46 des Druckkurvenverlaufs  $p_V$  lokalisiert.

**[0043]** Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der Vorrichtung wird die signifikante Verlaufsänderung 46 in dem Druckkurvenverlauf  $p_V$  [bar] gemäß Fig. 5 unter Durchführen eines Zwischenvergleichs 48 des Druckkurvenverlauf  $p_V$  mit Referenzwerten 49 in Form von Grenzwerten  $\Delta p_{RV,min}$ ,  $\Delta p_{RV,max}$  lokalisiert, zwischen denen die signifikante Verlaufsänderung 46 zu finden ist. In Fig. 5 ist der Druckkurvenverlauf  $p_V$  über der Drehzahl  $n$  [ $min^{-1}$ ] aufgetragen. In die Berechnung der Grenzwerte  $\Delta p_{RV,min}$ ,  $\Delta p_{RV,max}$  fließt der mittels des weiteren Drucksensors 20 erfasste weitere Fluiddruck  $p'$  oder  $p_{Nenn}$  mit ein. In Fig. 5 ist der Fluiddruck  $p_{DAD}$  in der jeweiligen lokalisierten signifikanten Verlaufsänderung 26, also im Betriebspunkt, mit einem Kreuz gekennzeichnet.

**[0044]** Alternativ oder zusätzlich zu der Anwendung von Grenzwerten kann zur Auswertung des jeweiligen Kurvenverlaufs eine Mustererkennung eingesetzt werden. Die Mustererkennung kann im Rahmen von künstlicher Intelligenz,

neuronaler Netze und/oder Machine Learning implementiert sein.

**[0045]** Wie vorstehend aufgezeigt, wird bei der dahingehenden Lokalisierung der signifikanten Verlaufsänderung 46 regelmäßig nicht nur ein Fluiddruckwert  $p_{DAD}$  ermittelt, sondern mehrere, die beispielsweise zwischen die Grenzwerte fallen. Daher können die mehreren ermittelten Fluiddruckwerte  $p_{DAD}$  einer weiteren Mittelwertbildung 50 unterzogen werden, um einen gemittelten Fluiddruckwert  $p_{DAD}$  im Betriebspunkt zu erhalten.

**[0046]** Nachdem anhand der signifikanten Verlaufsänderung 46 des Fluiddrucks  $p$  der Betriebspunkt ermittelt worden ist, wird entweder unter Durchführung eines Schlussvergleichs 60 zumindest eine Systemgröße  $n_{DAD}, p_{DAD}, T_{DAD}$  im Betriebspunkt jeweils direkt mit zumindest einer entsprechenden Referenz-Systemgröße verglichen und/oder unter Verwendung der erfassten Systemgrößen Drehzahl  $n_{DAD}$  und Fluiddruck  $p_{DAD}$  im Betriebspunkt sowie eines Pumpenparameters 56, gegebenenfalls in Form des geometrischen Fördervolumens  $V_g$  der Pumpe 10, eine Berechnung 62

$$\lambda = \frac{n_{DAD} \cdot V_g}{p_{DAD}} \left[ \frac{l}{\text{min} \cdot \text{bar}} \right]$$

zumindest eines Parameters, gegebenenfalls in Form des Parameters  $\lambda$  der Pumpe 10, durchgeführt, der zumindest mit einem entsprechenden Referenz-Parameter 64 verglichen wird.

**[0047]** Weil der Leckagestrom  $Q_{Leck}$  der Pumpe 10 aufgrund der abnehmenden Viskosität der Hydraulikflüssigkeit bei

$$\lambda = \frac{Q_{Leck}}{\Delta p_p}$$

zunehmender Temperatur  $T$  zunimmt, ist der Parameter  $\lambda$  der Pumpe 10 temperaturabhängig. In Fig. 6 ist die dahingehende Temperaturabhängigkeit des Parameters  $\lambda$  der Pumpe 10 dargestellt, in dem ein erster bis dritter Parameter  $\lambda$  der Pumpe 10 bei einer ersten  $T_1$  bzw. zweiten  $T_2$  bzw. dritten  $T_3$  Temperatur über dem Verschleißzustand der Pumpe aufgetragen ist. Dabei ist  $T_3$ , insbesondere gleich ca. 70°C, größer als  $T_2$ , insbesondere gleich ca. 50°C, größer als  $T_1$ , insbesondere gleich ca. 30°C. Der Verschleißzustand ist dabei entlang der x-Achse in verschiedene Zonen eingeteilt: Neu 88, Zone I (Grün), Zone II (Gelb), Zone III (Hellrot) und Zone IV (Dunkelrot), wobei der Verschleißzustand mit zunehmender Zonennummerierung zunimmt. Die farbliche Zuordnung der Zonen ist an eine Ampel angelehnt, die als Anzeige 54 des Verschleißzustandes für einen Benutzer dienen kann. Der Viskositätswert der Hydraulikflüssigkeit bei der Temperatur  $T_1$  entspricht in etwa dem Zweifachen des Viskositätswertes der Hydraulikflüssigkeit bei der Temperatur  $T_2$ , der wiederum in etwa dem Zweifachen der Viskosität der Hydraulikflüssigkeit bei der Temperatur  $T_3$  entspricht. Entsprechend werden der berechnete Parameter  $\lambda$  der Pumpe 10 und der entsprechende Referenz-Parameter  $\lambda$  unter Einbezug der gemessenen Fluidtemperatur  $T$  bei dem Schlussvergleich 60 miteinander verglichen.

**[0048]** Basierend auf dem Ergebnis des jeweiligen Schlussvergleiches 60 wird dann der Zustand der Pumpe 10 festgestellt, der von der Auswerteeinrichtung 24 über eine Zustandsausgabe 66 an eine Anzeige 54 weitergeleitet werden kann, die einem Benutzer den Zustand der Pumpe 10 anzeigt und die insbesondere als die vorstehend genannte Ampel ausgebildet sein kann.

**[0049]** Es kann zudem ein Zwischenspeicher 68 für erfasste Systemgrößen  $n, p, p', T$  und ein Speicher 70 für im Betriebspunkt vorliegende Systemgrößen  $n_{DAD}, p_{DAD}, T_{DAD}$  und/oder zumindest den einen von Systemgrößen abhängigen Parameter, insbesondere der Pumpe 10, vorgesehen sein. Auch kann unter Durchführen einer (Trend-)Analyse 72 basierend auf einer zeitlichen Analyse der Systemgrößen  $n_{DAD}, p_{DAD}, T_{DAD}$  im Betriebspunkt oder des von Systemgrößen abhängigen Parameters ein zukünftiger Verschleißzustand und/oder die Restlebensdauer 74 der Pumpe 10 geschätzt werden.

**[0050]** Die Pumpe 10, der Elektromotor 26, der über eine Welle die Pumpe 10 antreibt, und eine Leistungselektronik 78, wie beispielsweise ein Frequenzumrichter 80 oder ein Inverter, die den Elektromotor 26 ansteuert, sind Teil eines drehzahlvariablen elektro-hydraulischen Aggregates 76 (Fig. 8).

**[0051]** Des Weiteren ist eine Maschinensteuerung 82, beispielsweise zur Ansteuerung der Verbraucheranordnung, vorgesehen, wie beispielsweise eine Speicherprogrammierbare Steuerung oder ein (Haupt-)Steuergerät, die zumindest eine Sollgröße, wie beispielsweise eine Drehzahl, einen Volumenstrom, eine Position, einen Druck und/oder eine Geschwindigkeit etc. vorgibt. Die Maschinensteuerung kann entweder wie in Fig. 8 dargestellt mit der Leistungselektronik 78 oder wie in den Figuren nicht gezeigt mit der Auswerteeinrichtung 24 kommunizierend verbunden sein und übermittelt dorthin zumindest die Sollgröße.

**[0052]** Die Auswerteeinrichtung 24 fordert unter Durchführung einer Anfrage 84 bei der Leistungselektronik 78 die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens an, beispielsweise nach einer vorgebbaren Anzahl von Betriebsstunden der Verbraucheranordnung. Die Leistungselektronik 78 bestätigt darauffolgend unter Abgabe einer Bestätigung 86 die Anfrage 84 und leitet bei einem Vorliegen eines passenden Zustandes der Verbraucheranordnung das Verfahren durch einen entsprechenden Änderungsprozess, beispielsweise eine entsprechende Änderung der Antriebsdrehzahl  $n$  der Pumpe 10, ein. Ein passender Systemzustand liegt beispielsweise vor, wenn das System nicht unter Last betrieben wird und/oder demnächst heruntergefahren wird.

[0053] Zum Ermitteln des Zustandes der Verdrängereinheit 8 kann ebenso die Antriebsdrehzahl  $n$  der Verdrängereinheit 8 konstant vorgegeben werden, der von der Antriebsdrehzahl  $n$  abhängige Fluiddruck  $p$  erfasst werden und der erfasste Fluiddruck  $p$  oder ein von diesem abhängiger Parameter, insbesondere der Verdrängereinheit 8, mit zumindest einem entsprechenden Referenzwert verglichen werden.

5

## Patentansprüche

- 10 1. Vorrichtung zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere eines Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit (8), mit
- einer an eine Hochdruckseite der Verdrängereinheit (8) angeschlossenen Fluidleitung (12, 14),
  - zumindest einer mit der Fluidleitung (12, 14) fluidisch verbundenen Fluideinrichtung (18), die stromaufwärts von sich in der Fluidleitung (12, 14) einen Fluiddruckaufbau ermöglicht,
  - 15 - jeweils einem Drucksensor (20, 22), der in der Fluidleitung stromaufwärts vor der jeweiligen Fluideinrichtung (18) eine Systemgröße in Form des Fluiddrucks ( $p, p'$ ) erfasst, und
  - einer Auswerteeinrichtung (24), die derart eingerichtet ist, dass diese in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße ( $p, p'$ ) den Zustand der Verdrängereinheit (8) ermittelt.
- 20 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Fluideinrichtung als eine mit einem Nenndruck ( $p_{Nenn}$ ) betreibbare Verbraucheranordnung ausgebildet ist.
- 25 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine weitere Fluideinrichtung (18) die Fluidleitung in einen mit der Verdrängereinheit (8) verbundenen Fluidleitungsteil (12) und einen weiteren Fluidleitungsteil (14) unterteilt und/oder dass die weitere Fluideinrichtung (18) derart eingerichtet ist, dass diese eine Fluiddruckweitergabe von dem einen Fluidleitungsteil (12) in den weiteren Fluidleitungsteil (14), insbesondere ab einer vorgebbaren Druckschwelle, zulässt und in die entgegengesetzte Richtung blockiert.
- 30 4. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zumindest eine der folgenden Komponenten vorgesehen ist:
- eine Einrichtung (30), die eine Drehzahl ( $n$ ) der Verdrängereinheit (8) ermittelt, die als weitere Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes mit einfließt;
  - ein Temperatursensor (34), der eine als weitere Systemgröße in die Ermittlung des Zustandes mit einfließende Temperatur ( $T$ ) des durch die Verdrängereinheit (8) strömenden Fluids erfasst; und
  - 35 - ein an die weitere Fluidleitung (14) angeschlossener Hydrospeicher (36).
- 40 5. Verfahren zum Ermitteln eines Zustandes, insbesondere eines Verschleißzustandes, einer Verdrängereinheit (8), insbesondere unter Verwendung einer Vorrichtung nach den vorstehenden Ansprüchen, mit folgenden Verfahrensschritten:
- Aufbauen eines Fluiddrucks ( $p, p'$ ) in einer Fluidleitung (12, 14) stromaufwärts vor zumindest einer mit der Fluidleitung fluidisch verbundenen Fluideinrichtung (18), wobei die Fluidleitung (12, 14) an eine Hochdruckseite der Verdrängereinheit (8) angeschlossen ist,
  - 45 - Erfassen einer Systemgröße in Form des jeweiligen Fluiddrucks ( $p, p'$ ) in der Fluidleitung (12, 14) stromaufwärts vor der jeweiligen Fluideinrichtung (18), und
  - Ermitteln des Zustandes der Verdrängereinheit (8) in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße ( $p, p'$ ).
- 50 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zustand zudem in Abhängigkeit zumindest einer der folgenden weiteren Systemgrößen ermittelt wird:
- einer Drehzahl ( $n$ ) der Verdrängereinheit (8); und
  - einer Temperatur ( $T$ ) des durch die Verdrängereinheit (8) strömenden Fluids.
- 55 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Ermitteln des Zustandes der Verdrängereinheit (8), zumindest die eine Systemgröße ( $n, p, p', T$ ) mit zumindest einer entsprechenden Referenz-Systemgröße verglichen wird und/oder in Abhängigkeit zumindest der einen Systemgröße ( $n, p, p', T$ ) ein Parameter ( $\lambda$ ), insbesondere der Verdrängereinheit (8), ermittelt wird, der mit zumindest einem entsprechenden Referenz-Parameter

verglichen wird, wobei basierend auf dem Ergebnis dieses jeweiligen Schlussvergleichs (60) der Zustand der Verdrängereinheit (8) festgestellt wird.

- 5
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Ermitteln des Zustandes der Verdrängereinheit (8) zumindest ein für den Zustand charakteristischer Betriebspunkt der Verdrängereinheit (8) ermittelt wird, in dem der theoretische Volumenstrom ( $Q_{th}$ ) der Verdrängereinheit (8) ihren volumetrischen Verlusten ( $Q_{Leck}$ ) entspricht.
- 10
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Ermitteln des Betriebspunktes zumindest einer der folgenden Änderungsprozesse über eine Zeitspanne durchgeführt wird:
- die Drehzahl ( $n$ ) der Verdrängereinheit (8) geändert wird; und
  - ein Nenn- ( $p_{Nenn}$ ) oder Lastdruck einer als Verbraucheranordnung ausgebildeten Fluideinrichtung geändert wird.
- 15
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Durchlaufens des jeweiligen Änderungsprozesses ein Kurvenverlauf ( $p_V$ ) zumindest eines jeweiligen Fluiddrucks ( $p, p'$ ) oder ein davon abhängiger Kurvenverlauf ( $\dot{p}_V, \Delta p_{RV, V}$ ) zumindest teilweise ermittelt und unter dessen Verwendung eine signifikante Verlaufsänderung in diesem Kurvenverlauf ( $p_V$ ) des Fluiddrucks ( $p, p'$ ) lokalisiert wird, die den Betriebspunkt kennzeichnet.
- 20
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der von zumindest einem jeweiligen Fluiddruck ( $p, p'$ ) abhängige Kurvenverlauf ( $\dot{p}_V, \Delta p_{RV, V}$ ) die zeitliche Änderung ( $\dot{p}_V$ ) zumindest eines jeweiligen Fluiddrucks ( $p, p'$ ) oder die Druckdifferenz ( $\Delta p_{RV, V}$ ) zwischen einem weiteren Fluiddruck ( $p'$ ), der mittels eines weiteren Drucksensors (22) in einem weiteren Fluidleitungsteil (12) erfasst wird, und einem Fluiddruck ( $p$ ) beschreibt, der mittels eines Drucksensors (20) in einem Fluidleitungsteil (20) erfasst wird.
- 25
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Lokalisieren der signifikanten Verlaufsänderung der ermittelte Kurvenverlauf ( $p_V, \dot{p}_V, \Delta p_{RV, V}$ ) zumindest teilweise unter Durchführen eines Zwischenvergleichs (48) mit zumindest einem entsprechenden Referenzwert verglichen wird.
- 30
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Schlussvergleich (60) die jeweilige in dem Betriebspunkt vorliegende Systemgröße ( $n_{DAD}, P_{DAD}, T_{DAD}$ ) verwendet wird.
- 35
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Ermitteln des Zustandes der Verdrängereinheit (8) die Drehzahl ( $n$ ) der Verdrängereinheit (8) konstant vorgegeben wird, der von der Drehzahl ( $n$ ) abhängige jeweilige Fluiddruck ( $p, p'$ ) ermittelt wird und der ermittelte jeweilige Fluiddruck ( $p, p'$ ) oder ein von diesem abhängiger Parameter, insbesondere der Verdrängereinheit (8), mit zumindest einem entsprechenden Referenzwert verglichen wird.
- 40
- 45
- 50
- 55



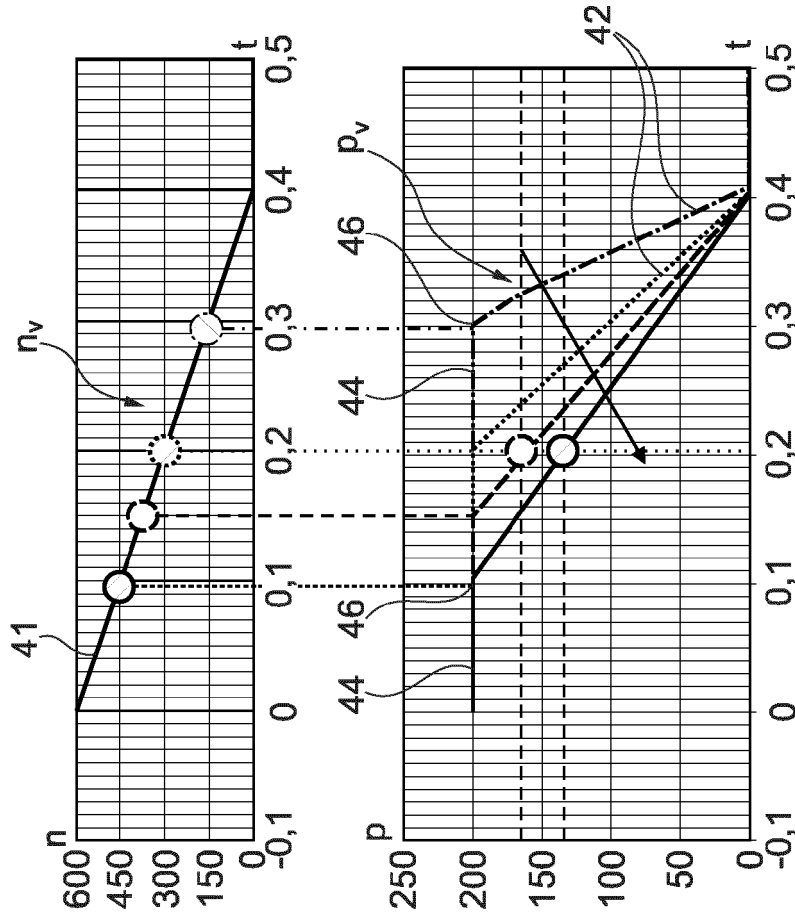


Fig. 4

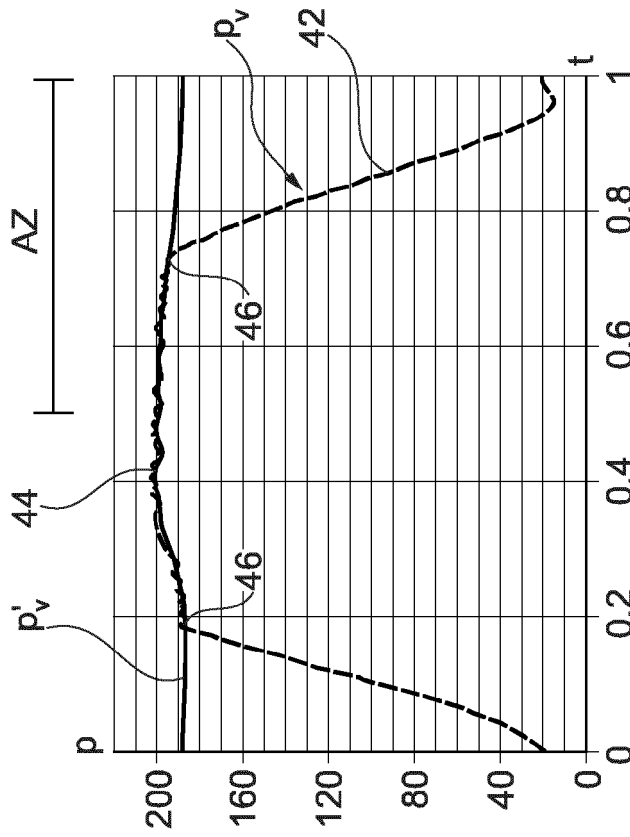


Fig. 3

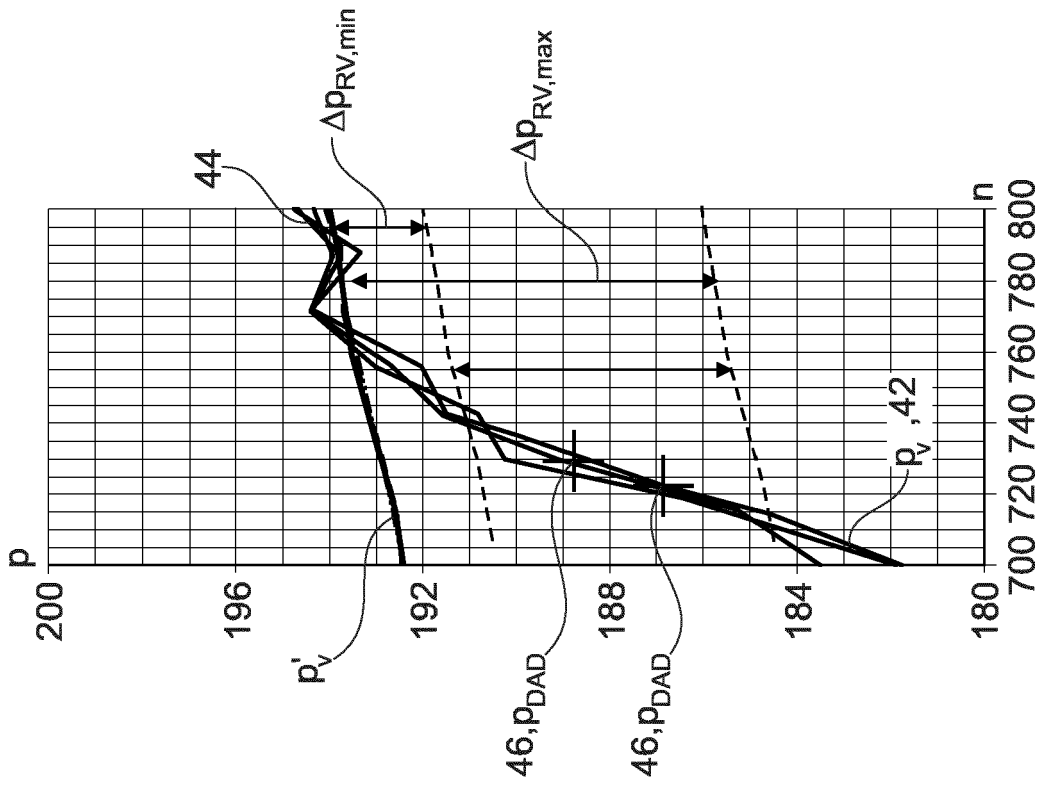


Fig. 5

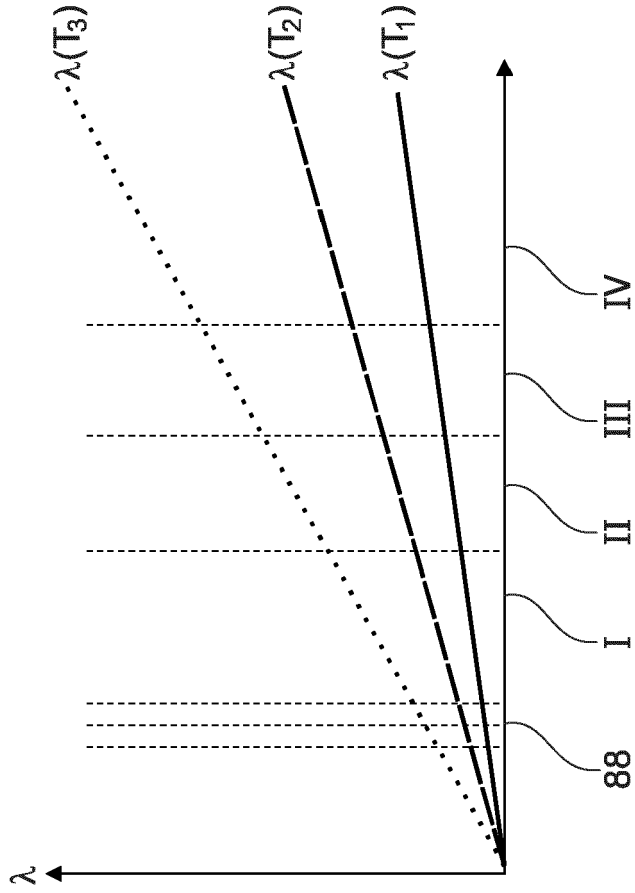


Fig. 6

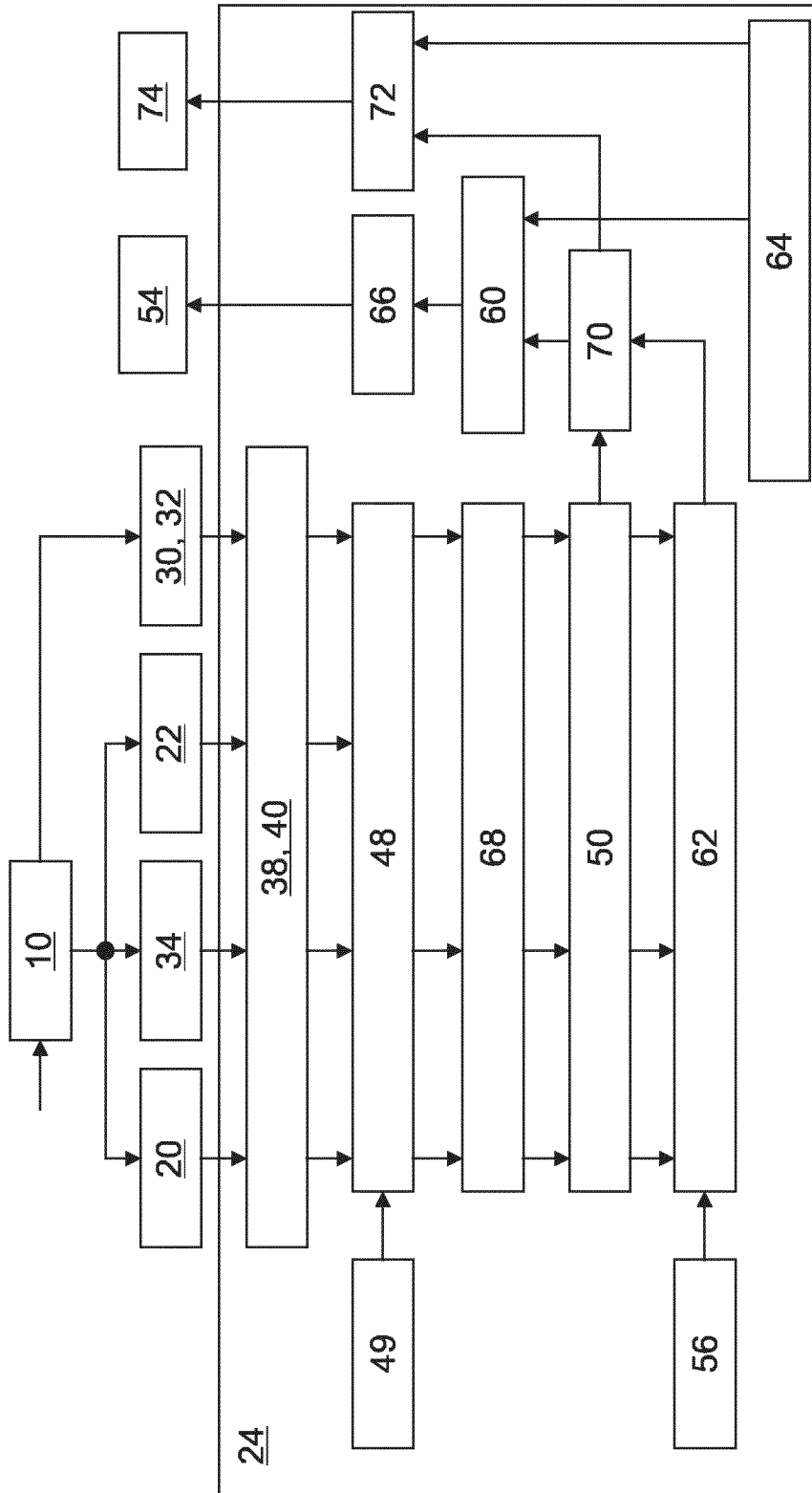


Fig. 7

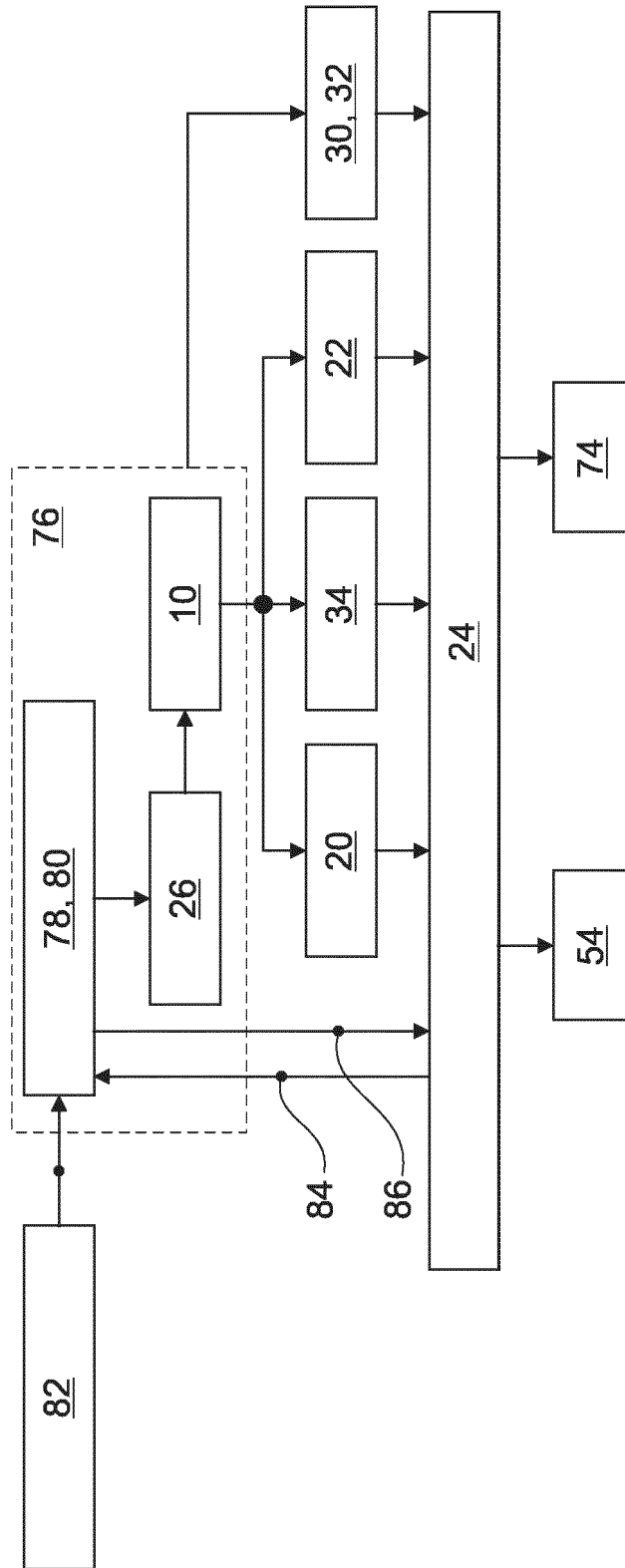


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 4766

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2015 206403 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 13. Oktober 2016 (2016-10-13) * Absätze [0030] - [0054]; Ansprüche; Abbildungen 1-4 *	1-14	INV. F04B51/00 F04B1/34 F04B49/06
X	DE 10 2020 112660 A1 (MOOG GES MIT BESCHRAENKTER HAFTUNG [DE]) 11. November 2021 (2021-11-11) * Absatz [0054]; Abbildung 1 *	1-14	
X	DE 10 2011 075870 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 22. November 2012 (2012-11-22) * Zusammenfassung *; Anspruch 1; Abbildung 1 *	1-14	
X	DE 10 2019 117820 A1 (ENGEL AUSTRIA GMBH [AT]) 27. Februar 2020 (2020-02-27) * Absatz [0002]; Ansprüche 1, 6; Abbildungen 1-2 *	1-14	
X	DE 10 2020 127285 B3 (K H BRINKMANN GMBH & CO KG [DE]) 20. Januar 2022 (2022-01-20) * Zusammenfassung *; Anspruch 1; Abbildung 1 *	1, 5	RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
A		2-4, 6-14	F04B F04C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>4. September 2023</b>	Prüfer <b>Pinna, Stefano</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 23 16 4766

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-09-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>DE 102015206403 A1</b>	<b>13-10-2016</b>	<b>KEINE</b>	
<b>DE 102020112660 A1</b>	<b>11-11-2021</b>	<b>CN 115552150 A</b>	<b>30-12-2022</b>
		<b>DE 102020112660 A1</b>	<b>11-11-2021</b>
		<b>EP 4150235 A1</b>	<b>22-03-2023</b>
		<b>US 2023184240 A1</b>	<b>15-06-2023</b>
		<b>WO 2021228677 A1</b>	<b>18-11-2021</b>
<b>DE 102011075870 A1</b>	<b>22-11-2012</b>	<b>DE 102011075870 A1</b>	<b>22-11-2012</b>
		<b>WO 2012156185 A2</b>	<b>22-11-2012</b>
<b>DE 102019117820 A1</b>	<b>27-02-2020</b>	<b>AT 521016 A4</b>	<b>15-10-2019</b>
		<b>DE 102019117820 A1</b>	<b>27-02-2020</b>
<b>DE 102020127285 B3</b>	<b>20-01-2022</b>	<b>CN 116420022 A</b>	<b>11-07-2023</b>
		<b>DE 102020127285 B3</b>	<b>20-01-2022</b>
		<b>EP 4229298 A1</b>	<b>23-08-2023</b>
		<b>TW 202221230 A</b>	<b>01-06-2022</b>
		<b>WO 2022078758 A1</b>	<b>21-04-2022</b>

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1960666 B1 [0002]