



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.11.2015 Patentblatt 2015/45

(51) Int Cl.:
F04D 13/14 ^(2006.01) **F04D 15/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15000541.1**

(22) Anmeldetag: **25.02.2015**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

- **Tillmann, Thomas**
45277 Essen (DE)
- **Diederichs, Carsten**
44137 Dortmund (DE)
- **Ortiz, Renato**
58239 Schwerte (DE)

(30) Priorität: **30.04.2014 DE 102014006258**

(71) Anmelder: **WILO SE**
44263 Dortmund (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz Hannig Borkowski Wißgott**
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei
Schumannstrasse 97-99
40237 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **Fehr, Joachim**
46569 Hünxe (DE)

(54) **Verfahren zur Regelung eines Pumpensystems und geregeltes Pumpensystem**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Pumpensystems (1), das zumindest zwei hydraulisch parallel betriebene Kreiselpumpen (2, 3) aufweist, die jeweils durch drehzahlgeregelte, elektromotorische Antriebseinheiten (7, 8) angetrieben werden. Dabei wird die ermittelte elektrische Leistungsaufnahme (P1) einer der Kreiselpumpen (2) mit der ermittelten Leistungsaufnahme (P2) einer anderen Kreiselpumpe (3)

verglichen, und in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs die Drehzahl (n_{soll1} , n_{soll2}) zumindest einer dieser Kreiselpumpen (2, 3) derart angepasst, dass die elektrischen Leistungsaufnahmen (P1, P2) der Kreiselpumpen (2, 3) ein vorbestimmtes Verhältnis erreichen, insbesondere einander angeglichen werden.

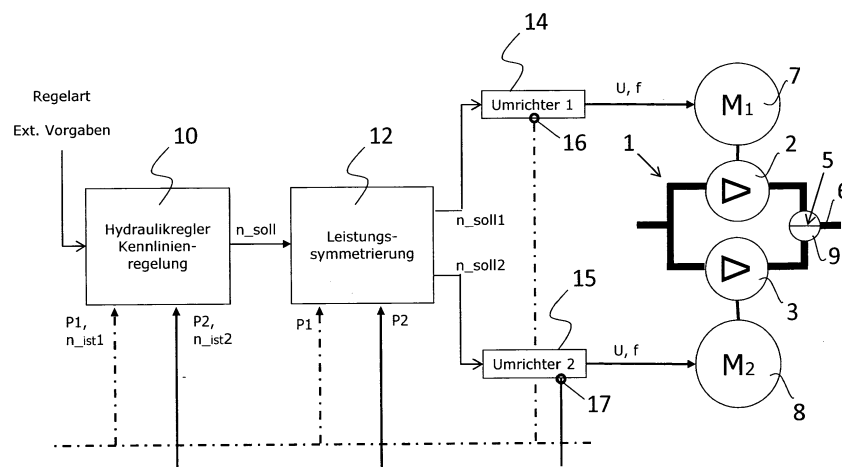


Fig. 5

Beschreibung

[0001] Die vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Pumpensystems, das zumindest zwei hydraulisch parallel betriebene Kreiselpumpen aufweist, die jeweils durch drehzahlgeregelte, elektromotorische Antriebseinheiten angetrieben werden. Ferner betrifft die Erfindung ein Pumpensystem zur Anwendung des Verfahrens.

[0002] Pumpensysteme mit zwei oder mehr hydraulisch parallel betriebenen Kreiselpumpen sind bekannt. Aufgrund des Parallelbetriebs fördern sie in eine gemeinsame Druckleitung. Jede dieser Pumpen besteht in der Regel aus einer Pumpeneinheit, einem diese antreibenden Elektromotor, dem meist ein Frequenzumrichter vorgeschaltet ist, sowie einer Regelelektronik, welche die Drehzahl der Kreiselpumpe typischerweise entsprechend einer vorgesehenen Regelkurve regelt. Es sind ferner sogenannte Doppelpumpen bekannt, bei denen zwei Kreiselpumpen in einem einzigen Pumpengehäuse angeordnet sind, wie dies in der europäischen Patentanmeldung EP 0 735 273 A1 beschrieben ist

[0003] Die deutsche Patentanmeldung DE 3918246 A1 offenbart ein Pumpensystem mit mehreren Pumpen, bei denen eine zweite oder weitere Pumpe in Abhängigkeit der Leistung einer ersten Pumpe ein- und ausgeschaltet wird bzw. werden. Eine tatsächliche Regelung, d.h. eine Änderung der Ansteuerung dynamisch im Betrieb erfolgt hier allerdings nicht. Die zweite oder weitere Pumpe hat eine feste Förderleistung und wird lediglich bedarfsweise zu- oder abgeschaltet. Das Pumpensystem besteht hier nicht aus einer Doppelpumpe mit gemeinsamen Gehäuse sondern eigenständigen Pumpenaggregaten.

[0004] In der deutschen Patentanmeldung DE 102010055841 A1 werden die Leistungen zweier Pumpen miteinander verglichen, die in einem gemeinsamen Doppelpumpengehäuse untergebracht sind. Der Leistungsvergleich dient hier lediglich der Feststellung, ob der Einzelbetrieb oder der Synchronbetrieb mit geringer Drehzahl beider Pumpen für das Doppelpumpenaggregat energetisch günstiger ist.

[0005] Bei Pumpensystemen mit mehreren Pumpen, deren Förderströme sich auslassseitig addieren, zeigt sich, dass selbst bei baulich identischen Antrieben, gleichen Laufrädern und synchroner, d.h. identischer Drehzahl und Drehrichtung, Unterschiede in der Förderleistung der Pumpen bestehen. Dies ist prinzipbedingt, da in den Pumpen, wenn sie an derselben Seite angeschlossen und mit gleicher Drehrichtung betrieben werden sollen, eine Anpassung der Leitungsführung innerhalb des Pumpengehäuses zur gemeinsamen Druckleitung erforderlich ist. Die Druckstutzenkanäle in den Pumpengehäusen haben dann einen unterschiedlichen Verlauf und eine unterschiedliche Anordnung, wie dies beispielsweise anhand der Doppelpumpen in den Figuren 1 und 2 ersichtlich ist. Dies führt dazu, dass sich die beiden Kreiselpumpen einer Doppelpumpe in ihren hydraulischen

Eigenschaften unterscheiden, wodurch Unterschiede in den Förderleistungen der Pumpen trotz gleicher Drehzahl und Bauart resultieren. Fördert die eine Pumpe mehr als die andere, wirkt zudem eine Art Mittkopplungseffekt, weil durch die Mehrleistung der einen Pumpe die Förderfähigkeit der anderen Pumpe an der gemeinsamen Druckseite beeinträchtigt wird. Dies bewirkt, dass die Fördermenge der anderen Pumpe zusätzlich reduziert wird. Der Förderstrom der anderen Pumpe wird -plastisch gesprochen- vom Förderstrom der einen Pumpe weggedrückt.

[0006] Dieses Phänomen ist insbesondere stark ausgeprägt, wenn die Kreiselpumpen druckseitig über ein ungesteuertes Ventil in die Druckleitung fördern, das eine Ventilklappe aufweist. Im Idealfall gleicher Fördermengen nimmt diese Klappe bezogen auf die Strömungsquerschnitte am jeweiligen Pumpenauslass eine etwa mittige Stellung ein, so dass gleiche effektive Strömungsquerschnitte an den Auslässen der beiden Pumpen vorliegen. Der Fall geringfügig ungleicher Fördermengen führt dazu, dass die Klappe zwar für die eine Pumpe ganz geöffnet erscheint, d.h. nur einen kleinen hydraulischen Widerstand bildet. Für die andere Pumpe bildet die außermittige Ventilklappe aber ein teilweise geschlossenes Ventil, d.h. einen hohen hydraulischen Widerstand, gegen den sie fördert. Dieser Widerstand bewirkt die genannte weitere Reduzierung der Förderleistung dieser Pumpe.

[0007] Letztendlich verbraucht diese andere Pumpe im vermeintlichen Synchronbetrieb unnötig Energie, weil sie gegen die teilweise geschlossene Ventilklappe fördert.

[0008] Die Europäische Patentanmeldung EP 1614903 A1 nennt zwar dieses Problem der hydraulischen Asymmetrie bei Doppelpumpen, sie lehrt zu dessen Behebung jedoch nur die Verwendung einer an die entsprechende Hydraulik fest angepassten Regelung, ohne auszuführen, wie diese Anpassung erfolgen soll. Es gibt keine aktive, selbsttätige Anpassung im Betrieb. Es werden lediglich werksseitig oder bei der Installation unterschiedliche Parameter für die Regelung der Hydraulik programmiert.

[0009] Auch die internationale Veröffentlichung WO 2009/079447 A1 adressiert das Problem der unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften der Kreiselpumpen in einem Doppel- und Multipumpensystem. Sie löst es, indem das Drehmoment zwischen den Pumpen balanciert wird, um gleiche Förderströme zu erhalten. Den Tabellen der genannten Veröffentlichung kann jedoch entnommen werden, dass bei dem erreichten Regelziel identischer Drehmomente, unterschiedliche Drehzahlen bei den Kreiselpumpen eingestellt werden. Ferner sind dann auch die aufgenommenen elektrischen Leistungen der Kreiselpumpen unterschiedlich.

[0010] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein alternatives Verfahren zur Regelung eines Pumpensystems mit zumindest zwei hydraulisch miteinander gekoppelten Kreiselpumpen bereitzustellen, das anstelle eines

rein drehzahlsynchronen Betriebs ein vorbestimmtes Verhältnis der Förderleistungen der Kreiselpumpen, insbesondere eine im Wesentlichen gleiche Förderleistung einstellt, um damit das Pumpensystem energieeffizient zu betreiben. Ferner ist es Aufgabe, ein entsprechendes Pumpensystem zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen.

[0011] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 und das Pumpensystem nach Anspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0012] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung eines Pumpensystems vorgeschlagen, das zumindest zwei hydraulisch parallel betriebene Kreiselpumpen aufweist, die jeweils durch drehzahlgeregelte, elektromotorische Antriebseinheiten angetrieben werden, bei dem die ermittelte elektrische Leistungsaufnahme einer der Kreiselpumpen mit der ermittelten Leistungsaufnahme einer anderen Kreiselpumpe verglichen wird, und in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs die Drehzahl zumindest einer dieser Kreiselpumpen derart angepasst wird, dass die elektrischen Leistungsaufnahmen der Kreiselpumpen ein vorbestimmtes Verhältnis erreichen.

[0013] Die Kernidee der vorliegenden Erfindung liegt darin, die Kreiselpumpen ausgehend von einem drehzahlsynchronen Betrieb, bei dem die Förderleistungsfähigkeit einer der Kreiselpumpen aufgrund des Förderleistung der anderen Pumpe beeinträchtigt ist, so anzupassen, dass die Beeinträchtigung der einen Kreiselpumpe verringert wird. Dies kann auf verschiedene Art erfolgen.

[0014] Idealerweise kann die Drehzahl zumindest einer der Kreiselpumpen derart angepasst werden, dass die elektrischen Leistungsaufnahmen der Kreiselpumpen einander angeglichen werden. Dies bedeutet, dass die Regelung so erfolgt, dass die Leistungsaufnahmen ein vorbestimmtes Verhältnis von 1 erreichen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass als "Verhältnis" im Sinne der Erfindung nicht nur ein geometrisches Verhältnis sein kann, das den Quotienten der Leistungsaufnahmen beschreibt, sondern auch ein arithmetisches Verhältnis, das die Differenz der Leistungsaufnahmen beschreibt. So bedeutet ein Angleichen der elektrischen Leistungsaufnahmen der Kreiselpumpen an einander, dass auf einen Abstand der Leistungsaufnahmen zueinander von null geregelt wird.

[0015] Ein Angleichen der elektrischen Leistungsaufnahmen an einander bedeutet, dass sie im Wesentlichen, zumindest im Mittel, dieselbe elektrische Leistung aufnehmen. Dies bewirkt, dass die beiden Kreiselpumpen unabhängig von ihren unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften bzw. der Leitungsführung zur gemeinsamen Druckleitung im Wesentlichen denselben Förderstrom haben. Hierdurch wird erreicht, dass im Betrieb beider betrachteter Kreiselpumpen keine dieser Kreiselpumpen mehr hydraulische Verluste als die andere Kreiselpumpe besitzt. Im Falle einer Ventilklappe

am Ausgang der Kreiselpumpen wird eine Mittelstellung dieser Ventilkappe erreicht. Insgesamt wird dadurch der Wirkungsgrad des Pumpensystems verbessert.

[0016] Es hat sich aber gezeigt, dass es für eine Verbesserung des Wirkungsgrads nicht in jedem Anwendungsfall unbedingt erforderlich ist, die Kreiselpumpen auf ein Leistungsverhältnis von 1 zu regeln (d.h. symmetrische Leistungsaufnahmen). Auch ein Leistungsverhältnis, bei dem die Leistungsaufnahmen einen geringen Abstand zu einander haben, beispielsweise sich um 1% bis 10% oder zwischen 1 W und 20 W unterscheiden, kann ausreichen, die hydraulische Beeinträchtigung der einen Kreiselpumpe durch die andere Kreiselpumpe zu reduzieren. Das Verhältnis zwischen den Leistungsaufnahmen kann somit beispielsweise zwischen 0,85 und 1 liegen.

[0017] Das Verhältnis kann grundsätzlich fix sein. Es ist jedoch von Vorteil, das Verhältnis betriebspunktabhängig zu wählen, so dass das Verhältnis beispielsweise in Abhängigkeit des von dem Pumpensystem geförderten Volumenstroms oder dem Differenzdruck definiert ist. Dabei kann das Verhältnis mit zunehmendem Volumenstrom kleiner werden, d.h. bei geringen Volumenströmen kleiner sein als bei größeren Volumenströmen, weil sich die hydraulischen Unterschiede der Kreiselpumpen bei niedrigen Volumenströmen stärker bemerkbar machen, als bei hohen Volumenströmen.

[0018] Im Falle einer Ventilklappe am Ausgang der Kreiselpumpen wird durch die Regelung auf einen Leistungsunterschied zwar keine Mittelstellung dieser Ventilkappe erreicht. Jedoch wird dadurch eine jedenfalls geöffnete Stellung der Ventilkappe realisiert und dadurch insgesamt der Wirkungsgrad des Pumpensystems verbessert.

[0019] In einer Ausführungsvariante des Pumpensystems fördern die Kreiselpumpen in eine gemeinsame Druckleitung, mit der sie über ein ungesteuertes Ventil, das zumindest ein Stellmittel aufweist, miteinander verbunden sind. Das Stellmittel kann eine Ventilkappe oder ein Kugelventil sein. Die Stellung des Stellmittels ist dabei vom Förderdruck oder Förderstrom beider Kreiselpumpen abhängig. Dies bedeutet, dass der Förderstrom der einen Kreiselpumpe den Öffnungsgrad des Ventils für die andere Kreiselpumpe bestimmt oder zumindest mitbestimmt. Insbesondere bei dieser Art von Pumpensystemen, wie sie beispielsweise im Falle einer Doppelpumpe vorliegen, ermöglicht das vorgeschlagene Verfahren eine Balancierung der Förderströme und Symmetrierung der Leistungsaufnahmen, sofern auf ein Verhältnis von 1 geregelt wird.

[0020] Die erfindungsgemäße Regelung erfolgt dynamisch im Betrieb des Pumpensystems. Das Verfahren kann einer Kennlinienregelung des Pumpensystems, die idealerweise einen synchronen Drehzahlsollwert für alle Kreiselpumpen ausgibt, regelungstechnisch nachgelagert sein. Hierdurch kann das Verfahren universell bei jedem Pumpensystem mit zwei oder mehr Kreiselpumpen verwendet werden.

[0021] Die beiden Kreiselpumpen können in einem gemeinsamen Pumpengehäuse untergebracht sein. Dies bedeutet, dass ihre Laufräder in jeweils einer Pumpenkammer drehen, die sich baulich ein einziges Gehäuse teilen. Sofern ein Ventil der zuvor beschriebenen Art vorhanden ist, kann dieses dann Teil des Pumpengehäuses sein bzw. in diesem angeordnet sein. Es ist jedoch auch möglich, dass die beiden Kreiselpumpen eigene Pumpengehäuse besitzen, die parallel montiert werden. Deren Auslässe können direkt in die Druckleitung münden oder über das Ventil zu der gemeinsamen Druckleitung vereinigt werden. Das Ventil kann somit also auch außerhalb des Pumpengehäuses vorhanden sein.

[0022] Die beiden Antriebseinheiten können baulich identisch sein. Dies bedeutet, dass sie sich in ihren elektro-mechanischen Eigenschaften, insbesondere hinsichtlich Drehzahl und Drehmoment bei identischer Bestromung nicht wesentlich unterscheiden. Es ist jedoch auch möglich und für einzelne Anwendungen denkbar, dass für das Pumpensystem unterschiedliche Antriebseinheiten, insbesondere unterschiedlicher Leistung und/oder Baugröße verwendet werden. So kann in einem Doppelpumpenaggregat beispielsweise eine der beiden Antriebseinheiten leistungstärker als die andere Antriebseinheit sein. Auch die Kreiselpumpen müssen nicht zwingend identisch sein. Vielmehr können sie unterschiedliche Laufräder aufweisen.

[0023] Gerade in einem solchen Anwendungsfall ist es erforderlich, nicht auf eine symmetrische Leistungsaufnahme zu regeln, sondern ein Leistungsverhältnis bei den ungleichen Antriebseinheiten und/oder Laufrädern einzustellen, das die Ungleichheit berücksichtigt. So kann mit einem entsprechenden Verhältnis der Leistungsaufnahmen der Kreiselpumpen dennoch erreicht werden, dass diese zumindest im Mittel im Wesentlichen gleiche Förderströme erreichen. Auch dies verbessert den hydraulischen Wirkungsgrad des Gesamtsystems. Das Verhältnis kann für einen solchen Fall, je nach Unterschied der Antriebseinheiten bzw. Kreiselpumpen deutlich kleiner sein, als bei identischen Antriebseinheiten bzw. Kreiselpumpen sein, beispielsweise zwischen 0,5 und 0,85 liegen.

[0024] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens können die Kreiselpumpen mit einer Kennlinienregelung drehzahlregelt werden, die einen synchronen Drehzahlsollwert für alle Kreiselpumpen ausgibt. Dies ermöglicht die Anpassung des Betriebspunktes des Pumpensystems an den aktuellen Betriebszustand des von dem Pumpensystem versorgten hydraulischen Systems. Vorzugsweise erfolgt dann eine dieser Kennlinienregelung nachgeordnete Anpassung des Drehzahlsollwerts für zumindest eine der Kreiselpumpen in Abhängigkeit des Ergebnisses des Leistungsvergleichs.

[0025] Sofern auf ein Verhältnis von 1 geregelt wird, erfolgt geeigneterweise eine Anpassung der Drehzahl erst dann, wenn der Leistungsunterschied zwischen den Antriebseinheiten einen vorgegebenen Grenzwert über-

schreitet. Dies hat den Vorteil, dass geringe Schwankungen in der Leistungsaufnahme einer Kreiselpumpe, die sich durch die Differenzbildung zusätzlich verstärken können, für die erfindungsgemäße Regelung unberücksichtigt bleiben. Durch die Verwendung eines Grenzwerts wird eine Hysterese gebildet, die ein ständiges Regeln bei kleinen Leistungsunterschieden unterdrückt. Der Grenzwert kann zwischen 1% und 10%, beispielsweise 2% der maximalen Leistung der Antriebseinheiten betragen. Gemäß einer Weiterbildung können für positive und negative Leistungsunterschiede unterschiedliche Grenzwerte verwendet werden. Dies bedeutet, dass im Falle einer positiven Leistungsunterschied zwischen dem einen und dem anderen Kreiselpumpenaggregat ein erster Grenzwert und im Falle einer negativen Leistungsunterschied zwischen dem einen und dem anderen Kreiselpumpenaggregat ein zweiter Grenzwert verwendet werden kann. Sofern diese Grenzwerte gleich sind, ergibt sich ein symmetrisches Hysterese-Fenster, bei ungleichen Grenzwerten ein unsymmetrisches Hysterese-Fenster. Beide Grenzwerte können jeweils beispielsweise zwischen 1% und 10%, vorzugsweise bei etwa 2% der maximalen Leistung der Antriebseinheiten liegen.

[0026] Die Regelung des Pumpensystems kann derart erfolgen, dass die Drehzahl der einen Antriebseinheit relativ zur Drehzahl der anderen Antriebseinheit reduziert wird und/oder die Drehzahl der anderen Antriebseinheit relativ zur Drehzahl der einen Antriebseinheit erhöht wird, wenn die aufgenommene Leistung der einen Antriebseinheit höher, insbesondere um den ersten Grenzwert höher ist, als die aufgenommene Leistung der anderen Antriebseinheit.

[0027] Alternativ oder zusätzlich kann die Drehzahl der einen Antriebseinheit relativ zur Drehzahl der anderen Antriebseinheit erhöht werden und/oder die Drehzahl der anderen Antriebseinheit relativ zur Drehzahl der einen Antriebseinheit reduziert werden, wenn die aufgenommene Leistung der einen Antriebseinheit geringer, insbesondere um den zweiten Grenzwert geringer ist, als die aufgenommene Leistung der anderen Antriebseinheit.

[0028] Die Drehzahlanpassung kann somit auf drei verschiedene Arten erfolgen. Sie kann entweder nur bei der einen Kreiselpumpe, nur bei der anderen Kreiselpumpe oder bei beiden Kreiselpumpen gleichzeitig erfolgen, wobei in letzterem Fall die Anpassung in entgegengesetzter Richtung erfolgt.

[0029] Des Weiteren kann vorgesehen werden, dass die Anpassung der Drehzahl nur bis zu einem Maximalwert erfolgt. Dieser Maximalwert kann relativ oder absolut angegeben werden. So kann die Anpassung der Drehzahl im Falle einer relativen Angabe beispielsweise um maximal 2% bis 6% der Nenndrehzahl der Kreiselpumpen erfolgen. 2% bedeuten, dass bei Kreiselpumpen mit ca. 3000U/min Nenndrehzahl, die Anpassung der Drehzahl zwischen 60U/min und 180U/min liegt. Die Drehzahlen der beiden Kreiselpumpen unterscheiden sich dann maximal zwischen 60U/min und 180U/min. Alter-

nativ kann die maximale Drehzahldifferenz auch in absoluten Drehzahlwerten angegeben werden. So kann die Anpassung der Drehzahl beispielsweise maximal 40U/min bis 60U/min betragen.

[0030] Die genannte Anpassung der Drehzahl zumindest einer der Kreiselpumpen ist hier so verstehen, dass sie sich auf den ursprünglichen Drehzahlsollwert bezieht, d.h. auf die synchrone Drehzahl, die den Kreiselpumpen vom Drehzahlregler vorgegeben wird. Bei einer Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die Drehzahl beider Kreiselpumpen entgegengesetzt angepasst wird, bedeutet dies, dass der Maximalwert für jede Kreiselpumpe auf diese synchrone Solldrehzahl bezogen ist, so dass die Drehzahldifferenz der Kreiselpumpen zueinander folgemäß dem zweifachen Maximalwert entspricht.

[0031] Die Änderung der Drehzahl kann in diskreten Schritten oder kontinuierlich erfolgen. Diskrete Schritte haben den Vorteil, dass das Verfahren iterativ durchgeführt und nach jedem Schritt geprüft werden kann, ob die Drehzahländerung das gewünschte Ziel erreicht. So können der Leistungsvergleich und die Anpassung der Drehzahl in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs nach jeder Drehzahländerung wiederholt werden.

[0032] Die Schrittweite der Schritte kann beispielsweise zwischen 1 U/min und 10U/min betragen. Diese vergleichsweise geringe Schrittweite gewährleistet, dass sich das Verfahren langsam in Richtung symmetrischer Leistungsaufnahmen bewegt und die übergeordnete Drehzahlregelung nicht beeinflusst, insbesondere deren Stabilität nicht beeinträchtigt.

[0033] Die Schrittweite kann fest sein, so dass in jedem Betriebszustand dieselbe Schrittweite Anwendung findet. Alternativ kann die Schrittweite variabel insbesondere abhängig von der Höhe der Differenz der aufgenommenen Leistungen sein. Dies hat den Vorteil, dass der jeweilige Betriebszustand des Pumpensystems berücksichtigt werden kann. Dabei kann die Schrittweite umso höher sein, je höher die Leistungsdifferenz ist. Bei einer Leistungsdifferenz bis 2W kann beispielsweise eine Schrittweite von 1 U/min, bei Leistungsdifferenzen von 2W bis 5W eine Schrittweite von 2U/min und bei Leistungsdifferenzen zwischen 5W und 10W eine Schrittweite von 5U/min verwendet werden. Dies bewirkt, dass die Leistungssymmetrierung schneller herbeigeführt wird.

[0034] Das beschriebene Verfahren wird immer wieder wiederholt, um dynamisch im Betrieb feststellen zu können, ob eine Drehzahländerung erforderlich ist, in welche Richtung diese vorgenommen werden sollte und ob eine vorherige Drehzahländerung die richtige Wirkung hatte. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Leistungsvergleich und die Anpassung der Drehzahl in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs erst nach Ablauf einer Wartezeit wiederholt werden. Diese Wartezeit kann beispielsweise zwischen 0,1s und 20s betragen. Die Wartezeit bewirkt, dass das erfindungsgemäße Ver-

fahren mit niedrigen Frequenzen ausgeführt wird, so dass es die übergeordnete Drehzahlregelung nicht beeinträchtigt.

[0035] Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Pumpensystem aufweisend zumindest zwei hydraulisch parallel betriebene Kreiselpumpen, die jeweils durch drehzahlregelbare elektromotorische Antriebseinheiten antreibbar sind, sowie weiterhin aufweisend

- Mittel zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme einer der Kreiselpumpe,
- Mittel zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme einer anderen Kreiselpumpe,
- eine Auswerteeinheit, die eingerichtet ist, die ermittelten Leistungsaufnahmen miteinander zu vergleichen, und
- eine Pumpensteuerung, die dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs die Drehzahl zumindest einer der Kreiselpumpen derart anzupassen, dass die elektrischen Leistungsaufnahmen ein vorbestimmtes Verhältnis erreichen, insbesondere einander angeglichen werden.

[0036] Vorzugsweise ist das Pumpensystem eine Doppelpumpe, in der die beiden Kreiselpumpen in einem gemeinsamen Pumpengehäuse angeordnet sind. Ferner kann das Pumpensystem zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet sein.

[0037] Weitere Merkmale und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und des Pumpensystems werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine erste Ausführungsvariante einer Doppelpumpe im Querschnitt
- Figur 2 eine zweite Ausführungsvariante einer Doppelpumpe im Querschnitt
- Figur 3 Leistungskurven der Doppelpumpe gemäß Figur 1 ohne Leistungssymmetrierung
- Figur 4 Drehzahlkurven der Doppelpumpe gemäß Figur 1 ohne Leistungssymmetrierung
- Figur 5 Blockschaltbild der Struktur der erfindungsgemäßen Regelung
- Figur 6 Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens
- Figur 7 Leistungskurven der Doppelpumpe gemäß Figur 1 mit Leistungssymmetrierung
- Figur 8 Drehzahlkurven der Doppelpumpe gemäß Figur 1 mit Leistungssymmetrierung

[0038] Figur 1 zeigt ein Pumpensystem 1 mit zwei hydraulisch parallel betriebenen Kreiselpumpen 2, 3, die jeweils durch eine nicht dargestellte Antriebseinheit 7, 8 (siehe Figur 3) angetrieben werden. Diese Antriebseinheiten 7, 8 sind drehzahlgeregelte elektromotorische Antriebe, die baulich identisch sind. Sie werden zudem in dieselbe Richtung drehend angetrieben. Die beiden Kreiselpumpen 2, 3 sind in einem gemeinsamen Pumpengehäuse 4 untergebracht. Dies bedeutet, dass die jeweiligen Laufräder der Kreiselpumpen 2, 3, die ebenfalls baulich gleich sind, in jeweils einem Pumpengehäuse liegen, diese beiden Pumpengehäuse jedoch einstückig ausgebildet sind. Hieraus resultiert, dass die Auslasskanäle der beiden Kreiselpumpen 2, 3 unterschiedlich angeordnet und geformt sind, um in eine gemeinsame Druckleitung 6 bei gleicher Drehrichtung der Antriebseinheiten 7, 8 fördern zu können. Das Pumpensystem gemäß Figur 1 wird im allgemeinen Sprachgebrauch als Doppelpumpe oder als Zwillingpumpe bezeichnet.

[0039] Im Übergang der Pumpenauslässe der beiden Kreiselpumpen 2, 3 liegt ein ungesteuertes Ventil 9 im gemeinsamen Pumpengehäuse 4 ein, das zwei Ventilkappen 5a, 5b aufweist. Jede dieser Ventilkappen kann jeweils einen Auslass einer der beiden Kreiselpumpen 2, 3 verschließen. Das Ventil 9 verhindert, dass eine der Kreiselpumpen 2, 3 in den Auslasskanal respektive die Pumpenkammer der anderen Kreiselpumpe fördert, wenn diese andere Kreiselpumpe abgeschaltet und nur die eine Kreiselpumpe betrieben wird. Hierdurch würde ein hydraulischer Kurzschluss entstehen. Im gemeinsamen Idealbetrieb beider Kreiselpumpen werden die beiden Ventilkappen 5a, 5b in einer mittleren Stellung gehalten, in der sie Rücken an Rücken an einander anliegen. Der Förderstrom der jeweiligen Kreiselpumpe 2, 3 wird dann an der jeweiligen Ventilklappe 5a, 5b vorbei gefördert, wobei derselbe effektive Strömungsquerschnitt besteht.

[0040] Geringe Fördermengenunterschiede der beiden Kreiselpumpen 2, 3 führen jedoch zu einer außermittigen Stellung der beiden Ventilkappen 5a, 5b. Derartige Unsymmetrien bei den Fördermengen entstehen prinzipbedingt aufgrund der unterschiedlichen Anordnung und Form der Auslasskanäle der Kreiselpumpen 2, 3, selbst wenn die Antriebseinheiten 7, 8 mit gleicher Drehzahl betrieben werden und auch die Laufräder identisch sind. Die außermittige Stellung der Ventilkappen 5a, 5b hat zur Folge, dass diejenige Kreiselpumpe 2, 3 mit geringerem Förderstrom einen höheren hydraulischen Widerstand am Ausgang sieht. Zusätzlich zu der sich konstruktionsbedingt ergebenden Unsymmetrie im Förderstrom, wird diese folglich im Betrieb noch verstärkt. Die hydraulische Unsymmetrie macht sich ebenfalls in einer unsymmetrischen elektrischen Leistungsaufnahme bemerkbar, wobei diejenige Kreiselpumpe 2, 3, die gegen ein teilweise geschlossenes Ventil 9 fördert, Leistung verschwendet.

[0041] Figur 2 zeigt eine alternative Variante einer Doppelpumpe 1 im Querschnitt, die im Aufbau im We-

sentlichen baugleich zur ersten Variante ausgebildet ist. Es unterscheiden sich lediglich die Ausbildung der Pumpengehäuse der jeweiligen Kreiselpumpen 2, 3 sowie die Bauart des Ventils 9 von derjenigen in Figur 1. Das Ventil 9 ist durch eine einzige schwenkbare Klappe 5 gebildet. Diese Klappe 5 besitzt zwei Endanschläge, wobei sie den Auslass der einen Kreiselpumpe 2 verschließt, wenn sie den ersten Endanschlag einnimmt, und den Auslass der anderen Kreiselpumpe 3 verschließt, wenn sie den zweiten Endanschlag einnimmt. Die Stellung der Ventilklappe 5 ist vom Förderdruck beider Kreiselpumpen 2, 3 abhängig.

[0042] Die Doppelpumpe 1 gemäß Figur 2 zeigt dieselbe Problematik einer Unsymmetrie bei den Fördermengen sowie einer elektrischen Leistungsunsymmetrie wie die Doppelpumpe gemäß Figur 1, obwohl die Antriebseinheiten und die Laufräder identisch sind und der Betrieb bei synchroner Drehzahl erfolgt.

[0043] Figur 3 stellt den Verlauf der elektrischen Leistungsaufnahmen P1, P2 der beiden Kreiselpumpen 2, 3 nach Figur 1 bzw. ihrer Antriebseinheiten 7, 8 im drehzahl-synchronen Betrieb bei 3400 U/min jeweils über dem Gesamtförderstrom Q der Doppelpumpe 1 dar. Der Gesamtförderstrom Q wurde hier gemessen.

[0044] Im unteren Förderstrombereich, insbesondere bis etwa 11 m³/h, steigt lediglich die elektrische Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreiselpumpe 2 an. Dies erfolgt linear. Die Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreiselpumpe 3 bleibt dagegen in diesem unteren Förderstrombereich konstant. Dies bedeutet, dass die zweite Kreiselpumpe 3 gegen eine geschlossene oder zumindest weitgehend geschlossene Ventilklappe 5b fördert.

[0045] Der lineare Anstieg der Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreiselpumpe 2 endet mit Erreichen einer maximalen Leistungsaufnahme, die hier bei ca. 1,24 kW liegt. Erst in diesem Betriebszustand öffnet die Ventilklappe 5b zunehmend, was durch den nunmehr vorliegenden linearen Anstieg der elektrischen Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreiselpumpe 3 erkennbar ist. Die Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreiselpumpe 3 steigt jedoch zunächst nicht bis auf den Wert der ersten Kreiselpumpe. Vielmehr ist ein Leistungseinbruch zu verzeichnen, nach welchem die Leistungsaufnahme P2 mit zunehmendem Förderstrom Q wieder weiter ansteigt. Dies bringt die Erkenntnis, dass auch im Bereich mittlerer Förderströme, insbesondere im Bereich zwischen 20 m³/h bis 40 m³/h, das Ventil 9 eine Stellung einnimmt, in der der Gesamtvolumenstrom Q nicht symmetrisch, d.h. nicht jeweils hälftig, durch die Teilvolumenströme der beiden Kreiselpumpen 2, 3 gebildet wird. Die erste Kreiselpumpe 2 trägt mehr zum Gesamtförderstrom Q der Doppelpumpe 1 bei, als die zweite Kreiselpumpe 3. Bei gleicher Drehzahl n_{soll} der beiden Kreiselpumpen 2, 3 bedeutet dies, dass die zweite Kreiselpumpe 3 auch im mittleren Volumenstrombereich gegen eine teilweise geschlossene Ventilklappe 5b arbeitet, wodurch hydraulische Verluste entstehen.

[0046] In Figur 4 ist der Verlauf der Drehzahlen n₁,

n_{2} der beiden Kreiselpumpen 2, 3 der Doppelpumpe 1 jeweils über dem Gesamtförderstrom Q der Doppelpumpe 1 für eine Solldrehzahl von 3400 U/min dargestellt, wobei hier allerdings in der Pumpensteuerung der Doppelpumpe 1 eine Leistungsbegrenzung wirkt, die die Drehzahl herunter regelt. Es ist erkennbar, dass die Solldrehzahl im Bereich geringen Förderstroms von beiden Kreiselpumpen 2, 3 gehalten wird. Ab etwa 17 m³/h wird die Leistung begrenzt und die synchrone Drehzahl n_{soll} herunter regelt. Nichtsdestotrotz sind die Drehzahlen n_1, n_2 der Kreiselpumpen 2, 3 im Wesentlichen gleich.

[0047] Ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Regelung des Pumpensystems 1 ist in Figur 5 abgebildet. Das Blockschaltbild zeigt schematisch die beiden hydraulisch parallel betriebenen Kreiselpumpen 2, 3, die über das Ventil 9 in die gemeinsame Druckleitung 6 fördern. Ferner sind die elektromotorischen Antriebseinheiten 7, 8 der beiden Kreiselpumpen 2, 3, dargestellt, die jeweils von einem eigenen Frequenzumrichter 14, 15 gespeist werden. Die Frequenzumrichter 14, 15 umfassen einen leistungselektronischen Teil (Hardware) sowie einen Steuerungsteil (Software), der den leistungselektronischen Teil steuert.

[0048] Die Frequenzumrichter 14, 15 beaufschlagen die Antriebseinheiten 7, 8 (Elektromotoren M1 und M2) mit einer Spannung U einer bestimmten Frequenz f . Diese Spannung U und Frequenz f sind abhängig von einer Drehzahlsollwertvorgabe n_{soll1}, n_{soll2} , die jeder der beiden Frequenzumrichter 14, 15 erhält. In den Frequenzumrichter 14, 15 wird die von der jeweiligen Antriebseinheit 7, 8 aufgenommene elektrische Leistung P_1, P_2 durch geeignete Mittel 16, 17 erfasst, beispielsweise messtechnisch mittels entsprechender Sensoren. Die ermittelten Istwerte der Leistungsaufnahmen P_1, P_2 werden der Regelung zur Verfügung gestellt.

[0049] Darüber hinaus werden aus elektrischen Umrichtergrößen die Istdrehzahlen n_{ist1}, n_{ist2} der beiden Kreiselpumpen 2, 3 ermittelt. Diese Ermittlung kann grundsätzlich auch messtechnisch an der jeweiligen Antriebseinheit 7, 8 erfolgen. Dies erfordert jedoch Sensoren, die zu einem zusätzlichen Kosten- und Montageaufwand führen. Es ist daher von Vorteil, die Istdrehzahlen sensorlos zu ermitteln. Dies kann in bekannter Weise aufgrund eines elektrischen und elektromechanischen Modells von Frequenzumrichter und Antriebsmotor, das insbesondere auch die Kreiselpumpe berücksichtigt, erfolgen, wobei ein solches Modell jeweils in den Steuerungseinheiten (Software) der Frequenzumrichter 14, 15 zu deren Steuerung ohnehin implementiert sind.

[0050] Die Regelung besteht aus einer herkömmlichen Drehzahlregelung mittels Hydraulikregler 10, der eine synchrone Drehzahl n_{soll} für beide Kreiselpumpen 2, 3 ausgibt. Der Hydraulikregler 10 kann gemäß einer vorgebbaren Kennlinienregelung, beispielsweise einer Δp -konstant- oder Δp -variabel-Regelung in bekannter Weise regeln. Es können jedoch auch andere Regelarten Anwendung finden. Die Regelart kann dem Hydraulikregler 10 vorgegeben werden. Auch können weitere externe

Vorgaben erfolgen, die die Drehzahlregelung beeinflussen, beispielsweise die Vorgabe einer minimalen und einer maximalen Drehzahl. Dem Hydraulikregler 10 sind die Leistungsaufnahmen P_1, P_2 sowie die ermittelten Istdrehzahlen n_{ist1}, n_{ist2} zugeführt.

[0051] Die vom Hydraulikregler 10 ausgegebene synchrone Drehzahl n_{soll} wird einer diesem regelungstechnisch nachgelagerten Leistungssymmetrierung 12 zugeführt, die den Kern der erfindungsgemäßen Regelung darstellt. Die Leistungssymmetrierung 12 passt die synchrone Drehzahl n_{soll} individuell für die jeweilige Kreiselpumpe 2, 3 mit dem Ziel an, gleiche Leistungsaufnahmen P_1, P_2 zu erreichen. Hierfür bestimmt sie in Abhängigkeit des Ergebnisses eines Leistungsvergleichs der aktuellen Leistungsaufnahmen P_1, P_2 miteinander jeweils eine Solldrehzahl n_{soll1} für die eine Kreiselpumpe 2 und eine Solldrehzahl n_{soll2} für die andere Kreiselpumpe 3. Diese individuellen Solldrehzahlen n_{soll1}, n_{soll2} werden dann den Umrichtern 14, 15, genauer gesagt ihren Steuerungseinheiten zugeführt, die den jeweiligen Frequenzumrichter 14, 15 dann entsprechend ansteuern.

[0052] Es sei angemerkt, dass die Umrichtersteuerungseinheiten, der Hydraulikregler 10 und die Leistungssymmetrierung 12 in jeweils einer eigenen Hardware oder in einer gemeinsam genutzten Hardware, beispielsweise umfassend einen eigenen oder gemeinsamen Mikroprozessor, ASIC (Application-specific integrated circuit) oder DSP (digitaler Signalprozessor) und eigenen oder gemeinsam genutzte Arbeitsspeicher (ROM, RAM, EEPROM) realisiert sein kann. Die gemeinsame Nutzung dieser Komponenten bedeutet, dass die die Drehzahlregelung 10, die Leistungssymmetrierung 12 und die die Umrichtersteuerungseinheiten implementierende Software jeweils eigene Prozesse umfasst, die jedoch auf derselben Hardware unter Verwendung derselben Ressourcen ablaufen.

[0053] Figur 6 zeigt einen beispielhaften Ablauf der erfindungsgemäßen Verfahrens. Sie veranschaulicht in einem Ablaufdiagramm einen beispielhaften Verlauf der Leistungssymmetrierung. Bei diesem Verfahrensbeispiel ist vorgesehen, dass die beiden Kreiselpumpen 2, 3 stets in ihrer Drehzahl n_{soll1}, n_{soll2} gemeinsam entgegengesetzt angepasst werden. Zudem wird bei diesem Beispiel eine Hysterese berücksichtigt, und das Verfahren wird in zeitlichen Abständen von 3 Sekunden immer wieder wiederholt. Diese Wartezeit wird durch die Abfrage eines Timers realisiert.

[0054] Vor dem eigentlichen Verfahren erfolgt eine Initialisierung der für das Verfahren notwendigen Parameter, siehe Schritt 20. Die Initialisierung kann bei der Inbetriebnahme des Pumpensystems und/oder während des Betriebs beispielsweise durch die Vornahme eines Resets erfolgen, d.h. eine Zurücksetzung der Pumpeneinstellungen auf die Werkseinstellungen.

[0055] Die Initialisierung 20 umfasst das Nullsetzen einer Variable n_{offset} . Diese Variable beschreibt den Abstand, d.h. die Differenz der individuellen Kreiselpum-

pendrehzahlen n_{soll1} , n_{soll2} zu der synchronen Solldrehzahl n_{soll} , die vom Hydraulikregler 10 vorgegeben wird. Darüber hinaus wird ein die Hysterese beschreibender Parameterwert P_{hyst} definiert. Dieser ist hier beispielhaft als 2% der Maximalleistung angegeben. Er kann jedoch auch anders sein, beispielsweise zwischen 1 % und 5% betragen. Ferner kann er alternativ als absoluter Wert oder als relativer Wert bezogen auf eine andere Referenzgröße als die Maximalleistung definiert sein. Des Weiteren kann in Schritt 20 die Initialisierung weiterer Parameter und Variablen erfolgen, beispielsweise ein Parameter n_{grenz} , der eine maximale Anpassung der Solldrehzahl n_{soll} definiert und/oder absolute Drehzahlgrenzwerte n_{min} , n_{max} für die Kreiselpumpen 2, 3.

[0056] Der Hydraulikregler 10 ermittelt zunächst gemäß externer Vorgaben und der eingestellten Regelart die Solldrehzahl n_{soll} , mit der beide Kreiselpumpen 2, 3 der Doppelpumpe 1 betrieben werden sollten, um einen bestimmten Betriebspunkt der Doppelpumpe 1 zu erreichen. Die Bestimmung des Drehzahlsollwerts n_{soll} aus dem Hydraulikregler 10 ist in Schritt 22 in Figur 6 dargestellt. Anders als im Stand der Technik wird diese Solldrehzahl n_{soll} jedoch nicht direkt den Umrichtern 14, 15 der beiden Kreiselpumpen 2, 3 zugeführt. Vielmehr erfolgt in der dem Hydraulikregler 10 nachgelagerten Leistungssymmetrierung 12, eine Individualisierung dieser synchronen Solldrehzahl n_{soll} für die einzelnen Kreiselpumpen 2, 3 derart, dass deren Leistungsaufnahme, P_1 , P_2 annähernd gleich wird, vorausgesetzt, dass bestimmte Bedingungen erfüllt sind.

[0057] Ausgehend vom synchronen Drehzahlsollwert beginnt der Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der Überprüfung, ob der Timer abgelaufen ist, Schritt 24. Der Timer sorgt dafür, dass das Verfahren in zeitlichen Abständen wiederholt wird. Der Abstand kann eingestellt werden und wie zuvor genannt beispielsweise 3 Sekunden betragen. Wenngleich die Ablaufüberprüfung des Timers in dem Beispiel gemäß Figur 6 zu Beginn der Leistungssymmetrierung durchgeführt wird, so kann der Timerablauf auch an anderer Stelle, beispielsweise vor oder nach Schritt 30 erfolgen.

[0058] In der Leistungssymmetrierung wird ein Leistungsvergleich der beiden Leistungsaufnahmen P_1 und P_2 der Kreiselpumpen 2, 3 durchgeführt. Aufgrund der Verwendung der Hysterese P_{hyst} muss dies in zwei Teilvergleichen erfolgen, da im Falle einer positiven Leistungsdifferenz, diese größer als der positive Hysteresewert P_{hyst} , im Falle einer negativen Leistungsdifferenz, diese kleiner als der negative Hysteresewert P_{hyst} sein muss. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass in dem Beispiel gemäß Figur 6 ein einziger Hystereseparameter P_{hyst} , d.h. derselbe Hysteresewert sowohl für positive als auch für negative Differenzen verwendet wird, so dass eine symmetrische Hysterese realisiert wird. Es ist jedoch auch möglich, eine unsymmetrische Hysterese zu realisieren, indem für positive Leistungsdifferenzen ein anderer Hysteresewert verwendet

wird als bei negativen Leistungsdifferenzen.

[0059] Der erste Leistungsteilvergleich erfolgt in Schritt 26. Hier wird überprüft, ob die Leistungsaufnahme P_1 der ersten Kreiselpumpe 2 größer ist als die Leistungsaufnahme P_2 der zweiten Kreiselpumpe 3 zzgl. der Hysterese P_{hyst} . Zusätzlich wird in Schritt 26 die weitere Bedingung überprüft, ob die Drehzahlanpassung n_{offset} (schon) einen vorgegebenen Maximalwert n_{grenz} erreicht hat. Denn nur wenn dieser Grenzwert n_{grenz} noch nicht erreicht ist, soll eine Anpassung bzw. weitere Anpassung des Synchrondrehzahlsollwerts n_{soll} erfolgen.

[0060] Sind die beiden Bedingungen in Schritt 26, d.h. der erste Teilvergleich des Leistungsvergleichs einerseits und die Grenzwertüberprüfung für die Drehzahlanpassung andererseits erfüllt, erfolgt eine Anpassung der Synchrondrehzahl n_{soll} , um die Leistungsaufnahmen P_1 , P_2 der beiden Kreiselpumpen 2, 3 zu symmetrieren. Diese Anpassung erfolgt in Gestalt eines auf die synchrone Drehzahl n_{soll} bezogenen Drehzahlversatzes n_{offset} . Im Hinblick darauf, dass die Leistungsaufnahme P_1 der ersten Kreiselpumpe 2 größer ist als die Leistungsaufnahme P_2 der zweiten Kreiselpumpe 3, insbesondere mindestens um den Betrag des Hysteresevalues P_{hyst} höher ist, erfolgt eine Anpassung der synchronen Drehzahl n_{soll} . Dies erfolgt hier derart, dass beide pumpen-individuellen Solldrehzahlen n_{soll1} , n_{soll2} entgegengesetzt zueinander verändert werden, wobei im Ergebnis die Drehzahl n_{soll1} der ersten Kreiselpumpe 2 herabgesetzt und die Drehzahl n_{soll2} der zweiten Kreiselpumpe 3 heraufgesetzt wird, siehe Schritte 27 und 30.

[0061] Aufgrund der zu hohen Leistungsaufnahme P_1 der ersten Kreiselpumpe 2 - wie in Schritt 26 festgestellt - wird der Drehzahlversatz n_{offset} zur synchronen Drehzahl n_{soll} um einen Schritt der Schrittweite x in Schritt 27 abgesenkt. Diese Schrittweite x kann fix sein, beispielsweise zwischen 1 U/min und 10 U/min betragen. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Schrittweite x abhängig von der Höhe der Differenz der Leistungsaufnahmen P_1 , P_2 der beiden Kreiselpumpen 2, 3 zu gestalten, wobei er umso höher ist, je höher diese Differenz ist. Der Einfachheit halber wird hier beispielhaft ein fixer Wert von 1 U/min verwendet.

[0062] Da der Drehzahlversatz n_{offset} zuvor auf null gesetzt war, beträgt er nunmehr -1 U/min. Das Verfahren wird dann bei Schritt 30 fortgesetzt, in welchem der Drehzahlversatz n_{offset} zum Erhalt des Drehzahlsollwerts n_{soll1} der ersten Kreiselpumpe 2 zum synchronen Drehzahlsollwert n_{soll} addiert wird und zum Erhalt des Drehzahlsollwerts n_{soll2} der zweiten Kreiselpumpe 3 vom synchronen Drehzahlsollwert n_{soll} abgezogen wird. Da der Drehzahlversatz n_{offset} an dieser beispielhaften Stelle des Verfahrens negativ ist, d.h. -1 U/min beträgt, wird der Drehzahlsollwert n_{soll1} der ersten Kreiselpumpe 2 folglich gesenkt und der Drehzahlsollwert n_{soll2} der zweiten Kreiselpumpe 3 folglich erhöht. Dies führt dazu, dass die erste Kreiselpumpe 2 weniger Leistung P_1 und die zweite Kreiselpumpe 3 mehr Leis-

tung P2 aufnimmt, so dass die beiden Leistungsaufnahmen P1, P2 einander angenähert werden.

[0063] Das Verfahren wird nach Schritt 30, d.h. bei der Vorgabe eines neuen aktuellen Drehzahlsollwerts n_{soll} durch den Hydraulikregler 10 fortgesetzt, der gegebenenfalls gegenüber dem vorherigen synchronen Drehzahlsollwert n_{soll} geändert sein kann.

[0064] Es wird dann zunächst wieder überprüft, ob der Timer abgelaufen ist, Schritt 24. Ist dies nicht der Fall, wird der zuvor berechnete Drehzahlversatz n_{offset} in Schritt 30 von dem vom Hydraulikregler 10 neu vorgegebenen synchronen Drehzahlsollwert n_{soll} wieder subtrahiert, um den Drehzahlsollwert $n_{\text{soll}2}$ für die zweite Kreispumpe 3 zu erhalten, oder addiert, um den Drehzahlsollwert $n_{\text{soll}1}$ für die erste Kreispumpe 2 zu erhalten.

[0065] Ist der Timer dagegen abgelaufen, wird der erste Teilvergleich für die Leistungssymmetrierung erneut durchgeführt. Sofern die Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreispumpe 2 noch immer größer ist als die Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreispumpe 3 zzgl. des Hysteresewerts P_{hyst} , so wird der Drehzahlversatz n_{offset} um einen weiteren Schritt der Schrittweite x abgesenkt, sofern die Überprüfung der zweiten Bedingung zu dem Ergebnis führte, dass der maximale Drehzahlversatz n_{grenz} noch nicht erreicht ist, d.h. der Drehzahlversatz noch nicht soweit abgesenkt worden ist, dass er kleiner ist als der maximale Drehzahlversatz n_{grenz} mit negativem Vorzeichen.

[0066] Das Verfahren geht dann wieder zu Schritt 30 über, in dem von der aktuellen synchronen Solldrehzahl n_{soll} der weiter abgesenkte Drehzahlversatz n_{offset} für die zweite Kreispumpe 2 abgezogen und für die erste Kreispumpe 1 addiert wird.

[0067] Der Durchlauf des Verfahrens gemäß dieser Schleife wird so lange und so oft wiederholt, wie die Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreispumpe 2 höher ist, als die Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreispumpe 3 zzgl. Des Hysteresewerts P_{hyst} und der Drehzahlversatz n_{offset} den definierten Maximalwert n_{grenz} noch nicht erreicht hat. Dieser Maximalwert n_{grenz} kann beispielsweise zwischen 40 und 80 U/min, insbesondere 60 U/min betragen.

[0068] Ist eine der beiden in Schritt 26 überprüften Bedingungen nicht oder nicht mehr erfüllt, wird der zweite Leistungsteilvergleich in Schritt 28 durchgeführt. In diesem wird überprüft, ob die Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreispumpe 2 kleiner ist als die Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreispumpe 3 abzüglich des Hysteresewerts P_{hyst} . Ist diese Bedingung und auch die weitere Bedingung erfüllt, wonach der Drehzahlversatz n_{offset} noch nicht seinen Maximalwert n_{grenz} , diesmal mit positivem Vorzeichen, erreicht hat, so wird in Schritt 29 der Drehzahlversatz n_{offset} um einen Schritt der Schrittweite x erhöht. Diese Schrittweite x kann ebenfalls zwischen 1 U/min und 10 U/min betragen. Beispielfhaft wird hier 1 U/min verwendet.

[0069] Es sei ferner an dieser Stelle darauf hingewie-

sen, dass die Schrittweite x , um den der Drehzahlversatz in Schritt 27 abgesenkt wird, nicht zwingend in der Höhe identisch der Schrittweite x sein muss, um den der Drehzahlversatz n_{offset} in Schritt 29 erhöht wird. Vielmehr können auch unterschiedliche Schrittweiten für die Änderung des Drehzahlversatzes n_{offset} gewählt werden.

[0070] Der um den Betrag x erhöhte Drehzahlversatz n_{offset} wird dann in Schritt 30 wieder dem synchronen Drehzahlsollwert n_{soll} hinzu addiert, um den Drehzahlsollwert $n_{\text{soll}1}$ für die erste Kreispumpe 2 zu erhalten, und von dem synchronen Drehzahlsollwert n_{soll} abgezogen, um den Drehzahlsollwert $n_{\text{soll}2}$ der zweiten Kreispumpe 3 zu erhalten. Da in diesem Beispiel die elektrische Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreispumpe 2 im Vergleich zur elektrischen Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreispumpe 3 unter Berücksichtigung der Hysterese P_{hyst} wie in Schritt 28 festgestellt, kleiner ist, wird durch die Erhöhung des Drehzahlversatzes n_{offset} in Schritt 29 nun mit Schritt 30 die Drehzahl $n_{\text{soll}1}$ der ersten Kreispumpe 2 angehoben und die Drehzahl $n_{\text{soll}2}$ der zweiten Kreispumpe 3 abgesenkt, um so die beiden Leistungsaufnahmen P1, P2 aneinander anzunähern.

[0071] Das Verfahren wird anschließend wieder bei der Vorgabe der aktuellen synchronen Solldrehzahl n_{soll} in Schritt 22 durch den Hydraulikregler 10 fortgesetzt.

[0072] Ist die Zeitspanne von drei Sekunden erneut abgelaufen, Schritt 24, und die Leistungsaufnahme P2 der zweiten Kreispumpe 3 noch immer höher als die Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreispumpe 2 zzgl. des Hysteresewerts P_{hyst} , wird der Drehzahlversatz n_{offset} erneut um einen Schritt des Betrages x erhöht, Schritt 29, sofern der maximale Drehzahlversatz n_{grenz} noch nicht erreicht ist. Ist dies nicht der Fall, erfolgt in Schritt 30 ein weiteres Erhöhen der Solldrehzahl $n_{\text{soll}1}$ der ersten Kreispumpe 2 und ein weiteres Reduzieren der Solldrehzahl $n_{\text{soll}2}$ der zweiten Kreispumpe 3.

[0073] Das hier beschriebene Verfahren wird im Betrieb des Pumpensystems 1 immer wieder wiederholt, um eine dynamische Leistungssymmetrierung der Kreispumpen 2, 3 zu erreichen.

[0074] Es sei noch angemerkt, dass der maximale Drehzahlversatz n_{grenz} in Schritt 26 nicht unbedingt betragslich identisch mit dem maximalen Drehzahlversatz n_{grenz} in Schritt 28 sein muss. Vielmehr können auch unterschiedliche maximale Drehzahlversätze in den genannten Schritten 26, 28 verwendet werden.

[0075] Das Ergebnis der Anwendung der Leistungssymmetrierung ist in den Diagrammen der Figuren 7 und 8 veranschaulicht. Figur 7 zeigt eine Darstellung der Leistungsaufnahmen $P1(Q)$, $P2(Q)$ der ersten und zweiten Kreispumpe 2, 3 jeweils über dem von der Doppelpumpe 1 geförderten Gesamtförderstrom Q . Wenngleich hier keine exakt identischen Leistungsaufnahmen P1, P2 vorliegen, so ist zumindest gegenüber dem Verlauf in Figur 3 eine deutliche Annäherung der Leistungskurven zueinander, insbesondere im Mittel, erkennbar. So sind im un-

teren Förderstrombereich die Leistungsaufnahmen P1, P2 beider Kreiselpumpen 1, 2 im Mittel allmählich ansteigend, wobei die Leistungsaufnahme P1 der ersten Kreiselpumpe 1 deutlich flacher ansteigt als es bei Fehlen der erfindungsgemäßen Leistungssymmetrierung 12 der Fall ist. Im Ergebnis ist zu beobachten, dass die zweite Kreiselpumpe 3 nun nicht mehr gegen eine geschlossene oder zumindest teilweise geschlossene Ventilklappe 5b, 5 arbeitet, so dass weniger hydraulische Verluste entstehen und der Wirkungsgrad der Doppelpumpe 1 verbessert wird.

[0076] Die Tatsache, dass die Leistungskurven P1(Q) und P2(Q) trotz aktiver Leistungssymmetrierung schwanken, zeigt den dynamischen Charakter der erfindungsgemäßen Leistungssymmetrierung. Denn im hydraulischen Kennfeld kann es Bereiche geben, in denen bereits kleinste Drehzahländerungen, selbst wenn sie nur 1 U/min betragen, das Gleichgewicht in der Förderleistung von einer Kreiselpumpe zur anderen umschlagen lassen. In diesem Fall nimmt eine der Kreiselpumpen zeitweise, d.h. innerhalb des Timerintervalls, deutlich mehr Leistung auf als die andere Kreiselpumpe. Gleichwohl ist trotzdem durch die Anwendung der erfindungsgemäßen Leistungssymmetrierung eine Annäherung der beiden Leistungsaufnahmen und damit eine Wirkungsgradverbesserung bei dem Pumpensystem 1 erreicht.

[0077] Die Schwankungen der Leistungsaufnahmen P1, P2 kann durch Reduzierung der Timerwartezeit verbessert, jedoch nicht ganz kompensiert werden. Darüber hinaus sollte die mit dem Timer realisierte Wartezeit nicht zu klein werden, um die überlagerte schnelle Drehzahlregelung nicht zu beeinflussen.

[0078] Figur 8 zeigt analog zu Figur 4 die in Abhängigkeit des Ergebnisses der beiden Leistungsteilvergleiche individuell angepassten Solldrehzahlen n_{soll1} , n_{soll2} für die beiden Kreiselpumpen 2, 3. Es ist ersichtlich, dass die Solldrehzahlen n_{soll1} , n_{soll2} stets durch einen Drehzahlversatz n_{offset} zueinander versetzt sind. Aufgrund des hier gewählten symmetrischen Versatzes n_{offset} in Bezug auf die synchrone Drehzahl n_{soll} , würde diese im Diagramm der Figur 8 mittig zwischen den beiden Drehzahlkurven für $n_{\text{soll1}}(Q)$ und $n_{\text{soll2}}(Q)$ verlaufen. Der Drehzahlversatz n_{offset} ist im Bereich kleiner Förderströme Q, hier beispielhaft im Bereich kleiner als $20\text{ m}^3/\text{h}$, deutlich kleiner als im Bereich mittlerer und hoher Förderströme Q. Darüber hinaus steigt der Drehzahlversatz n_{offset} mit zunehmendem Förderstrom Q an, wobei er allerdings bei hohen Förderströmen Q in Richtung des maximalen Förderstroms wieder geringer wird.

[0079] Im Ergebnis ist festzustellen, dass gerade durch die Verwendung unterschiedlicher Solldrehzahlen für die beiden Kreiselpumpen 2, 3 der Doppelpumpe 1 eine im Wesentlichen symmetrische Aufteilung des Förderstroms auf die Kreiselpumpen 2, 3 erreicht wird, der dazu führt, dass sich die Ventilklappe 5, 5a, 5b überwiegend in einer derartigen Stellung befindet, in der die ef-

fektiven Strömungsquerschnitte im Auslassbereich der jeweiligen Kreiselpumpe 2, 3 zur gemeinsamen Druckleitung 6 annähernd gleich sind und zeitlich annähernd gleich bleiben. Hierdurch werden die Leistungsaufnahmen P1, P2 der Kreiselpumpen 2, 3 aneinander angeglichen, wobei das Pumpensystem 1 in der Summe weniger Leistung aufnimmt, so dass der Wirkungsgrad des Pumpensystems 1 gegenüber herkömmlicher Doppelpumpen nach dem Stand der Technik verbessert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Pumpensystems (1), das zumindest zwei hydraulisch parallel betriebene Kreiselpumpen (2, 3) aufweist, die jeweils durch drehzahlgeregelte, elektromotorische Antriebseinheiten (7, 8) angetrieben werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ermittelte elektrische Leistungsaufnahme (P1) einer der Kreiselpumpen (2) mit der ermittelten Leistungsaufnahme (P2) einer anderen Kreiselpumpe (3) verglichen wird, und dass in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs die Drehzahl (n_{soll1} , n_{soll2}) zumindest einer dieser Kreiselpumpen (2, 3) derart angepasst wird, dass die elektrischen Leistungsaufnahmen (P1, P2) der Kreiselpumpen (2, 3) ein vorbestimmtes Verhältnis erreichen, insbesondere einander angeglichen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kreiselpumpen (2, 3) in eine gemeinsame Druckleitung (6) fördern, mit der sie über ein ungesteuertes Ventil (9), das zumindest ein Stellmittel (5, 5a, 5b) aufweist, miteinander verbunden sind, wobei die Stellung des Stellmittels (5, 5a, 5b) vom Förderdruck oder Förderstrom beider Kreiselpumpen (2, 3) abhängig ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kreiselpumpen (2, 3) mit einer Kennlinienregelung (10) drehzahl geregelt werden, die einen synchronen Drehzahlsollwert (n_{soll}) für alle Kreiselpumpen (2, 3) ausgibt, wobei eine dieser Kennlinienregelung nachgeordnete Anpassung dieses Drehzahlsollwerts (n_{soll}) in Abhängigkeit des Ergebnisses des Leistungsvergleichs erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anpassung der Drehzahl (n_{soll}) erst dann erfolgt, wenn der Leistungsunterschied zwischen den Antriebseinheiten (7, 8) einen vorgegebenen Grenzwert (P_{hyst}) überschreitet.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahl (n_{soll1}) der einen Kreiselpumpe (2) relativ zur

- Drehzahl ($n_{\text{soll}2}$) der anderen Kreiselpumpe (3) reduziert wird und/ oder die Drehzahl ($n_{\text{soll}2}$) der anderen Kreiselpumpe (3) relativ zur Drehzahl ($n_{\text{soll}1}$) der einen Kreiselpumpe (2) erhöht wird, wenn die aufgenommene Leistung (P1) der einen Kreiselpumpe (2) höher, insbesondere um einen ersten Grenzwert (P_{hyst}) höher ist, als die aufgenommene Leistung (P2) der anderen Kreiselpumpe (3). 5
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahl ($n_{\text{soll}1}$) der einen Kreiselpumpe (2) relativ zur Drehzahl ($n_{\text{soll}2}$) der anderen Kreiselpumpe (3) erhöht wird und/ oder die Drehzahl ($n_{\text{soll}2}$) der anderen Kreiselpumpe (3) relativ zur Drehzahl ($n_{\text{soll}1}$) der einen Kreiselpumpe (2) reduziert wird, wenn die aufgenommene Leistung (P1) der einen Kreiselpumpe (2) geringer, insbesondere um einen zweiten Grenzwert (P_{hyst}) geringer ist, als die aufgenommene Leistung (P2) der anderen Kreiselpumpe (3). 10
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anpassung der Drehzahl (n_{soll}) um maximal $\pm 2\%$ bis $\pm 6\%$ der Nenndrehzahl der Kreiselpumpen (2, 3), insbesondere um maximal 50U/min bis 60U/min erfolgt. 15
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anpassung der Drehzahl (n_{soll}) in diskreten Schritten erfolgt. 20
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schrittweite der Schritte zwischen 1 U/min und 10U/min beträgt. 25
10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schrittweite der Schritte abhängig von der Höhe der Differenz der aufgenommenen Leistungen (P1, P2) ist. 30
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schrittweite umso höher ist, je höher die Leistungsdifferenz ist. 35
12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leistungsvergleich nach Ablauf einer Wartezeit immer wieder wiederholt wird. 40
13. Pumpensystem (1) aufweisend zumindest zwei hydraulisch parallel betriebene Kreiselpumpen (2, 3), die jeweils durch drehzahlregelbare elektromotorische Antriebseinheiten (7, 8) antreibbar sind, **gekennzeichnet durch** 45
- Mittel (16) zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme (P1) einer der Kreiselpumpe (2),
- Mittel (17) zur Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme (P2) einer anderen Kreiselpumpe (3),
- eine Auswerteeinheit, die eingerichtet ist, die ermittelten Leistungsaufnahmen (P1, P2) miteinander zu vergleichen, und
- eine Pumpensteuerung (12), die dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit des Ergebnisses dieses Leistungsvergleichs die Drehzahl ($n_{\text{soll}1}$, $n_{\text{soll}2}$) zumindest einer der Kreiselpumpen (2, 3) derart anzupassen, dass die elektrischen Leistungsaufnahmen (P1, P2) ein vorbestimmtes Verhältnis erreichen, insbesondere einander angeglichen werden.
14. Pumpensystem (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Doppelpumpe ist, in der die beiden Kreiselpumpen (2, 3) in einem gemeinsamen Pumpengehäuse (4) angeordnet sind.
15. Pumpensystem (1) nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 12 eingerichtet ist.

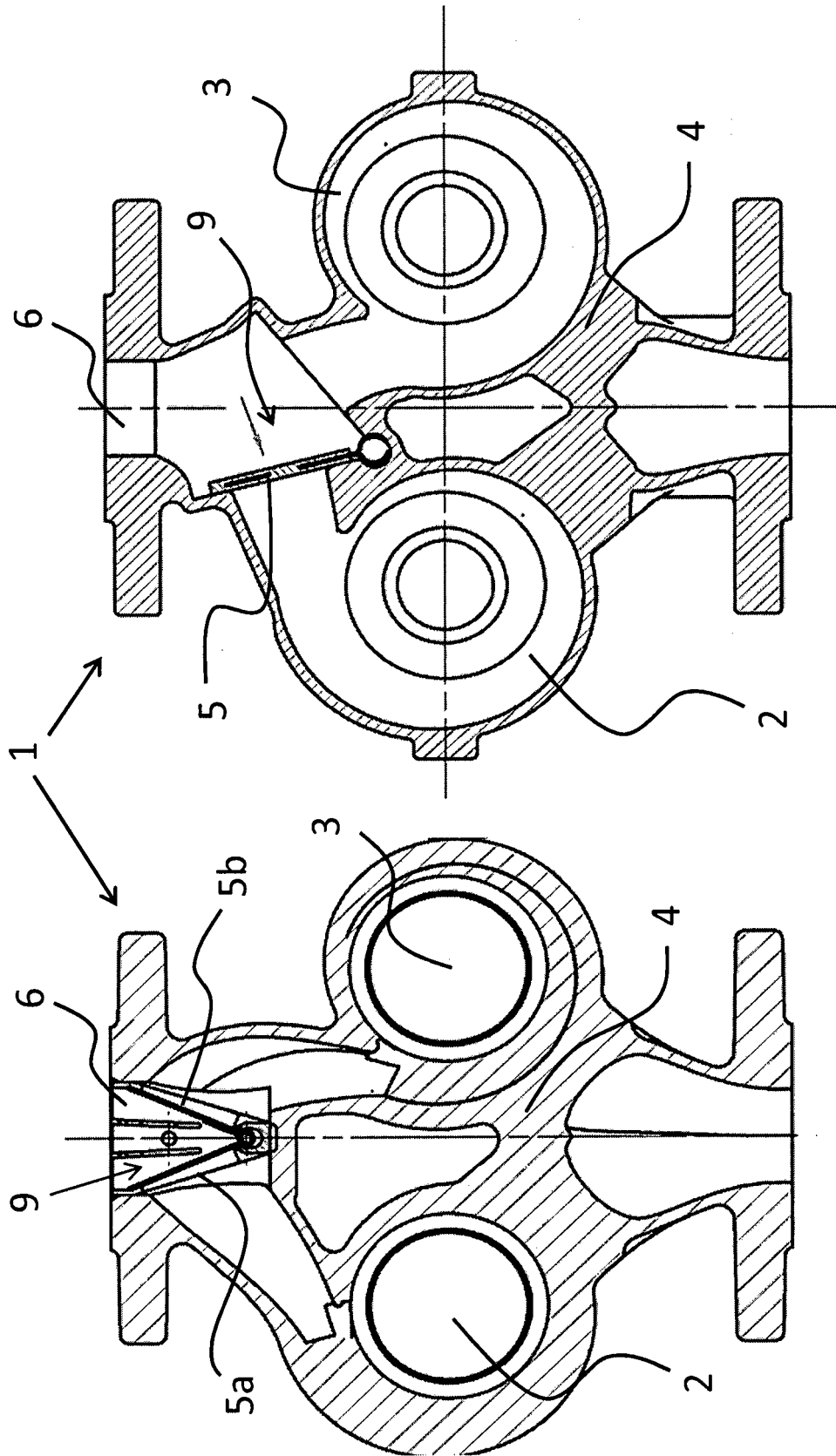


Fig. 2

Fig. 1

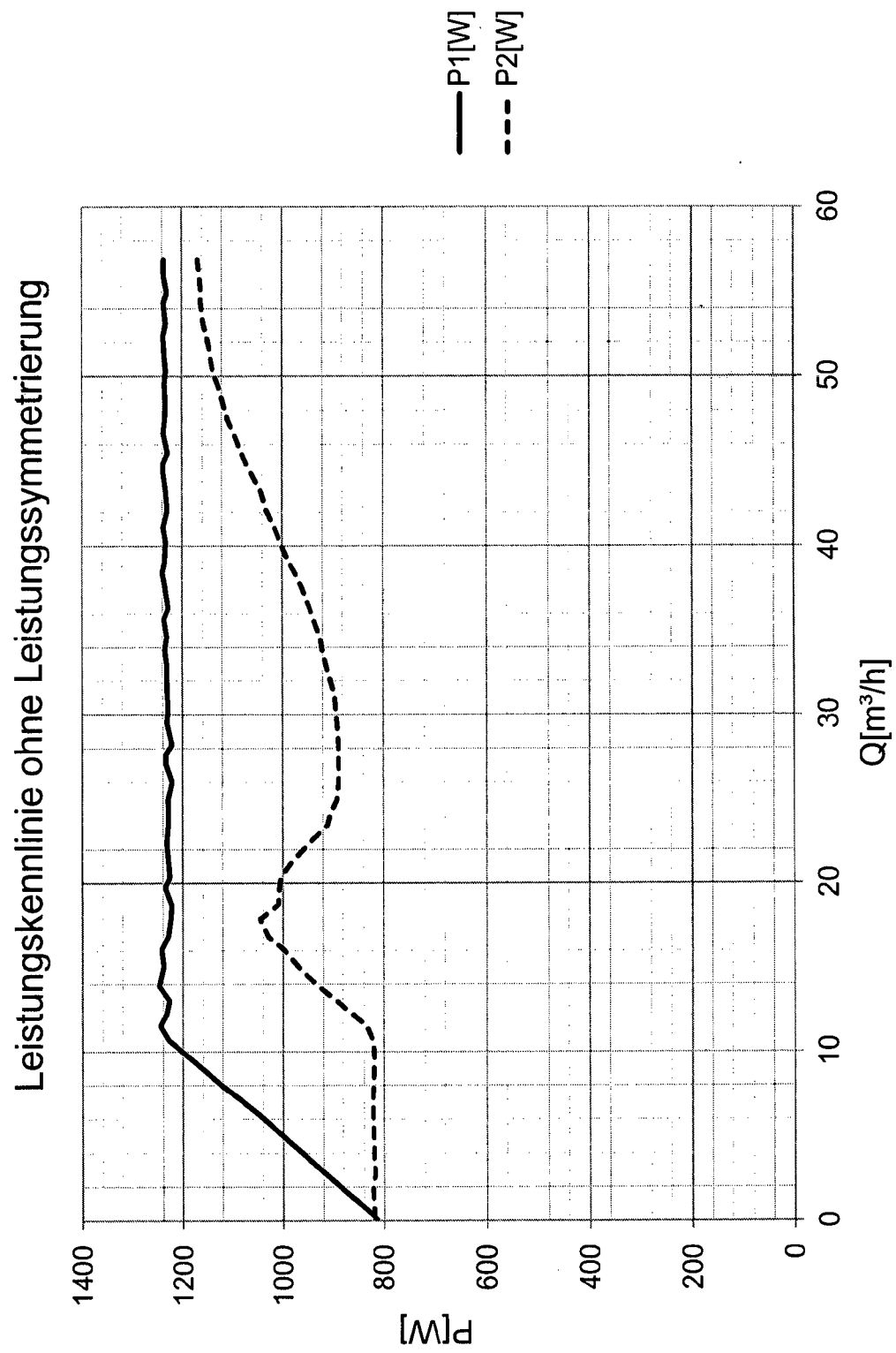


Fig. 3

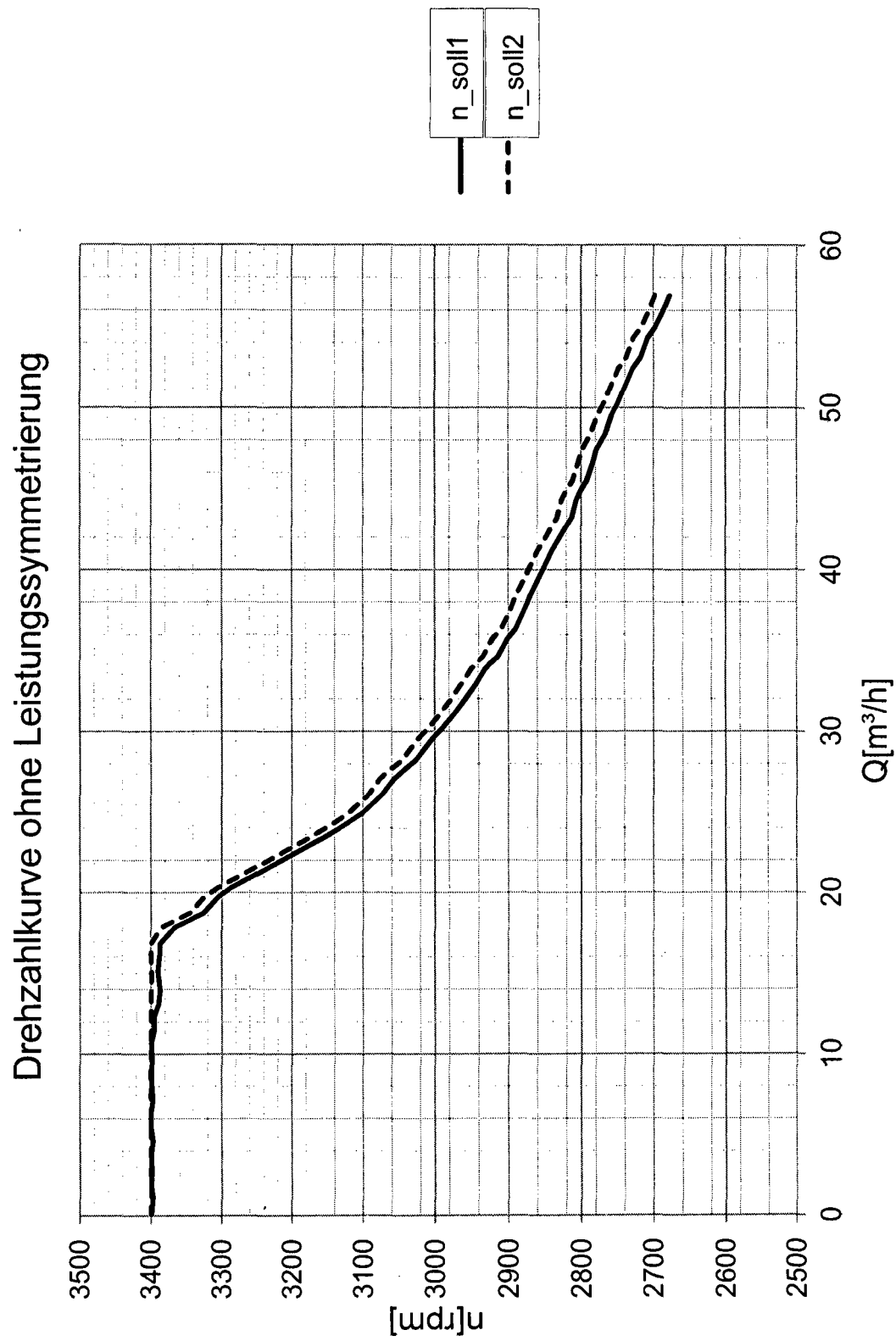


Fig. 4

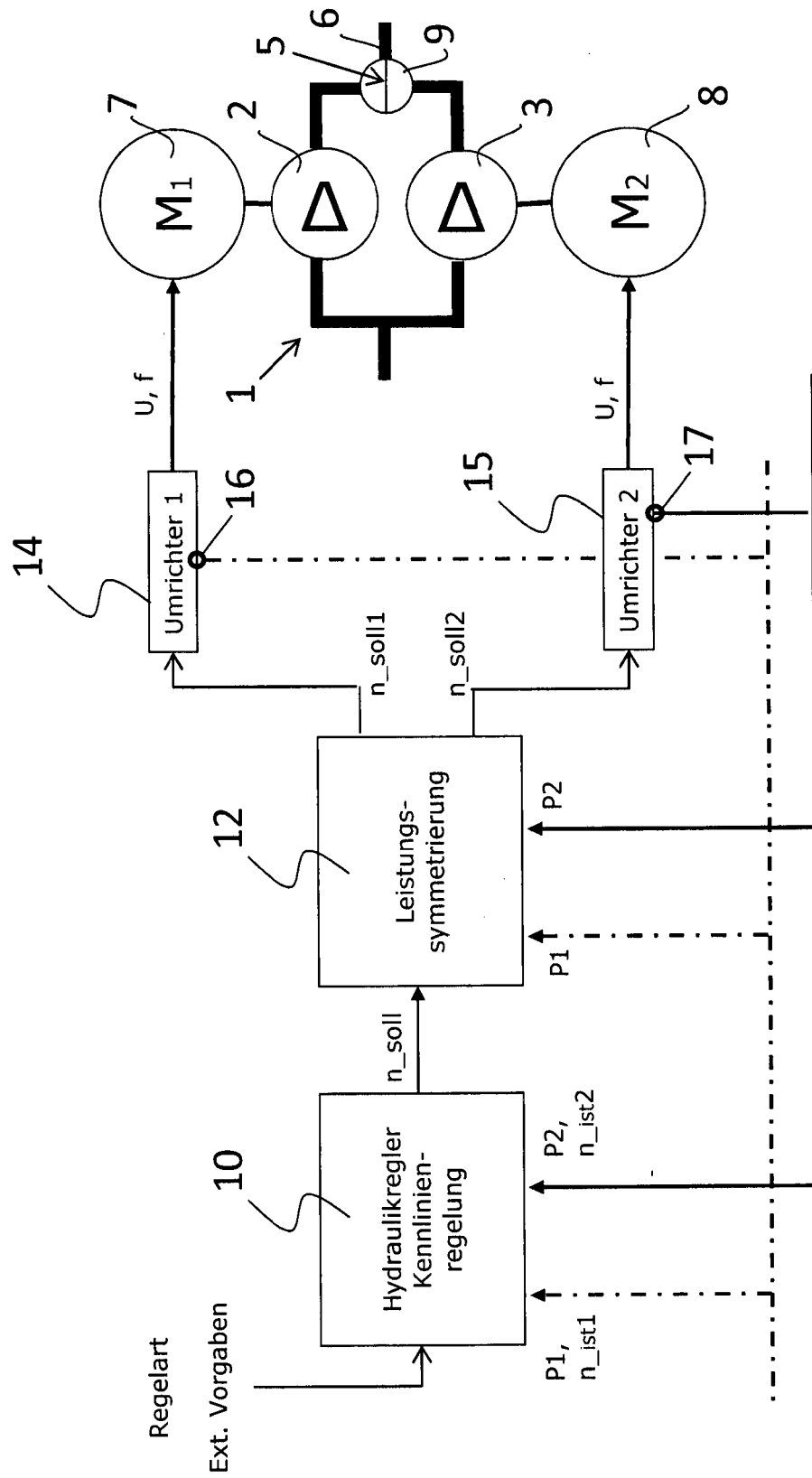


Fig. 5

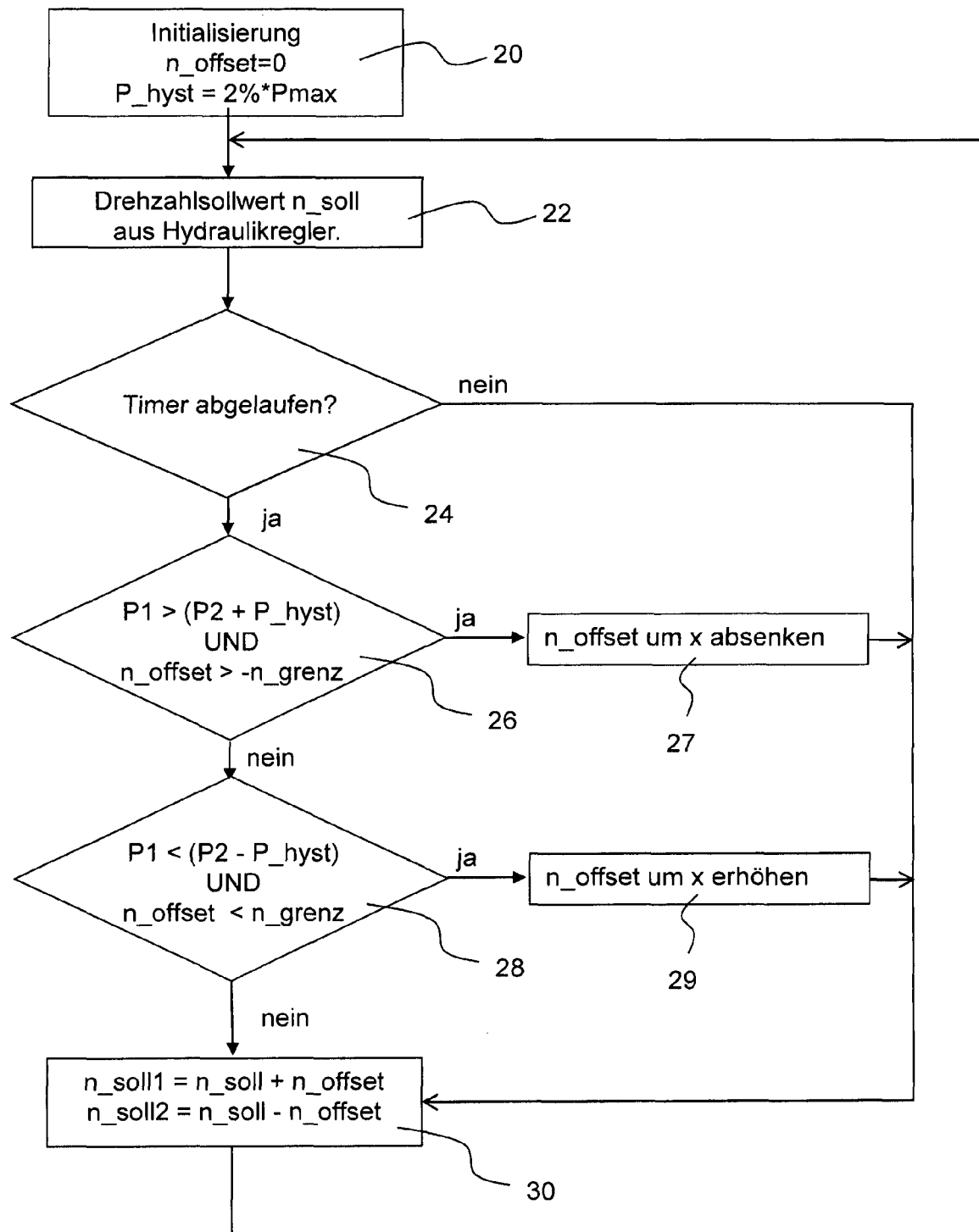


Fig. 6

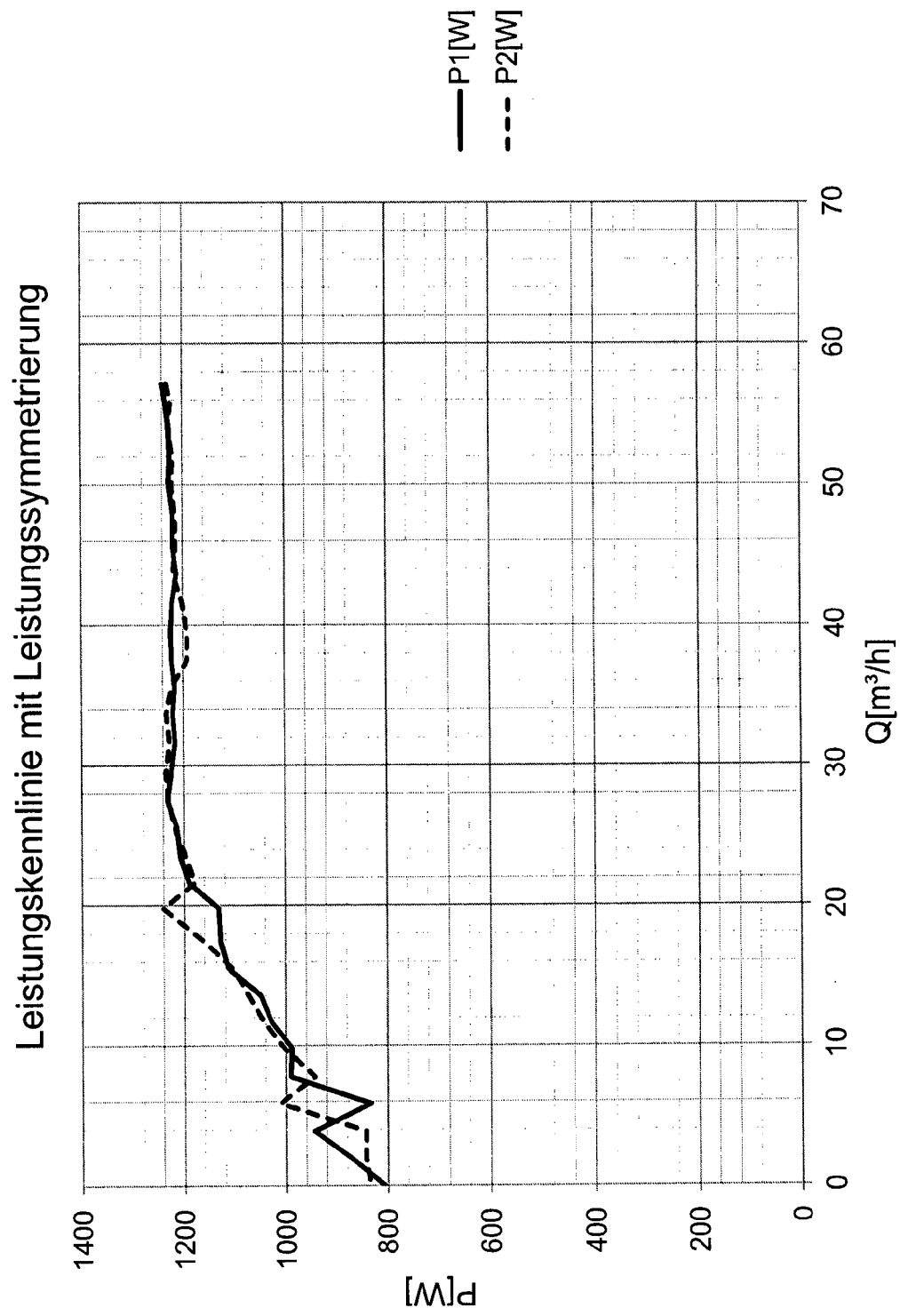


Fig. 7

Drehzahlkurve mit Leistungssymmetrierung

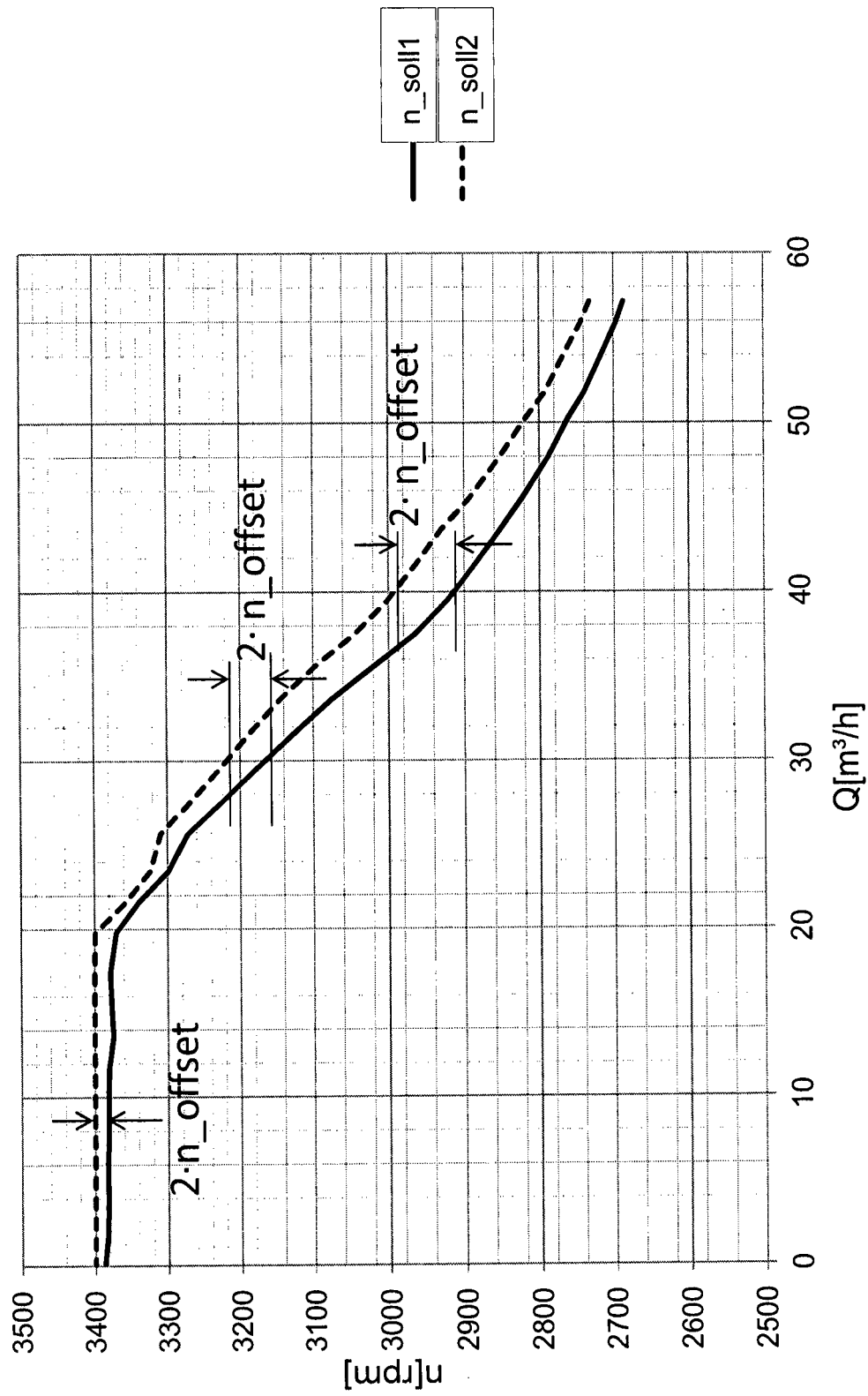


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 15 00 0541

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,D	WO 2009/079447 A1 (ITT MFG ENTERPRISES INC [US]; KERNAN DANIEL J [US]; GANZON NICOLAS W []) 25. Juni 2009 (2009-06-25) * Seite 3, Zeilen 19-23 * * Seite 4, Zeilen 20-23 * * Seite 5, Zeile 22 - Seite 6, Zeile 18 * * Seite 8, Zeile 1 - Seite 10, Zeile 6 * * Seite 13, Zeilen 20-22 * * Abbildungen 6,7 *	1,2,5-9, 12-15	INV. F04D13/14 F04D15/00
A,D	EP 1 614 903 A1 (GRUNDFOS AS [DK]) 11. Januar 2006 (2006-01-11) * Absätze [0004], [0017] - [0020] * * Abbildungen 3,4 *	1-15	
A,D	DE 10 2010 055841 A1 (WILO SE [DE]) 28. Juni 2012 (2012-06-28) * Absätze [0064] - [0066], [0085], [0086], [0089], [0090], [0117] * * Abbildungen 1,4,13 *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 11. September 2015	Prüfer Gombert, Ralf
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	

 2
 EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 15 00 0541

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.

11-09-2015

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009079447 A1	25-06-2009	CN 101896871 A	24-11-2010
		EP 2229610 A1	22-09-2010
		US 2009304521 A1	10-12-2009
		WO 2009079447 A1	25-06-2009

EP 1614903 A1	11-01-2006	KEINE	

DE 102010055841 A1	28-06-2012	DE 102010055841 A1	28-06-2012
		EP 2469094 A2	27-06-2012

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 0735273 A1 [0002]
- DE 3918246 A1 [0003]
- DE 102010055841 A1 [0004]
- EP 1614903 A1 [0008]
- WO 2009079447 A1 [0009]