



(11)

EP 2 469 094 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**27.06.2012 Patentblatt 2012/26**

(51) Int Cl.:  
**F04D 15/02 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **11009716.9**(22) Anmeldetag: **08.12.2011**

(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**

(30) Priorität: **23.12.2010 DE 102010055841**

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

(72) Erfinder:  

- Hübner, Jürgen  
44289 Dortmund (DE)
- Roos, Christian  
58239 Schwerte (DE)
- Merkel, Sergej  
44269 Dortmund (DE)

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

(54) **Verfahren zum Betrieb eines Doppelpumpen- oder Multipumpenaggregates**

(57) Die Erfindung betrifft ein Pumpenaggregat (1) sowie ein Verfahren und ein Computerprogramm zum Betrieb des Pumpenaggregats (1), das wenigstens eine Grundlast bedienende erste Pumpe (2a) und wenigstens eine Spitzenlast bedienende zweiten Pumpe (2b) aufweist, die bedarfsweise zugeschaltet und parallel zu der zumindest einen ersten Pumpe (2a) betrieben wird, wobei das Pumpenaggregat (1) derart auf einer vorgegebenen Regelkennlinie (19, 39) geregelt wird, dass die aufgenommene Leistung minimal ist. Das Pumpenaggregat (1) wird in Abhängigkeit eines oberen und eines unteren Grenzwertes ( $n_o, n_u$ ) einer Betriebsgröße ( $n_{sync}$ ) entweder mit mindestens zwei Pumpen (2a, 2b) oder mit wenigstens einer ausgeschalteten Pumpe (2b)

betrieben, wobei ausgehend von einem synchronen Betrieb (21) der Pumpen (2a, 2b) in einem Betriebspunkt (11, 13), in dem die Pumpen (2a, 2b) mit derselben Drehzahl ( $n_{sync}$ ) und/ oder Leistung betrieben werden, in einem ersten Schritt (24a) der Wert zumindest einer Betriebsgröße ( $n_{sync}$ ) des Pumpenaggregats (1) als Referenzwert ( $n_{ref}$ ) abgespeichert wird, in einem zweiten Schritt (25) der von der zweiten Pumpe (2b) geförderte Volumenstrom reduziert wird, in einem dritten Schritt (26, 27) in Abhängigkeit der Reaktion der geregelten ersten Pumpe (2a) eine Zuordnung des Betriebspunktes (11, 13) zu einem Lastbereich (15, 16, 17) erfolgt und in einem vierten Schritt (31, 32a) der obere oder untere Grenzwert ( $n_o, n_u$ ) durch den Referenzwert ( $n_{ref}$ ) ersetzt wird.

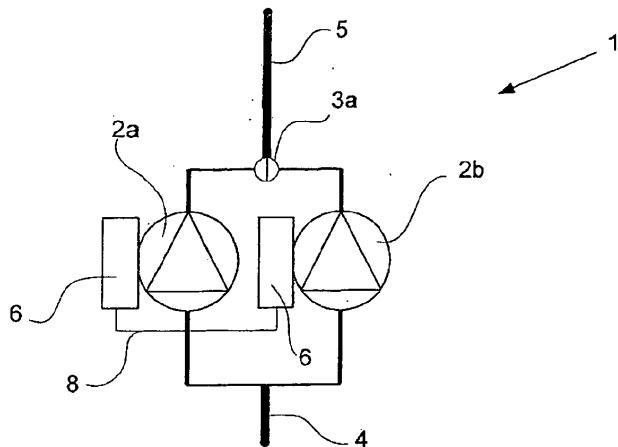


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Pumpenaggregates mit wenigstens einer Grundlast bedienenden ersten Pumpe und wenigstens einer Spitzenlast bedienenden zweiten Pumpe, die bedarfsweise zugeschaltet und parallel zu der zumindest einen ersten Pumpe betrieben wird, wobei das Pumpenaggregat derart auf einer vorgegebenen Regelkennlinie geregelt wird, dass die aufgenommene Leistung minimal ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Computerprogramm mit Instruktionen zur Durchführung dieses Verfahrens sowie ein Pumpenaggregat der genannten Art mit einer Steuerungselektronik, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist.

**[0002]** Pumpenaggregate, die aus zwei parallel fördernden Pumpen bestehen, werden als Doppelpumpe bezeichnet. Demgegenüber werden Pumpen mit mehr als zwei parallel fördernden Pumpen Multipumpen oder Druckstationen genannt. Die Pumpen werden in der Regel elektromotorisch angetrieben. Die Einsatzgebiete derartiger Pumpen liegen beispielsweise in Heizungsanlagen als Umlözpumpen oder in der Frischwasserlieferung zur Druckerzeugung. Eine Doppelpumpe und eine entsprechende Steuerung derselben ist beispielsweise aus der europäischen Patentschrift EP 0 864 755 B1 bekannt. Ferner zeigt auch die EP 2 161 455 A1 eine Doppelpumpe.

**[0003]** Für die Steuerung von Doppel- oder Multipumpen können zwei verschiedene Steuerungskonzepte verwendet werden. Gemäß eines ersten Steuerungskonzepts werden die Pumpen des Aggregats über den gesamten Regelungsbereich zur Deckung des benötigten Förderstroms synchron, d.h. mit gleicher Drehzahl, betrieben. Demgegenüber wird bei einem zweiten Steuerungskonzept zunächst lediglich eine der Pumpen des Pumpenaggregats zur Deckung eines geforderten Förderstroms verwendet. Diese Pumpe wird Grundlastpumpe genannt und ist für die Deckung des Förderstroms im so genannten Grundlastbereich zuständig. Wird jedoch ein Förderstrom benötigt, der außerhalb des Grundlastbereichs liegt, d.h. der einen Betriebspunkt jenseits der maximalen Förderdrehzahl der Grundlastpumpe besitzt, wird die zweite oder eine zweite Pumpe hinzugeschaltet, die dann gemeinsam mit der Grundlastpumpe den benötigten Förderstrom zu liefern. Diese zweite oder weitere Pumpe kann als Spitzenlastpumpe bezeichnet werden, die mit ihrer zusätzlichen hydraulischen Leistung ermöglicht, dass das Doppelpumpen- oder Multipumpenaggregat Betriebspunkte jenseits der Maximalkennlinie der Grundlastpumpe, d.h. im sogenannten Spitzenlastbereich erreicht. Es sei darauf hingewiesen, dass bei einem Multipumpenaggregat zwei oder mehr Pumpen gemeinsam für die Deckung der Grundlast zuständig sein können und daher zusammen eine Grundlastpumpe bilden, zu der eine Spitzenlastpumpe hinzuschaltbar ist. Nachfolgend wird daher "Grundlastpumpe" in der Einzahl

verwendet, wohl wissend, dass im Sinne dieser Anmeldung auch zwei oder mehr Pumpen darunter verstanden werden können.

**[0004]** Bei dem genannten zweiten Regelungskonzept wird die Grundlastpumpe bei maximaler Drehzahl betrieben, wohingegen die Spitzenlastpumpe lediglich denjenigen hydraulischen Leistungsbeitrag liefert, der zum Erreichen des zusätzlich benötigten Förderstroms erforderlich ist. Kann bei einem Multipumpenaggregat auch mit der zweiten oder weiteren, hinzugeschalteten Pumpe bei maximaler Drehzahl der Betriebspunkt nicht erreicht werden, so wird eine weitere Pumpe hinzugeschaltet. Dies erfolgt so oft, bis der benötigte Förderstrom erreicht wird.

**[0005]** Der Spitzenlastbereich bei einem Doppelpumpen- und Multipumpenaggregat umfasst alle diejenigen Betriebspunkte im Kennlinienfeld, die von der Grundlastpumpe allein nicht erreichbar sind. Demgegenüber umfasst der Grundlastbereich alle diejenigen Betriebspunkte, die grundsätzlich von der Grundlastpumpe alleine erreicht werden können. Dabei gibt es im Grundlastbereich Betriebspunkte, bei denen ein synchroner Betrieb von Grundlast- und Spitzenlastpumpe energieeffizienter ist, als ein Betrieb der Grundlastpumpe alleine. Diese Betriebspunkte liegen bezogen auf das Kennlinienfeld der Grundlastpumpe in etwa im Bereich mittleren bis hohen Durchflusses bei geringem bis mittleren Förderdruck. Dieser Bereich wird wirkungsgradoptimierter Bereich genannt. Ein leistungsoptimierter Betrieb bei Doppelpumpen und Multipumpen wird daher dadurch erreicht, dass in dem genannten Kennlinienbereich eine Spitzenlastpumpe hinzugeschaltet wird und beide bzw. alle Pumpen synchron laufen. Ein derartiger Betrieb mit reduzierter Drehzahl ist dann energetisch günstiger als ein alleiniger Betrieb der Grundlastpumpe mit entsprechend hoher Drehzahl.

**[0006]** Zur Bestimmung des wirkungsgradoptimalen Bereichs ist ein hoher messtechnischer Aufwand erforderlich, der beim Hersteller der gattungsgemäßen Pumpenaggregate auf dem Prüfstand durchgeführt wird, bevor das Pumpenaggregat auf den Markt kommt. Es wird das gesamte Kennlinienfeld des Pumpenaggregats Betriebspunkt für Betriebspunkt vermessen, die entsprechenden Messdaten abgespeichert und anschließend ausgewertet. Dabei werden zumindest diejenigen Betriebspunkten, die unterhalb der Maximalkennlinie der Grundlastpumpe liegen, zum einen ausschließlich mit der Grundlastpumpe und zum anderen im synchronen Betrieb von Grundlastpumpe und Spitzenlastpumpe angefahren, wobei in jedem der beiden Fällen die jeweils aufgenommene Leistung des Pumpenaggregats bestimmt wird und die beiden Leistungen miteinander verglichen werden. Aus dem Vergleich der Leistungen kann dann festgestellt werden, ob das Pumpenaggregat energetisch günstiger betrieben wird, wenn nur die Grundlastpumpe läuft oder ob der synchrone Betrieb von Grundlast- und Spitzenlastpumpe zu einer geringeren Leistungsaufnahme führt. Das Vermessen des Kennlinienfeldes und die Durchführung der Vergleichsversuche

zur Bestimmung des wirkungsgradoptimierten Bereichs innerhalb des Kennlinienfeldes benötigen erhebliche personelle und zeitliche Ressourcen und verteuern damit das Doppel- bzw. Multipumpenaggregat.

**[0007]** Eine Grenzlinie, die den theoretischen Übergang zwischen dem Betrieb des Pumpenaggregats im Grundlastbereich mit nur der Grundlastpumpe zum wirkungsgradoptimierten Bereich mit Grundlast- und Spitzenlastpumpe kennzeichnet, wird nach dem Stand der Technik in der Steuerungselektronik des Pumpenaggregats hinterlegt. Im Betrieb des Pumpenaggregats kann dann durch Messen des Differenzdrucks zwischen Saugseite und Druckseite und Abschätzen oder Messen des Durchflusses festgestellt werden, ob ein Betriebspunkt des Aggregats unterhalb der Grenzlinie liegt und damit nur die Grundlastpumpe betrieben werden sollte, oder ob der Betriebspunkt oberhalb der Grenzlinie liegt und das Pumpenaggregat mit Grundlast- und Spitzenlastpumpe betrieben werden sollte. Die Grenzlinie gibt daher für jeden Förderdruck an, bei welchem Volumenstrom die Spitzenlastpumpe aus energetischen Gründen hinzugeschaltet werden sollte.

**[0008]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Doppelpumpen- oder Multipumpenaggregat wirkungsgradoptimiert zu betreiben, ohne dass eine vorherige messtechnische Aufnahme und Auswertung von Kennlinien des Pumpenaggregats erforderlich ist, um die Grenzlinie für die Umschaltung vom Grundlastbetrieb in den Spitzenlastbetrieb festzustellen.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Betrieb eines Pumpenaggregats mit wenigstens einer einer Grundlast bedienenden ersten Pumpe und wenigstens einer einer Spitzenlast bedienenden zweiten Pumpe vorgeschlagen, die bedarfsweise zugeschaltet und parallel zu der zumindest einen ersten Pumpe betrieben wird, wobei das Pumpenaggregat derart auf einer vorgegebenen Regelkennlinie geregelt wird, dass die aufgenommene Leistung minimal ist, wobei das Pumpenaggregat in Abhängigkeit eines oberen und eines unteren Grenzwertes entweder mit mindestens zwei Pumpen oder mit wenigstens einer ausgeschalteten Pumpe betrieben wird, wobei ausgehend von einem synchronen Betrieb der Pumpen in einem Betriebspunkt, in dem die Pumpen mit derselben Drehzahl und/oder Leistung betrieben werden, in einem ersten Schritt der Wert zumindest einer Betriebsgröße des Pumpenaggregates als Referenzwert abgespeichert wird, in einem zweiten Schritt der von der zweiten Pumpe geförderte Volumenstrom reduziert wird, in einem dritten Schritt in Abhängigkeit der Reaktionen der geregelten ersten Pumpe eine Zuordnung des Betriebspunktes zu einem Lastbereich erfolgt und in einem vierten Schritt der obere oder untere Grenzwert durch den Referenzwert ersetzt wird.

**[0011]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht

es, ohne die Vermessung des Kennlinienbereichs des Pumpenaggregates vor dessen Inbetriebnahme auszukommen. Vielmehr wird die Grenzlinie respektive der Umschaltpunkt für eine bei dem Betrieb des Pumpenaggregates eingestellte Regelkennlinie im laufenden Betrieb als eine Art "Grenzband" ermittelt. Dies erfolgt dadurch, dass bei jedem aktuellen Betriebspunkt bestimmt wird, ob dieser Betriebspunkt im Spitzenlastbereich, im wirkungsgradoptimierten Bereich oder im Grundlastbereich des Pumpenaggregats liegt, wobei das Grenzband in seiner Breite durch den unteren und den oberen Grenzwert begrenzt ist. Eine Messung des Volumenstroms, der Förderhöhe oder des Differenzdrucks für die Bestimmung des Umschaltpunktes ist durch das vorgeschlagene Verfahren nicht mehr notwendig.

**[0012]** Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die Lage und Breite des Grenzbandes im laufenden Betrieb des Pumpenaggregats angepasst und reduziert werden. Dies bewirkt, dass Verschleiß und Abnutzungsscheinungen am Pumpenaggregat keine Änderung der Betriebseinstellung erfordern. Auch bleiben Software und oder Firmware aktualisierungen ohne Einfluss. Das Pumpenaggregat wird stets energieoptimiert betrieben.

**[0013]** Vorzugsweise wird als Betriebsgröße zur Festlegung des oberen und des unteren Grenzwertes die synchrone Drehzahl des Pumpenaggregats verwendet, und diese als Referenzdrehzahl abgespeichert. Die synchrone Drehzahl ist diejenige Drehzahl, bei der die Grundlastpumpe und die Spitzenlastpumpe synchron, d.h. mit gleicher Drehzahl betrieben werden. Die Drehzahl kann auf einfache Weise bestimmt werden, beispielsweise durch Berechnung aufgrund von Strom und Spannung, die messtechnisch ermittelt werden oder numerisch in einem Modell (Beobachter) vorliegen. Alternativ kann die Drehzahl mittels eines Drehzahlsensors bestimmt werden, die im Stand der Technik hinlänglich bekannt sind.

**[0014]** Alternativ zur synchronen Drehzahl kann als Betriebsgröße auch die von dem Pumpenaggregat aufgenommene elektrische Leistung verwendet werden.

**[0015]** Der von der zweiten Pumpe geförderte Volumenstrom kann dadurch reduziert werden, dass die Drehzahl der zweiten Pumpe verringert wird. Dies kann auf einfache Weise durch entsprechende Ansteuerung der Pumpe erfolgen. Alternativ kann der Volumenstrom der zweiten Pumpe auch dadurch reduziert werden, dass ein zwischen der zweiten Pumpe und dem Einmündungspunkt des Volumenstroms der zweiten Pumpe zum Gesamtvolumenstrom des Pumpenaggregats angeordnetes Ventil zunehmend geschlossen wird. Dies erfordert jedoch zusätzliche bauliche und steuerungstechnische Maßnahmen am Pumpenaggregat.

**[0016]** Zusätzlich zur synchronen Drehzahl kann die von dem Pumpenaggregat im synchronen Betrieb aufgenommene Leistung bestimmt und als Referenzleistung abgespeichert werden. Dies ermöglicht die Durchführung eines Leistungsvergleichs der aufgenommenen Leistung des Pumpenaggregates für die Zuordnung des

aktuellen Betriebspunktes zu einem Lastbereich, insbesondere zum wirkungsgradoptimalen Bereich. Der Vergleich der Leistung wird dann vor der Verringerung des Volumenstroms der zweiten Pumpe und nach der Verringerung dieses Volumenstroms durchgeführt.

**[0017]** Vorzugsweise kann der Referenzwert, insbesondere die Referenzdrehzahl als ein oberer Grenzwert, insbesondere ein Drehzahlgrenzwert abgespeichert werden, wenn nach der Volumenstromreduzierung wenigstens eine erste Bedingung erfüllt ist, die einem der Lastenbereiche Spitzenlastbereich oder wirkungsgradoptimaler Bereich zugeordnet ist. Wenn die erste Bedingung erfüllt ist, kann somit festgestellt werden, dass der aktuelle Betriebspunkt in dem Spitzenlastbereich oder dem wirkungsgradoptimalen Bereich liegt.

**[0018]** Des Weiteren kann der Referenzwert, insbesondere die Referenzdrehzahl als ein unterer Grenzwert, insbesondere Drehzahlgrenzwert abgespeichert werden, wenn zumindest eine zweite Bedingung erfüllt ist, die dem Grundlastbereich zugeordnet ist. Sofern diese zweite Bedingung erfüllt ist, kann somit festgestellt werden, dass der aktuelle Betriebspunkt des Pumpenaggregats im Grundlastbereich liegt.

**[0019]** Nach der Auswertung der ersten und der zweiten Bedingung kann in der Regel festgestellt werden, in welchen Lastbereich der aktuelle Betriebspunkt des Pumpenaggregats fällt, d.h., ob der aktuelle Betriebspunkt im Spitzenlastbereich, im Grundlastbereich oder im wirkungsgradoptimalen Bereich liegt. Liegt er im Grundlastbereich, wird der Referenzwert als unterer Grenzwert gesetzt. Liegt er dagegen im Spitzenlastbereich oder wirkungsgradoptimalen Bereich wird der Referenzwert als oberer Grenzwert gesetzt.

**[0020]** Diese Vorgehensweise kann erfindungsgemäß für alle Betriebspunkte auf einer jeweils eingestellten Regelkennlinie des Pumpenaggregates, auf der das Pumpenaggregat gemäß einer übergeordneten Regelung betrieben wird, durchgeführt werden, wobei der obere und untere Grenzwert im laufenden Betrieb jeweils dynamisch angepasst wird, wenn ein neuer Betriebspunkt vorliegt, der näher an der theoretischen Grenzlinie liegt.

**[0021]** Bei dem oberen Grenzwert oder oberhalb dieses oberen Grenzwertes wird das Pumpenaggregat erfindungsgemäß mit mindestens zwei Pumpen, d.h. im Falle einer Doppelpumpe mit beiden Pumpen betrieben. Ferner wird das Pumpenaggregat bei dem unteren Grenzwert oder unterhalb des unteren Grenzwertes mit zumindest einer abgeschalteten Pumpe, d.h. im Falle einer Doppelpumpe mit nur einer Pumpe betrieben. Wird als zu referenzierende Betriebsgröße die synchrone Drehzahl des Pumpenaggregates verwendet, von der das erfindungsgemäß Verfahren stets startet, wenn sich ein neuer Betriebspunkt einstellt, kann aufgrund eines Vergleichs der aktuellen synchronen Drehzahl mit dem abgespeicherten oberen Drehzahlgrenzwert und dem abgespeicherten unteren Drehzahlgrenzwert auf einfache Weise festgestellt werden, ob der aktuelle Betriebspunkt gleich oder oberhalb des oberen Grenzwertes bzw. gleich oder unterhalb des unteren Grenzwertes liegt. In diesen Fällen erfolgt keine Anpassung der Grenzwerte.

tes bzw. gleich oder unterhalb des unteren Grenzwertes liegt. In diesen Fällen erfolgt keine Anpassung der Grenzwerte.

**[0022]** Sofern das Pumpenaggregat in einem Betriebspunkt mit einer synchronen Drehzahl zwischen dem oberen Grenzwert und dem unteren Grenzwert betrieben wird, werden die oben genannten vier Schritte ausgehend vom synchronen Betrieb der laufenden Pumpen wiederholt. Dies bewirkt, dass sowohl der obere Grenzwert als auch der untere Grenzwert dynamisch im laufenden Betrieb angepasst werden, wobei sie zunehmend näher an die Grenzlinie, die den Grundlastbereich vom wirkungsgradoptimalen Bereich trennt, herangeführt werden.

**[0023]** Vorzugsweise wird das erfindungsgemäß Verfahren für jede vorgegebene Regelkennlinie separat durchgeführt. Somit wird auf jeder Regelkennlinie, auf der ein übergeordneter Druckregler das Pumpenaggregat regelt, jeweils ein oberer und ein unterer Grenzwert der Betriebsgröße, insbesondere der synchronen Drehzahl festgelegt, zwischen denen der Übergang vom Grundlastbereich zum wirkungsgradoptimalen Bereich liegt und in Abhängigkeit derer das Aggregat mit zumindest zwei Pumpen betrieben wird.

**[0024]** Die Regelkennlinie kann eine solche Kennlinie sein, bei der der von dem Pumpenaggregat erzeugte Druck über den Volumenstrom konstant gehalten wird. Eine solche Regelkennlinie ist als  $\Delta p$ -konstant Kennlinie bekannt. Alternativ sind Regelkennlinien bekannt, bei denen der Druck des Pumpenaggregates proportional zum Volumenstrom eingestellt wird. Derartige Kennlinien sind als  $\Delta p$ -variabel bekannt. Da der Übergang vom Grundlastbereich zum wirkungsgradoptimalen Bereich für jede Regelkennlinie bei einem anderen Betriebspunkt liegt, ist es sinnvoll, bei einem Wechsel der aktuellen Regelkennlinie die ermittelten Grenzwerte kennlinien-spezifisch, d.h. dieser letzten Kennlinie zugeordnet abzuspeichern. So können in dem Fall, dass auf eine vorherige Regelkennlinie zurückgewechselt wird, die für diese Regelkennlinie zuvor bestimmten Grenzwerte wieder verwendet werden.

**[0025]** Vorzugsweise werden bei einem Wechsel der Regelkennlinie neue Grenzwerte verwendet. Wie die Grenzwerte zu der vorherigen Regelkennlinie werden diese neuen Grenzwerte auf Anfangswerte gesetzt und anschließend anhand der sich einstellenden Betriebspunkte numerisch bestimmt. Dabei kann erneut die synchrone Drehzahl als Referenzgröße verwendet werden.

**[0026]** Besonders vorteilhaft ist bei dem erfindungsgemäß Verfahren, dass es im gewöhnlichen laufenden Betrieb des Pumpenaggregates nach seiner

**[0027]** Inbetriebnahme ohne die Kenntnis charakteristischer Kennlinien durchgeführt werden kann, so dass auf eine werkseitige Analyse des Kennlinienfeldes des Pumpenaggregats vor seiner Inbetriebnahme verzichtet werden kann.

**[0028]** Wie zuvor erläutert, kann der Referenzwert der

Betriebsgröße als ein oberer Grenzwert abgespeichert werden, wenn nach der Volumenstromreduzierung, insbesondere der Drehzahlreduzierung der zweiten Pumpe, wenigstens eine erste Bedingung erfüllt ist. Diese Bedingung kann beispielsweise das Erreichen oder Überschreiten der Maximaldrehzahl der ersten Pumpe sein. Ist diese Bedingung erfüllt, so folgt hieraus der Schluss, dass der aktuelle Betriebspunkt im Spitzenlastbereich liegt, bei dem ein Förderstrom benötigt wird, der von der wenigstens einen Grundlastpumpe alleine nicht geliefert werden kann. Denn durch die Reduzierung des Volumenstroms, insbesondere der Drehzahl der zweiten Pumpe, muss die Grundlastpumpe den fehlenden Volumenstrom der zweiten Pumpe aufbringen, d.h. mit höherer Förderleistung betrieben werden. Steigt bei dieser Volumenstromübernahme die Drehzahl der Grundlastpumpe auf oder über die Maximaldrehzahl, wäre die erste Bedingung erfüllt und der aktuelle Betriebspunkt liegt im Spitzenlastbereich.

**[0029]** Alternativ kann als erste Bedingung ein Vergleich mit der abgespeicherten Referenzleistung verwendet werden, wobei die aktuelle Leistungsaufnahme der ersten Pumpe, d.h. der Grundlastpumpe mit dieser Referenzleistung verglichen wird und als erste Bedingung ein Überschreiten dieser Referenzleistung geprüft wird. Mit dieser Bedingung kann festgestellt werden, ob der aktuelle Betriebspunkt des Pumpenaggregats im wirkungsgradoptimierten Bereich liegt.

**[0030]** Dieser Feststellung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass die erste Pumpe im Falle eines aktuellen Betriebspunkts des Pumpenaggregats unterhalb der maximalen Drehzahlkennlinie der ersten Pumpe zwar eine Übernahme des Volumenstroms der zweiten Pumpe bewerkstelligen kann. Ist jedoch in diesem Betriebspunkt die Leistungsaufnahme der Grundlastpumpe höher als die zuvor im synchronen Betrieb des Pumpenaggregats mit Grundlastpumpe und Spitzenlastpumpe aufgenommene Leistung, ist es energetisch günstiger, für diesen Betriebspunkt die Grundlastpumpe und die Spitzenlastpumpe gleichzeitig, insbesondere synchron zu betreiben. Steigt die Leistungsaufnahme der ersten Pumpe nach der Volumenstromreduzierung der zweiten Pumpe also über die abgespeicherte Referenzleistung, ist damit festgestellt, dass der aktuelle Betriebspunkt im wirkungsgradoptimierten Bereich des Kennlinienfeldes des Pumpenaggregats liegt.

**[0031]** Von den beiden alternativ genannten ersten Bedingungen stellt der Vergleich der Leistungsaufnahme zur abgespeicherten Referenzleistung das strengere Kriterium dar, weil auch im Falle eines Betriebspunkts im Spitzenlastbereich die Leistung der Grundlastpumpe über den Referenzwert steigen wird.

**[0032]** Die beiden genannten ersten Bedingungen können jedoch auch komмуativ angewendet werden, wobei sie in einer Rangfolge geprüft werden. So kann zunächst das Überschreiten der Maximaldrehzahl der ersten Pumpe überprüft werden und, sofern diese Maximaldrehzahl nicht erreicht bzw. überschritten wird, die

aktuelle Leistungsaufnahme der ersten Pumpe bestimmt und mit der abgespeicherten Referenzleistung verglichen werden. Die Drehzahl kann auf einfache Weise bestimmt werden, da der übergeordnete Druckregler, der das Pumpenaggregat auf einer vorgegebenen Regelkennlinie regelt, einen Drehzahlsollwert ausgibt, dessen Betrag leicht bestimmt werden kann. Erreicht dieser einen Maximalwert, kann die ressourcenintensive und aufwändige messtechnische und rechnerische Bestimmung der Leistungsaufnahme der ersten Pumpe respektive ein numerischer Vergleich dieses Werts mit der abgespeicherten Referenzleistung eingespart werden.

**[0033]** Wie zuvor beschrieben, kann der Referenzwert der Betriebsgröße als ein unterer Grenzwert abgespeichert werden, wenn zumindest eine zweite Bedingung erfüllt ist, die dem Grundlastbereich zugeordnet ist. Als zweite Bedingung kann der Fall verwendet werden, dass sich die Leistungsaufnahme der ersten Pumpe als Reaktion auf eine Volumenstromreduzierung der zweiten

Pumpe zumindest im Mittel im Wesentlichen nicht mehr verändert, d.h. insbesondere nicht mehr erhöht. Diese Bedingung wird bei einem unveränderten Betriebspunkt im Grundlastbereich irgendwann erreicht. Hierfür sollte jedoch die Volumenstromreduzierung kontinuierlich oder sukzessiv stufenweise derart erfolgen, dass die Zeitspanne von der letzten bis zur nächsten Reduzierung kleiner als die Zeitkonstante der Systemreaktion auf die Volumenstromabsenkung ist. Dabei ist Folgendes zu berücksichtigen: ausgehend von einem synchronen Betrieb

der ersten und der zweiten Pumpe tragen diese jeweils zu 50% zum Volumenstrom des Pumpenaggregats bei. Da druckseitig einer jeden Pumpe des Pumpenaggregats ein Rückschlagventil oder eine Rückschlagklappe angeordnet ist, wie dies beispielsweise bei der europäischen Patentanmeldung EP 2 161 455 A1 der Fall ist, führt bereits eine geringfügige Reduzierung des Volumenstroms der zweiten Pumpe von wenigen Prozent dazu, dass der druckseitige Auslass der zweiten Pumpe weitgehend geschlossen wird. Dadurch dominiert die erste Pumpe den Volumenstrom deutlich. Dies bedeutet, dass eine weitere Reduzierung des Volumenstroms der zweiten Pumpe ohne Einfluss auf die Leistung der ersten Pumpe bleibt. Vor diesem Hintergrund ist eine sich bei der Volumenstromreduzierung der zweiten Pumpe im

Mittel nicht wesentlich ändernde Leistungsaufnahme der ersten Pumpe der Beweis dafür, dass der aktuelle Betriebspunkt des Pumpenaggregats im Grundlastbereich liegt.

**[0034]** Alternativ zu diesem Kriterium kann als zweite Bedingung der Fall verwendet werden, dass der Volumenstrom oder die Drehzahl der zweiten Pumpe infolge der Reduzierung einen Minimalwert erreicht oder unterschreitet. Dieses Kriterium kann dann verwendet werden, wenn das erstgenannte Kriterium nicht erfüllt ist, d.h. die Leistungsaufnahme der ersten Pumpe, insbesondere im Mittel schwankt, so dass auf der Grundlage dieser Feststellung keine eindeutige Aussage über den Betriebspunkt erfolgen kann, sofern jedenfalls die Lei-

stungsaufnahme nicht über die abgespeicherte Referenzleistung steigt.

**[0035]** Wird jedoch in diesem nicht aussagekräftigen Fall der Volumenstrom der zweiten Pumpe, insbesondere die Drehzahl der zweiten Pumpe kontinuierlich oder sukzessiv stufenweise soweit reduziert, dass der Volumenstrom und/oder die Drehzahl einen Minimalwert erreicht oder unterschreitet und die Leistungsaufnahme der ersten Pumpe ist noch immer nicht über die abgespeicherte Referenzleistung gestiegen ist, so ist dies ein Beweis dafür, dass der aktuelle Betriebspunkt des Pumpenaggregats im Grundlastbereich liegt, wobei der benötigte Förderstrom von der Grundlastpumpe allein bereitgestellt werden kann und der Betrieb der Grundlastpumpe alleine eine geringere Leistungsaufnahme des Pumpenaggregats bedingt, als wenn Grundlast- und Spitzenlastpumpe synchron betrieben werden.

**[0036]** Es ist daher sinnvoll, wenn die zweite Bedingung nur dann geprüft wird, wenn die erste Bedingung nicht erfüllt ist.

**[0037]** Vorzugsweise wird bei oder unmittelbar nach der Abspeicherung des unteren Grenzwerts zusätzlich der Wert einer Betriebsgröße der ersten Pumpe als Grundlastreferenzwert abgespeichert. Dieser Grundlastreferenzwert stellt einen Vergleichswert dar, mit dem der aktuelle Wert der berücksichtigten Betriebsgröße der ersten Pumpe im Grundlastbetrieb verglichen werden kann, um eine Zustandsänderung der ersten Pumpe zu erkennen. Der Grundlastbetrieb ist hierbei derjenige Betrieb, bei dem nur die zumindest eine Grundlastpumpe arbeitet, d.h. in dem wenigstens eine Pumpe des Pumpenaggregats ausgeschaltet ist.

**[0038]** Vom Grundlastbetrieb kann dann wieder zurück in den Synchronbetrieb übergegangen werden, wenn der aktuelle Wert der Betriebsgröße der ersten Pumpe über den genannten Grundlastreferenzwert steigt oder gleich oder größer einem Maximalwert dieser Betriebsgröße wird.

**[0039]** Vorzugsweise kann als Betriebsgröße der ersten Pumpe ihre Drehzahl verwendet werden, da diese anhand der Drehzahlinformation des übergeordneten Druckreglers des Pumpenaggregats auf einfache Weise bestimmt werden kann.

**[0040]** Besonders vorteilhaft ist es des Weiteren, wenn dem Grundlastreferenzwert ein Offset hinzugefügt wird. Hierdurch wird eine Hysterese beim Zurückschalten in den Synchronbetrieb erreicht und ein mehrfaches, kurzzeitig hintereinander folgendes Umschalten zwischen Grundlastbetrieb und synchronem Betrieb verhindert.

**[0041]** Wie bereits angesprochen, kann die Volumenstromreduzierung der zweiten Pumpe schrittweise oder kontinuierlich erfolgen. Dies hat gegenüber einem abrupten Ausschalten der zweiten Pumpe den Vorteil, dass der übergeordnete Druckregler in seiner Regelaufgabe nicht beeinflusst wird und ein plötzlicher Druckabfall im hydraulischen System vermieden wird. Zudem kann auf eine plötzliche Volumenstromanforderung schnell durch Wiederhochfahren der zweiten Pumpe reagiert werden.

**[0042]** Beispielsweise kann eine schrittweise Reduzierung mit Werten zwischen 200 U/min und 50 U/min, insbesondere etwa 75 U/min bis 150 U/min, vorzugsweise etwa 100 U/min erfolgen. Im Falle einer kontinuierlichen Reduzierung der Drehzahl kann diese beispielsweise mit einer negativen Steigung von 50-150 U/min pro Sekunde, insbesondere 100 U/min pro Sekunde erfolgen.

**[0043]** Zusätzlich zu den vorgenannten Maßnahmen kann nach der Volumenstromreduzierung wieder in den synchronen Betrieb des Pumpenaggregats übergegangen werden, wenn die Leistungsaufnahme der ersten Pumpe sinkt. Dies kann als eine dritte Bedingung verwendet werden, die zusätzlich zu den beiden anderen Bedingungen anwendbar ist. Sie ist dann erfüllt, wenn während der Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte, insbesondere nach der Volumenstromreduzierung, die benötigte Förderleistung sinkt, d.h. sich der Betriebspunkt des Pumpenaggregats in Richtung geringerer Volumenströme verändert. In diesem Fall würde die Prüfung der ersten und der zweiten Bedingung negativ sein. Aus diesem Grunde ist es vorteilhaft, im Falle einer sinkenden Leistungsaufnahme der ersten Pumpe nach der Volumenstromreduzierung der zweiten Pumpe wieder in den synchronen Betrieb zurückzukehren und von diesem Betrieb das Verfahren weiterzuführen, d.h. die Zuordnung des neuen Betriebspunktes zu einem der Lastbereiche zu wiederholen. Die dritte Bedingung stellt damit eine Auffangbedingung dar.

**[0044]** Vorzugsweise wird erst nach einer Wartezeit geprüft, ob zumindest eine der Bedingungen erfüllt ist. Diese Verfahrensweise trägt dem Fall Rechnung, dass unmittelbar nach einer Volumenstromreduzierung noch keine Aussage über die Zuordnung des aktuellen Betriebspunktes zu einem Lastbereich durchführbar ist, weil die Systemreaktion noch nicht erfolgt oder beendet ist, insbesondere eine übergeordnete Druckregelung noch nicht ausgeregelt hat.

**[0045]** Des Weiteren kann vorgesehen werden, dass der Volumenstrom der zweiten Pumpe weiter reduziert wird, wenn keine der Bedingungen erfüllt ist. Dies kann jedenfalls solange erfolgen, wie noch kein Minimalwert für den Volumenstrom, insbesondere die Minimale Drehzahl der zweiten Pumpe erreicht ist.

**[0046]** Vorzugsweise kann in jedem Stand des erfindungsgemäßen Verfahrens in einen Synchronbetrieb übergegangen werden, wenn die erste Pumpe einen unzulässigen Betriebszustand erreicht, insbesondere wenn die Drehzahl der ersten Pumpe einen Maximalwert erreicht oder überschreitet. Diese Verfahrensweise trägt dem Umstand Rechnung, dass kurzfristig eine erhöhte Volumenstromanforderung an das Pumpenaggregat gestellt werden kann, die mit dem Betrieb einer oder mehrere Grundlastpumpen allein nicht bedient werden kann. Es werden demgemäß in diesem Fall alle Pumpen des Pumpenaggregats wieder eingeschaltet und diese synchron betrieben, so dass das Verfahren für den geänderten Betriebspunkt neu beginnen kann.

**[0047]** Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn bei Erfüllung der ersten Bedingung unmittelbar in den Synchronbetrieb zurückgekehrt wird und der Referenzwert nur dann als oberer Grenzwert abgespeichert wird, wenn sich nach der Rückkehr wieder der Betriebszustand vor der Volumenstromreduzierung einstellt. Diese Verfahrensweise stellt eine Plausibilitätsprüfung dar und berücksichtigt den Fall, dass sich während der Überprüfung der ersten Bedingung der Betriebspunkt des Pumpenaggregats verändert. Denn nur in dem Fall keiner Veränderung des Betriebspunktes wird das Pumpenaggregat bei der Rückgängigmachung der Volumenstromreduzierung wieder in den ursprünglichen Betriebszustand zurückkehren, in dem die synchrone Drehzahl und/oder die Leistungsaufnahme des Pumpenaggregats wieder denjenigen vor der Volumenstromreduzierung entspricht/entsprechen. Nur in diesem Fall ist der Schluss zulässig, dass der Betriebszustand im Spitzenlastbereich oder im wirkungsgradoptimierten Bereich liegt, so dass der Referenzwert korrekt als oberer Grenzwert abgespeichert werden kann.

**[0048]** Es ist des Weiteren vorteilhaft, wenn der untere Grenzwert auf einen Minimalwert zurückgesetzt wird und in den synchronen Betrieb zurückgekehrt wird, wenn die erste Pumpe im Grundlastbetrieb einen unzulässigen Betriebszustand erreicht, insbesondere eine maximale Drehzahl erreicht oder überschreitet. Mit dieser Verfahrensweise wird eine Sicherheitseinrichtung implementiert, die für den Fall Anwendung findet, dass der abgespeicherte untere Grenzwert nicht korrekt ist. Um eine Fehlfunktion des Pumpenaggregates zu vermeiden, wird dann ein Reset des unteren Grenzwerts durchgeführt und in den synchronen Betrieb übergegangen, wenn die erste Pumpe einen unzulässigen Betriebszustand erreicht. Erfindungsgemäß kann das vorbeschriebene Verfahren in einem Computerprogramm implementiert sein, d.h. von einem Computerprogrammprodukt gebildet sein, das Instruktionen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält, und das durchgeführt wird, wenn es auf einem Mikrocomputer einer Steuerungselektronik ausgeführt wird. Das Verfahren kann sowohl in einer Steuerungselektronik des Pumpenaggregats als auch in einem externen Steuergerät, insbesondere in einem Steuercomputer realisiert werden.

**[0049]** Die Erfindung betrifft schließlich ein Pumpenaggregat mit wenigstens einer Grundlast bedienenden ersten Pumpe und wenigstens einer Spitzenlast bedienenden zweiten Pumpe, die bedarfsweise zugeschaltet und parallel zu der zumindest einen ersten Pumpe betreibbar ist, wobei das Pumpenaggregat derart auf einer vorgegebenen Regelkennlinie regelbar ist, dass die aufgenommene Leistung minimal ist, und wobei es eine Steuerungselektronik aufweist, die zur Durchführung des vorbeschriebenen Verfahrens eingerichtet ist. Dabei kann das vorgenannte Computerprogramm mit den Instruktionen zur Durchführung des Verfahrens auf einen Mikrocomputer der Steuerungselektronik geladen sein.

**[0050]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer

beispielhaften Ausführungsvariante unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- 5      Figur 1: schematische Darstellung eines Doppelpumpenaggregats
- Figur 2: schematische Darstellung eines Multipumpenaggregates
- Figur 3: übergeordnete Schrittfolge des erfindungsgemäßen Verfahrensablaufs
- 10     Figur 4: Beispielhafte Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Leistungsregelung des Pumpenaggregats mit dynamischer Grenzwertanpassung als Programmablaufplan
- 15     Figur 5: Kennlinienfeld eines Doppelpumpenaggregats
- Figur 6: Beginn des Verfahrens mit einem beispielhaften Betriebspunkt im Grundlastbereich
- Figur 7: Darstellung des Kennlinienfeldes mit neu gesetzter unterer Grenze und neuem Betriebspunkt im Spitzenlastbereich
- 20     Figur 8: Darstellung des Kennlinienfeldes mit gesetzter unterer und neuer oberer Grenze und neuem Betriebspunkt im wirkungsgradoptimierten Bereich
- 25     Figur 9: Veranschaulichung der Anpassung der oberen Grenze am Kennlinienfeld
- Figur 10: Veranschaulichung der Anpassung der unteren Grenze am Kennlinienfeld
- 30     Figur 11: Veranschaulichung des Verfahrens nach der Wahl einer neuen Regelkennlinie  $\Delta p_c$  im Kennlinienfeld mit neuem Betriebspunkt im Grundlastbereich
- Figur 12: Veranschaulichung einer neuen Regelkennlinie  $\Delta p_v$  im Kennlinienfeld
- 35     Figur 13: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Leistungen und der Drehzahl der Pumpen und des Pumpenaggregats bei schrittweiser Drehzahlreduzierung der zweiten Pumpe über die Zeit
- 40

**[0051]** Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Doppelpumpe, d.h. eines Pumpenaggregats 1 mit zwei baugleichen Pumpen 2a, 2b, die hydraulisch parallel zueinander geschaltet sind. Sie besitzen eine gemeinsame Saugleitung 4, an die die beiden Pumpen 2a, 2b mit ihrer Saugseite angeschlossen sind. Druckseitig münden die Pumpen 2a, 2b in eine gemeinsame Druckleitung 5, wobei im Übergangsbereich zur Druckleitung 5 eine Rückschlagklappe 3a angeordnet ist. Durch diese Rückschlagklappe wird verhindert, dass Fördermedium der einen Pumpe in die Druckseite der anderen Pumpe gelangt und somit ein unnötiger hydraulischer Widerstand erzeugt wird. Vielmehr lenkt die Rückschlagklappe 3a den Förderstrom der beiden Pumpen 2a, 2b in die Druckleitung 5.

**[0052]** Jeder Pumpe 2a, 2b ist eine Pumpenelektronik 6 zugeordnet, die die elektromotorische Antriebseinheit

der Pumpe 2a, 2b steuert. Die Pumpenelektronik 6 ist an eine Betriebsspannung angeschlossen und bestromt den jeweiligen Elektromotor mittels eines Frequenzumrichters. Der Frequenzumrichter wird von einem pulsweitenmodulierten (PWM) Signal gesteuert, das von einem Mikroprozessor der Pumpenelektronik in Abhängigkeit eines Drehzahlsollwerts erzeugt wird. Dieser Drehzahlsollwert wird von einem Regler ausgegeben, der ebenfalls Teil der Pumpenelektronik ist, insbesondere in dem Mikroprozessor der Elektronik implementiert ist.

**[0053]** Dieser Regler ist dem erfindungsgemäßen Verfahren übergeordnet und regelt eine Pumpe 2a, 2b gemäß einer Regelkennlinie, die an der jeweiligen Pumpenelektronik 6 vorgegeben werden kann. Dabei wird jeweils der von einer Pumpe 2a, 2b erzeugte Druck geregelt, wobei die Pumpen 2a, 2b messtechnisch zur Erfassung des Differenzdrucks zwischen der Saugseite und Druckseite eingerichtet sind. Alternativ kann das Pumpenaggregat 1 auch druckgeregelt sein, wobei nur die Regelung einer der beiden Pumpen 2a, 2b benötigt wird.

**[0054]** In der beispielhaften Ausführungsvariante gemäß Figur 1 sind die beiden Pumpenelektroniken 6 der Pumpen 2a, 2b über eine Steuerleitung 8 parallel geschaltet. Die Pumpenelektronik 6 der zweiten Pumpe 2b kann über diese Steuerleitung 8 dasselbe Steuersignal für ihren Frequenzumrichter empfangen, das von der Pumpenelektronik 6 der ersten Pumpe 2a ausgegeben wird. Die erste Pumpe 2a fungiert damit samt ihrer Regel-/ Steuerelektronik 6 als eine Art Master, wohingegen die zweite Pumpe 2b mit ihrer Regel-/ Steuerelektronik 6 als eine Art Slave gesteuert wird. Gemäß dieser steuerungstechnischen Anordnung wird ein synchroner Betrieb der beiden elektromotorischen Antriebseinheiten der ersten Pumpe 2a und der zweiten Pumpe 2b erreicht. Die Pumpenelektronik 6 der zweiten Pumpe 2b ist jedoch vollkommen baugleich zur Pumpenelektronik 6 der ersten Pumpe 2a ausgebildet und kann bei Bedarf die zweite Pumpe 2b vollkommen autark von der Pumpenelektronik 6 der ersten Pumpe 2a steuern.

**[0055]** Figur 2 zeigt eine beispielhafte zweite Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Pumpenaggregats 1 mit einer Vielzahl parallel arbeitender Pumpen 2a, 2b. Von dieser Vielzahl sind jedoch nur drei Pumpen in der Figur 2 dargestellt. Dabei fungieren zwei Pumpen 2a als synchron laufende Grundlastpumpen und eine Pumpe 2b als Spitzenlastpumpe. Alle Pumpen sind an eine gemeinsame Saugleitung 4 angeschlossen und münden in eine gemeinsame Druckleitung 5. Zwischen jeder Pumpe 2a, 2b und der Druckleitung 5 ist ein Rückschlagventil 3 angeordnet, das wie die Rückschlagklappe 3a in Figur 1 jeweils verhindert, dass das unter Druck stehende Fördermedium in den druckseitigen Bereich einer geringer fördernden oder ausgeschalteten Pumpe gelangt.

**[0056]** Auch in dieser Ausführungsvariante gemäß Figur 2 ist jede Pumpe 2a, 2b mit einer Pumpenelektronik 6 ausgestattet, die die entsprechende Pumpe 2a, 2b vollkommen autark steuern kann, d.h. die die elektromoto-

rische Antriebseinheit derart bestromen kann, dass die Pumpe 2a, 2b auf einer vorgegebenen Regelkennlinie geregelt wird. Die Pumpenelektroniken 6 gemäß Figur 2 sind daher identisch zu den Pumpenelektroniken 6 in Figur 1. Grundsätzlich können auch bei dieser zweiten Ausführungsvariante die Pumpenelektroniken 6 über nicht dargestellte Steuerleitungen miteinander verbunden sein und steuerungstechnisch eine Master/Slave-Anordnung realisieren. Alternativ zu dieser Variante ist

5 in Figur 2 eine übergeordnete zentrale Steuereinheit 7 dargestellt, mit der die einzelnen Pumpenelektroniken 6 über jeweils eine Steuerleitung 9 verbunden sind. Über diese zentrale Steuereinheit 7 werden die Drehzahlen der einzelnen Pumpen 2a, 2b des Pumpenaggregats 1 10 in Figur 2 vorgegeben.

**[0057]** Die in den Figuren 1 und 2 dargestellten Pumpenaggregate 1 werden bevorzugt als Umwälzpumpen in Heizungsanlagen oder als Druckstationen für die Frischwasserlieferung eingesetzt.

**[0058]** Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines Doppelpumpenaggregats 1 gemäß Figur 1 veranschaulicht. Dabei wird die erste Pumpe 2a zur Bedienung der Grundlast und die zweite Pumpe 2b zur Bedienung der Spitzenlast verwendet. Gemäß diesem Verständnis wird die erste Pumpe 2a im Sinne der Erfindung als Grundlastpumpe bezeichnet, wohingegen die zweite Pumpe 2b als Spitzenlastpumpe bezeichnet wird. Die Spitzenlastpumpe 2b wird zum einen benötigt, um einen Förderstrombedarf zu decken, der von der 25 Grundlastpumpe allein nicht gedeckt werden kann. Sie wird zudem jedoch synchron zur Grundlastpumpe in einem Bereich des Kennlinienfeldes betrieben, in dem der synchrone Betrieb beider Pumpen energetisch günstiger ist, als der ausschließliche Betrieb der Grundlastpumpe.

**[0059]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf einfache Weise auf ein Multipumpenaggregat gemäß Figur 2 erweitert werden, indem die Grundlastpumpe 2a und eine hinzugeschaltete Spitzenlastpumpe 2a steuerungstechnisch gemeinsam als eine Grundlastpumpe 2a betrachtet werden, zu der eine weitere Pumpe 2b, nämlich die neue Spitzenlastpumpe 2b hinzugeschaltet wird.

**[0060]** Figur 3 zeigt den übergeordneten Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das Verfahren wird so gleich bei der Inbetriebnahme des Pumpenaggregats 1 40 ausgeführt und lernt sich selbst an, wann es energetisch günstiger ist, nur die Grundlastpumpe zu betreiben bzw. wann ein synchroner Betrieb von Grundlast- und Spitzenlastpumpe 2a, 2b energetisch günstiger ist.

**[0061]** Beginn des Verfahrens ist gemäß Figur 3 bei 45 dem mit "Start" gekennzeichneten Schritt 10. Zunächst wird ein oberer Grenzwert  $n_o$  und ein unterer Grenzwert  $n_u$  definiert und in einem mit "Reset" bezeichneten Schritt 12 diesen Grenzwerten Werte vorgegeben. Dabei wird der obere Grenzwert  $n_o$  gleich der maximalen 50 Drehzahl  $n_{max}$  der Grundlastpumpe 2a und der untere Grenzwert  $n_u$  gleich der minimalen Drehzahl  $n_{min}$  der Grundlastpumpe 2a gesetzt. Da die beiden Pumpen 2a, 2b baugleich ausgeführt sind, entsprechen diese Grenz-

werte auch denjenigen der Spitzenlastpumpe 2b respektive dem Doppelpumpenaggregat 1 im synchronen Betrieb.

**[0062]** Bei dem Setzen bzw. Zurücksetzen der Grenzwerte  $n_u$ ,  $n_o$  wird zudem ein weiterer Grenzwert  $n_{u\_GLP}$  gesetzt, der einen Grundlastreferenzwert der Drehzahl definiert. Dieser Referenzwert wird im Laufe des Verfahrens mit derjenigen Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a belegt, die bei der Grundlastpumpe 2a anliegt, wenn auf den Grundlastbetrieb, d.h. auf den Betrieb mit ausschließlich der Grundlastpumpe 2a übergegangen wird. Dieser Drehzahlwert dient dann als Referenz gegenüber der aktuellen Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a, mittels welcher ein abnormaler Drehzahlanstieg der Grundlastpumpe 2a festgestellt werden kann. Dies wird nachfolgend noch näher erläutert.

**[0063]** Die wesentlichen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Figur 3 durch den mit APL (Adaptive Peak Load) bezeichneten Block 20 zusammengefasst, dessen Implementierung Figur 4 zeigt und nachfolgend erläutert wird. APL 20 implementiert eine Leistungsregelung des Pumpenaggregats 1 mit dynamischer Grenzwertanpassung.

**[0064]** Erfolgt während der Ausführung der Verfahrensschritte des APL-BLOCKS 20 eine neue Sollwertvorgabe 14, d.h. eine Änderung der Regelkennlinie, wird das Verfahren neu gestartet und es werden neue Grenzwerte  $n_u$ ,  $n_o$ ,  $n_{u\_GLP}$  für diese Regelkennlinie gesetzt. Dabei können die zuvor ermittelten Grenzwerte bezogen auf die ursprüngliche Regelkennlinie, d.h. die ursprüngliche Sollwertvorgabe abgespeichert werden, so dass diese bei einer Rückkehr zu der vorherigen Sollwertvorgabe wieder verwendet werden können. Eine neue Sollwertvorgabe 14 bedeutet damit nicht das Löschen der zuvor ermittelten Grenzwerte. Vielmehr werden neue Grenzwerte  $n_u$ ,  $n_o$ ,  $n_{u\_GLP}$  nur dann gesetzt, wenn bei dem Pumpenaggregat 1 eine Regelkennlinie eingestellt wird, die zuvor noch niemals eingestellt gewesen ist. Wird auf eine zuvor bereits eingestellte Kennlinie gewechselt, so werden die zu dieser Kennlinie bereits ermittelten Grenzwerte weiterverwendet. Erfolgt dagegen während der Ausführung der Schritte des APL-BLOCKS 20 keine Änderung der Regelkennlinie werden diese APL-Schritte zyklisch wiederholt.

**[0065]** Figur 4 veranschaulicht grafisch die einzelnen Schritte des APL-BLOCKS 20 in Figur 3 des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem logischen Ablaufplan. Das Verfahren beginnt mit einem synchronen Betrieb 21 des Pumpenaggregates 1, bei dem die Pumpenelektroniken 6 der Grundlastpumpe 2a und der Spitzenlastpumpe 2b diese derart regeln, dass die Drehzahl der Grundlastpumpe  $n_{GLP}$  und die Drehzahl der Spitzenlastpumpe  $n_{SLP}$  identisch sind und einer vorgegebenen synchronen Drehzahl  $n_{sync}$  entsprechen. Der synchrone Betrieb ist in Figur 4 durch den Block 21 gekennzeichnet. Die synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  wird von dem übergeordneten Regler vorgegeben, der das Pumpenaggregat 1 derart einstellt, dass es bei einem vom hydraulischen

System, in dem das Pumpenaggregat 1 integriert ist, vorgegebenen Volumenstrom  $Q$  den Differenzdruck  $\Delta p$  respektive die Förderhöhe  $H$  des Pumpenaggregates 1 gemäß der vorgegebenen Regelkennlinie hält.

**[0066]** Ausgehend von diesem synchronen Betrieb wird zunächst in einem Schritt 22 geprüft, ob die synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  kleiner als der untere Grenzwert  $n_u$  ist. Zu Beginn des Verfahrens kann diese Bedingung ohnehin nicht erfüllt sein, weil der untere Grenzwert  $n_u$  gleich der minimalen Drehzahl  $n_{min}$  der Grundlastpumpe 2a in Schritt 12 gesetzt worden ist. Im Laufe des Verfahrens wird die untere Grenze  $n_u$  jedoch dynamisch angehoben und gibt dann an, dass jede synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  unterhalb dieses unteren Grenzwerts  $n_u$  zu einem im Grundlastbereich 17 liegenden Beleibspunkt gehört. Tritt ein solcher Fall ein, wird in Schritt 36 die Spitzenlastpumpe ausgeschaltet, da im Grundlastbereich 17 der ausschließliche Betrieb der Grundlastpumpe 2a zur Bereitstellung des benötigten Förderstroms  $Q$  ausreicht und zudem energetisch günstiger ist als der synchrone Betrieb von Grundlast- und Spitzenlastpumpe 2a, 2b.

**[0067]** Sofern der untere Grenzwert  $n_u$  korrekt gewesen ist, sollte sich die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a nur geringfügig erhöhen, um den durch den Wegfall der Spitzenlastpumpe 2b verringerten Volumenstrom zu kompensieren. Sollte die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a jedoch auf die Maximaldrehzahl  $n_{max}$  ansteigen, was anschließend in Schritt 37 geprüft wird, ist der untere Grenzwert  $n_u$  fehlerhaft gesetzt worden. Sie wird daher in dem nachfolgenden Schritt 38 auf den Anfangswert, d.h. auf die minimale Drehzahl  $n_{min}$  zurückgesetzt. Die Spitzenlastpumpe 2b wird in diesem Fall unverzüglich wieder hinzugeschaltet und das Pumpenaggregat 1 im synchronen Betrieb 21 betrieben.

**[0068]** Die weiteren Verfahrensschritte werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 5 bis 13 erläutert.

**[0069]** Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung des Kennlinienfeldes einer Doppelpumpe 1 gemäß Figur 1. Das Kennlinienfeld wird durch eine Vielzahl von Kennlinien 44 konstanter Drehzahl und Rohrnetzparabeln 43 gebildet, deren Steigung durch den Rohrnetzwiderstand des hydraulischen Systems vorgegeben ist, in dem das Pumpenaggregat 1 integriert ist. Das Kennlinienfeld wird nach oben durch eine Maximalkennlinie 41 des Pumpenaggregates 1 begrenzt. Diese Kennlinie 41 entspricht den Betriebspunkten des Pumpenaggregates 1, die bei maximaler synchroner Drehzahl der beiden Einzelpumpen 2a, 2b erreichbar sind. Demgegenüber ist die mit der Bezugsziffer 18 gekennzeichnete Kennlinie die Maximalkennlinie einer der Pumpe 2a, 2b, insbesondere der Grundlastpumpe 2a.

**[0070]** Diese Kennlinie 18 kennzeichnet alle Betriebspunkte, die bei ausschließlichem Betrieb der Grundlastpumpe 2a mit maximaler Drehzahl  $n_{max}$  erreichbar sind. Zwischen der Maximalkennlinie 41 des Pumpenaggregates 1 und der Maximalkennlinie 18 der Grund-

lastpumpe 2a liegt der Spitzenlastbereich 15. Damit das Pumpenaggregat 1 einen Betriebspunkt innerhalb dieses Spitzenlastbereichs 15 erreichen kann, ist der Betrieb von Grundlastpumpe 2a und Spitzenlastpumpe 2b erforderlich.

**[0071]** Nach unten hin wird das Kennlinienfeld durch eine Minimalkennlinie 42 der Grundlastpumpe 2a begrenzt. Zwischen der Minimalkennlinie 42 und der Maximalkennlinie 18 kann jeder Betriebspunkt des Pumpenaggregats 1 ausschließlich von der Grundlastpumpe 2a erreicht werden. Dieser Zwischenbereich teilt sich in den Grundlastbereich 17, in dem es energetisch günstiger ist, nur die Grundlastpumpe 2a zu betreiben, und einen wirkungsgradoptimierten Bereich 16, in dem das Pumpenaggregat 1 weniger Leistung aufnimmt, wenn Grundlastpumpe 2a und Spitzenlastpumpe 2b gleichzeitig, insbesondere synchron betrieben werden, gegenüber einem ausschließlichen Betrieb der Grundlastpumpe 2a. Dieser wirkungsgradoptimierte Bereich 16 liegt im Wesentlichen im Bereich geringer bis mittlerer Volumenströme Q bei geringer bis mittlerer Förderhöhe H.

**[0072]** Der Übergang zwischen dem Grundlastbereich 17 und dem wirkungsgradoptimierten Bereich 16 ist durch eine Grenzlinie 40 gekennzeichnet, deren Lage nach dem Stand der Technik durch Vermessung des Kennlinienfelds am Prüfstand herausgefunden wurde. Erfindungsgemäß wird die Lage dieser Grenzlinie 14 jedoch mit zunehmender Genauigkeit im laufenden Betrieb des Pumpenaggregates 1 herausgefunden.

**[0073]** Zur Veranschaulichung der Verfahrensschritte gemäß Figur 4 wird zunächst auf Figur 6 Bezug genommen. Das Pumpenaggregat 1 wird zunächst gemäß einer ersten Regelkennlinie 19 geregelt, auf der der Druck  $\Delta p$  des Pumpenaggregates 1 respektive die Förderhöhe H über den Volumenstrom Q konstant gehalten wird. In Figur 6 ist der untere Grenzwert  $n_u$  und der obere Grenzwert  $n_o$  eingezeichnet. Es wird zunächst angenommen, dass sich nach der Inbetriebnahme des Pumpenaggregates 1 und dem eingestellten Synchronbetrieb 21 zunächst ein Betriebspunkt 11 einstellt, der im Grundlastbereich 17 liegt. Dies wird von dem Verfahren wie folgt festgestellt.

**[0074]** Unter Bezugnahme auf Figur 4 wurde zunächst in Schritt 22 festgestellt, dass die aktuell anliegende synchrone Drehzahl in dem Betriebspunkt 11 nicht kleiner ist als der untere Grenzwert  $n_u$ . Es wird sodann in Schritt 23 überprüft, ob die aktuelle synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  kleiner als der obere Grenzwert  $n_o$  ist. Dies ist bei dem Betriebspunkt 11 der Fall, weil der obere Grenzwert  $n_o$  gleich der maximalen Drehzahl  $n_{max}$  der Grundlastpumpe 2a gesetzt worden ist. In Schritt 23 wird zudem geprüft, ob die synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  kleiner als die Maximaldrehzahl  $n_{max}$  ist. Da das erfindungsgemäße Verfahren an dieser Stelle noch keinen neuen oberen Grenzwert  $n_o$  gesetzt hat, ist die zuvor genannte zweite Bedingung identisch der Ersten. Sie wird daher nur von Bedeutung, wenn im Laufe des Verfahrens die obere Grenze  $n_o$  auf einen Wert unterhalb der Maxi-

maldrehzahl  $n_{max}$  gesetzt wird.

**[0075]** Für den Betriebspunkt 11 in Figur 6 sind die in Schritt 23 geprüften Bedingungen erfüllt. Es folgt dann eine Abspeicherung der aktuellen synchronen Drehzahl  $n_{sync}$  als Referenzdrehzahl  $n_{ref}$ , Schritt 24a. Anschließend wird die elektrische Gesamtleistung  $P_{\Sigma}$  bestimmt und in Schritt 24b als Referenzleistung  $P_{ref}$  abgespeichert. Danach wird in Schritt 25 die Drehzahl  $n_{SLP}$  der Spitzenlastpumpe 2b reduziert, beispielsweise um 100 U/min. Hierdurch wird der Förderstrom der Spitzenlastpumpe 2b verringert. Die beiden Pumpen 2a, 2b werden nun nicht mehr synchron betrieben. Es wird nunmehr die Reaktion des Pumpenaggregates 1 auf diese Drehzahlreduzierung analysiert.

**[0076]** Der übergeordnete Drehzahlregler regelt nunmehr den aus der Drehzahlreduzierung der Spitzenlastpumpe resultierenden Druckabfall des Pumpenaggregates 1 dadurch aus, dass die Drehzahl der Grundlastpumpe erhöht wird. Gleichzeitig werden auch eventuell in dem hydraulischen System vorhandene Ventile, beispielsweise Thermostatventile nachregeln. Um diese Systemreaktion abzuwarten, wird in Schritt 35 eine Wartezeit  $t_{warten}$  abgewartet. Diese beträgt zwischen einer und 20s, vorzugsweise zwischen 5 und 15s, insbesondere ca. 10s, wobei sie insbesondere als Produkt der Ausregelzeit des Druckreglers und eines Faktors gewählt werden kann, der bevorzugt zwischen zwei und fünf liegt. Ein Zähler für die Wartezeit  $t_{warten}$  kann unmittelbar nach einer Drehzahlreduzierung in Schritt 25 auf null gesetzt und anschließend numerisch hoch gezählt werden. Erst nach Ablauf der Wartezeit  $t_{warten}$  wird geprüft, wie das Pumpenaggregat 1 auf die Drehzahlreduzierung der Spitzenlastpumpe 2b in Schritt 25 reagiert.

**[0077]** Dabei wird zunächst in Schritt 26 geprüft, ob durch die Drehzahlreduzierung der Spitzenlastpumpe 2b die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a ihren Maximalwert  $n_{max}$  erreicht oder überschreitet. Wäre dies der Fall, dann läge der aktuelle Betriebspunkt 11 im Spitzenlastbereich 15. Dies ist vorliegend jedoch nicht der Fall.

**[0078]** Des Weiteren wird in Schritt 26 als alternative Bedingung geprüft, ob die sich nun einstellende elektrische Leistungsaufnahme  $P_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a über den abgespeicherten Leistungsreferenzwert  $P_{ref}$  steigt. Wäre dies bei dem Betriebspunkt 11 der Fall, so läge er entweder im wirkungsgradoptimierten Bereich 16 oder im Spitzenlastbereich 15. Wird die Drehzahlbedingung  $n_{GLP} \geq n_{max}$  vor der Leistungsbedingung  $P_{GLP} > P_{ref}$  abgeprüft und ist die Drehzahlbedingung nicht erfüllt, so stände nach der Überprüfung der Leistungsbedingung fest, dass der Betriebspunkt im wirkungsgradoptimierten Bereich 16 liegt.

**[0079]** Eine hierarchische Prüfung der beiden Bedingungen in Schritt 26 ist jedoch nicht zwingend notwendig, da sowohl im Falle der Erfüllung der Leistungsbedingung als auch im Falle der Erfüllung der Drehzahlbedingung jeweils in einen Synchronbetrieb übergegangen wird,

Schritt 29. Die verfahrensgemäße Reaktion auf den Eintritt einer dieser Bedingungen ist folglich gleich.

**[0080]** Für den Betriebspunkt 11 in Figur 6 ergibt die Überprüfung der genannten Bedingungen in Schritt 26 ein negatives Ergebnis. Es steht daher an dieser Stelle bereits fest, dass der Betriebspunkt 11 im Grundlastbereich 17 liegt.

**[0081]** Es wird dann in Schritt 27 geprüft, ob die Grundlastpumpe 2a einen stationären, d.h. stabilen Zustand erreicht hat, d.h. die aufgenommene elektrische Leistung P\_GLP im Wesentlichen konstant ist. Dies wird dadurch geprüft, ob die Ableitung der aufgenommenen elektrischen Leistung der Grundlastpumpe P\_GLP im Wesentlichen null ist. Anstelle der Ableitung kann für die numerische Berechnung der Größen auf einem Mikroprozessor auch der Differenzenquotient  $\Delta P_{GLP}/\Delta t$  verwendet werden, mit dem die Leistungsaufnahmänderung  $\Delta P_{GLP}$  pro Wartezeit  $\Delta t = t_{warten}$  ermittelt wird. Des Weiteren kann eine gleitende Mittelwertbildung auf die gemessenen oder berechneten Werte angewendet werden, um Störreinflüsse aus den gemessenen Strom- und Spannungswerten zur Berechnung der Leistung herauszufiltern.

**[0082]** Ändert sich die Leistung P\_GLP der Grundlastpumpe 2a nach der Drehzahlreduzierung noch, kann noch keine konkrete Aussage darüber getroffen werden, dass bzw. ob der Betriebspunkt 11 im Grundlastbereich 17 liegt. Es wird dann von Schritt 27 in den nächsten Schritt 28 übergegangen. Ein Sonderfall besteht dann, wenn entgegen der Erwartung einer Drehzahlerhöhung der Grundlastpumpe 2a zur Kompensation des fehlenden Volumenstromanteils der Spitzenlastpumpe 2b, die Leistungsaufnahme der Grundlastpumpe 2a sinkt. Dies kann dann der Fall sein, wenn zwischenzeitlich ein geringerer Förderstrom Q als vor der Drehzahlreduzierung der Spitzenlastpumpe 2b benötigt wird und der übergeordnete Druckregler des Pumpenaggregates 1 dieses in der Leistung herunterregelt. Da der Spitzenlastpumpe 2b durch das erfindungsgemäße Verfahren eine konkrete Drehzahl vorgegeben wird, verbleibt lediglich die Grundlastpumpe 2a unter dem geregelten Einfluss des übergeordneten Druckreglers, so dass dieser die Leistung der Grundlastpumpe 2a herunterregelt. Ob dies der Fall ist, wird in Schritt 28 geprüft. Tritt dieser Fall ein, so hat sich der Betriebspunkt 11 verändert und eine Aussage über seine ursprüngliche Lage kann an dieser Stelle nicht mehr getroffen werden. Von Schritt 28 geht daher das erfindungsgemäße Verfahren wieder über in den synchronen Betrieb 21, von wo es mit dem geänderten Betriebspunkt neu beginnt.

**[0083]** Ist die Bedingung in Schritt 28 jedoch nicht erfüllt, steigt die Leistung der Grundlastpumpe 2a infolge der Volumenstromübernahme entweder noch an oder schwankt, so dass keine konkrete Aussage über den Betriebspunkt getroffen werden kann.

**[0084]** Es wird dann eine weitere Drehzahlreduzierung der Spitzenlastpumpe 2b in Schritt 25 durchgeführt und erneut die Systemantwort abgewartet. Anschließend

werden die Bedingungen 26, 27 und 28 erneut geprüft.

**[0085]** Im Falle des Betriebspunkts 11 in Figur 6 wird eine Zeit  $t_{warten}$  von ca. 10 Sekunden benötigt bis sich die Leistungsaufnahme der Grundlastpumpe 2a auf einen stationären Zustand einstellt, siehe in Figur 13 die Kurve P1\_MA.

**[0086]** In diesem Fall wird von Schritt 27 in Figur 4 auf Schritt 32a übergegangen und die zuvor abgespeicherte Referenzdrehzahl  $r_{ref}$ , die dem Betriebspunkt 11 zugeordnet ist, wird als unterer Grenzwert  $n_u$  abgespeichert, da nunmehr eindeutig feststeht, dass der Betriebspunkt 11 im Grundlastbereich 17 liegt. Die Spitzenlastpumpe 2b wird anschließend ausgeschaltet, Schritt 32b. Da sich hierdurch die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a erneut verändern kann, ist es sinnvoll, hier eine weitere Wartezeit vorzusehen, die in Figur 4 jedoch nicht berücksichtigt ist. Nach Ausschalten der Spitzenlastpumpe 2b wird die aktuelle Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a samt eines hinzugefügten Offsetes als ein Grundlastreferenzwert  $n_{u,GLP}$  abgespeichert, Schritt 32c.

**[0087]** Das Pumpenaggregat 1 wird nunmehr im Grundlastbetrieb 33 betrieben, in dem die Spitzenlastpumpe 2b ausgeschaltet ist, d. h. ihre Drehzahl  $n_{SLP}$  gleich null ist, wohingegen die Grundlastpumpe 2a weiterhin geregelt mit einer von null verschiedenen Drehzahl  $n_{GLP}$  betrieben wird. Dies ist in Block 33 in Figur 4 dargestellt.

**[0088]** Während des Grundlastbetriebs 33 wird permanent die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a überprüft. Sofern sie über den abgespeicherten Grundlastreferenzwert  $n_{u,GLP}$  steigt, wird unmittelbar in den Synchronbetrieb 21 zurückgekehrt. Aus Sicherheitsgründen wird dabei in Bedingung 34 für den Fall eines fehlerhaft gesetzten Grundlastreferenzwerts  $n_{u,GLP}$  auch geprüft, ob die Drehzahl der Grundlastpumpe  $n_{GLP}$  über ihre Maximaldrehzahl  $n_{max}$  steigt. Ist dies der Fall, wird ebenfalls in den Synchronbetrieb 21 übergegangen.

**[0089]** Fig. 7 zeigt, dass der untere Grenzwert  $n_u$  nunmehr auf den Drehzahlwert gesetzt ist, der beim ersten Betriebspunkt 11 vor der Volumenstromreduzierung der zweiten Pumpe 2b vorlag. Dies bedeutet, dass jeder andere Betriebspunkt mit einer Drehzahl unterhalb der neuen unteren Grenze  $n_u$  ebenfalls in dem Grundlastbereich 17 liegt. Der Bereich unterhalb des unteren Grenzwerts  $n_u$  ist in Figur 7 deshalb schraffiert gekennzeichnet.

**[0090]** Des Weiteren ist in Figur 7 angenommen, dass sich als zweiter Betriebspunkt 13 ein Betriebspunkt im Spitzenlastbereich 15 einstellt. Ausgehend von dem vorherigen Grundlastbetrieb 33 in Figur 4 wird die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe gegenüber dem Grundlastreferenzwert  $n_{u,GLP}$  dadurch erheblich ansteigen, insbesondere über die Maximaldrehzahl  $n_{max}$  steigen. Die in Schritt 34 in Figur 4 genannten und ständig überprüften Bedingungen sind demgemäß erfüllt und es wird in den Synchronbetrieb 21 übergegangen.

**[0091]** Die sich dann einstellende synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  muss zwangsläufig oberhalb der zuvor in dem

Betriebspunkt 11 abgespeicherten synchronen Drehzahl liegen, so dass die Bedingung 22 in Figur 4 nicht erfüllt ist. Da der obere Grenzwert  $n_o$  noch dem maximalen synchronen Drehzahlwert  $n_{max}$  entspricht, ist die in Schritt 23 geprüfte Bedingung respektive sind die beiden dort genannten Bedingungen erfüllt. Die aktuelle synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  wird deshalb wieder als Drehzahlreferenzwert  $n_{ref}$  abgespeichert, Schritt 24a, und die von dem Pumpenaggregat aufgenommene elektrische Leistung  $P_{\Sigma}$  ermittelt und als Referenzleistung  $P_{ref}$  abgespeichert, Schritt 24b. Anschließend wird die Drehzahl  $n_{SLP}$  der Spitzenlastpumpe 2b reduziert, Schritt 25, und die Reaktion des Pumpenaggregats 1 auf diese Drehzahlreduzierung abgewartet, Schritt 35, und analysiert.

**[0092]** Die Reduzierung der Drehzahl  $n_{SLP}$  wird dazu führen, dass die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a ihren Maximalwert  $n_{max}$  erreicht, weil der Betriebspunkt 13 einen Volumenstrom  $Q$  bedingt, der jenseits der Maximalkennlinie 18 der Grundlastpumpe 2a liegt. Aus diesem Grund wird die Bedingung in Schritt 26 nach einer gewissen Zeit erfüllt sein, so dass in den Synchronbetrieb zurückgekehrt wird, Schritt 29 in Figur 4.

**[0093]** Es ist damit festgestellt, dass der neue Betriebspunkt 13 im Spitzenlastbereich 15 liegt, so dass die als Referenzdrehzahl  $n_{ref}$  abgespeicherte synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  als oberer Grenzwert  $n_o$  gesetzt werden kann, Schritt 31. Zuvor wird jedoch geprüft, ob nach der Rückkehr in den Synchronbetrieb in Schritt 29 die Drehzahl der Grundlastpumpe  $n_{GLP}$  wieder auf ihren ursprünglichen Wert, nämlich auf die ursprüngliche synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  zurückkehrt. Diese Bedingung wird in Schritt 30 in Figur 4 geprüft. Nur wenn dies der Fall ist, wird der Referenzwert  $n_{ref}$  als obere Grenze  $n_o$  gesetzt. Andernfalls hat sich der aktuelle Betriebspunkt wieder geändert, so dass eine eindeutige Aussage über seine Lage nicht möglich ist. Das Verfahren wird dann im Synchronbetrieb 21 fortgesetzt. Für den rein beispielhaft veranschaulichten Fall bleibt der Betriebspunkt 13 jedoch unverändert, so dass der Referenzwert  $n_{ref}$  als obere Grenze  $n_o$  gesetzt wird. Dies ist in Figur 8 dargestellt. In Figur 8 ist veranschaulicht weiter veranschaulicht, dass synchrone Drehzahlen oberhalb des oberen Grenzwerts  $n_o$  zu Betriebspunkten gehören, in denen sowohl die Grundlastpumpe 2a als auch die Spitzenlastpumpe 2b betrieben werden sollten, bzw. müssen. Des Weiteren ist in Figur 8 ein dritter Betriebspunkt 45 beispielhaft angenommen, der nunmehr im wirkungsgradoptimierten Bereich 16 liegt. Ausgehend vom synchronen Betrieb 21, in dem sich das Verfahren wegen des vorherigen Betriebspunkts 13 noch befindet, wird sich mit dem neuen Betriebspunkt 45 wieder eine synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  oberhalb der unteren Grenze  $n_u$  einstellen, so dass die Bedingung in Schritt 22 in Figur 4 nicht erfüllt ist. Demgegenüber sind beide in Schritt 23 zu prüfenden Bedingungen erfüllt, so dass die aktuelle synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  wieder als Referenzwert  $n_{ref}$  abgespeichert werden kann, Schritt 24. Des Weiteren

wird erneut die aktuell aufgenommene elektrische Leistung  $P_{\Sigma}$  des Pumpenaggregats 1 als Referenzleistung  $P_{ref}$  abgespeichert, Schritt 24b. Nach diesen Speicherschritten wird die Drehzahl  $n_{SLP}$  der Spitzenlastpumpe

5 2b erneut reduziert, Schritt 25, und abgewartet, bis der übergeordnete Druckregler ausgeregelt hat.

**[0094]** Die Reduzierung der Drehzahl  $n_{SLP}$  der Spitzenlastpumpe 2b wird zum einen dazu führen, dass die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a nicht an ihre

10 Drehzahlgrenze  $n_{max}$  läuft, da der Betriebspunkt 45 unterhalb der Maximalkennlinie 18 liegt. Es wird jedoch der Fall eintreten, dass die von der Grundlastpumpe 2a aufgenommene Leistung  $P_{GLP}$  aufgrund der Volumenstromübernahme durch die Grundlastpumpe 2a über die

15 abgespeicherte Referenzleistung  $P_{ref}$  steigt. Dies wird in Schritt 26 in Figur 4 festgestellt. Es wird dann wieder

20 der für das Pumpenaggregat 1 energetisch bessere Synchronbetrieb 29 eingestellt. Anschließend wird wieder geprüft, ob die Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a wieder zur Referenzdrehzahl  $n_{ref}$  zurückkehrt. Ist dies

25 der Fall, wird die Referenzdrehzahl als neue obere Grenze  $n_o$  abgespeichert, Schritt 31. Die Anpassung der oberen Grenze ist in Figur 9 veranschaulicht.

**[0095]** Gemäß Figur 10 wird nunmehr angenommen,

25 dass sich ein vierter Betriebspunkt 47 einstellt, der wieder im Grundlastbereich 17 liegt und auf der eingestellten Regelkennlinie 19 einen Volumenstrom  $Q$  benötigt, der eine synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  oberhalb des unteren Grenzwertes  $n_u$  bedingt. Daher wird die Bedingung in

30 Schritt 22 in Figur 4 erneut nicht erfüllt. Dagegen sind beide in Schritt 23 zu prüfende Bedingungen erfüllt, so dass die aktuelle synchrone Drehzahl  $n_{sync}$  erneut als Referenzdrehzahl  $n_{ref}$  abgespeichert wird, Schritt 24a,

35 die aktuelle Leistung  $P_{\Sigma}$  als Referenzleistung  $P_{ref}$  abgespeichert wird, Schritt 24b, und anschließend die Drehzahl der Spitzenlastpumpe  $n_{SLP}$  reduziert wird, Schritt 25.

**[0096]** Da der neue Betriebspunkt 47 im Grundlastbereich 17 liegt, wird keine der in Schritt 26 geprüften Bedingungen erfüllt sein. Dies bedeutet, dass die Grundlastpumpe 2a durch die Drehzahlreduzierung der Spitzenlastpumpe 2b weder ihre Maximaldrehzahl  $n_{max}$  erreicht noch eine Leistungsaufnahme erreicht, die über der Referenzleistung  $P_{ref}$  liegt. Die Drehzahlreduzierung

40 der Spitzenlastpumpe 2b wird dazu führen, dass die von der Grundlastpumpe 2a aufgenommene Leistung  $P_{GLP}$  zunächst steigt, dann jedoch einen Sättigungswert erreicht, wenn die Grundlastpumpe 2a nahezu vollständig den Volumenstrom der Spitzenlastpumpe

45 2b übernommen hat. Da sich die Leistung  $P_{GLP}$  der Grundlastpumpe in diesem Fall nicht mehr wesentlich ändert, ist die Bedingung in Schritt 27 erfüllt. Die Referenzdrehzahl  $n_{ref}$  wird dann als neue untere Grenze  $n_u$  gesetzt, Schritt 32a, die Spitzenlastpumpe 2b ausgeschaltet, Schritt 32b und die dann anliegende aktuelle

50 Drehzahl  $n_{GLP}$  der Grundlastpumpe 2a zuzüglich eines Offset als neuer Grundlastreferenzwert  $n_{u,GLP}$  gesetzt, Schritt 32c.

**[0097]** Das Pumpenaggregat 1 wird dann im Grundlastbetrieb 33 betrieben, in dem die Spitzenlastpumpe 2a ausgeschaltet ist und das Pumpenaggregat 1 ausschließlich mit der Grundlastpumpe 2a auf der eingestellten Regelkennlinie 19 geregelt wird.

**[0098]** Die Heraufsetzung der unteren Grenze  $n_u$  auf den neuen Betriebspunkt 47 ist in Figur 10 veranschaulicht. Es wird deutlich, dass der Abstand zwischen der oberen Grenze  $n_o$  und der unteren Grenze  $n_u$  im laufenden Verfahren geringer wird, insbesondere dann, wenn ein neuer Betriebspunkt vorliegt, der näher an der theoretischen Grenzlinie 40 liegt.

**[0099]** In Figur 11 ist nunmehr der Wechsel auf eine neue konstante Regelkennlinie 40 veranschaulicht. Es werden eine neue untere Grenze  $n_u$  und eine neue obere Grenze  $n_o$  gesetzt, die mit einem Minimalwert bzw. Maximalwert für die Drehzahlen belegt werden. In Figur 11 ist erneut ein neuer, fünfter Betriebspunkt 48 eingezeichnet, der im Grundlastbereich 17 liegt. Das Verfahren wird nunmehr gemäß der vorbeschriebenen Schritte in Figur 4 wie zuvor anhand der Figuren 6-10 erläutert, durchgeführt. Anhand von Figur 11 wird noch deutlich, dass die für die vorherige Regelkennlinie 19 ermittelten Grenzwerte  $n_u$ ,  $n_o$  bestehen bleiben, so dass im Falle einer Rückkehr zur ursprünglichen Regelkennlinie 19 diese Grenzwerte  $n_u$ ,  $n_o$  wieder verwendet werden können.

**[0100]** Figur 12 veranschaulicht die Anwendung des erfundungsgemäßen Verfahrens mit einer weiteren Regelkennlinie 39, gemäß der Förderdruck  $\Delta p$  des Pumpenaggregats 1 über den Volumenstrom  $Q$  linear geregelt wird. In Figur 12 sind bereits angepasste Werte für die untere Grenze  $n_u$  und die obere Grenze  $n_o$  dargestellt, die während des Betriebs ermittelt worden sind. Zwischen den beiden Grenzwerten verläuft die Grenzlinie 40.

**[0101]** Figur 13 veranschaulicht den grafischen Verlauf der Messwerte für die der Spitzenlastpumpe 2b vorgegebenen Drehzahl  $n_{soll}$ , für die Gesamtleistung  $P1\_Sum$  des Pumpenaggregats, für die Leistung  $P1\_MA$  der Grundlastpumpe und für die Leistung  $P1\_SL$  der Spitzenlastpumpe, bei einer Förderhöhe  $H$  von 15m und einem Volumenstrom  $Q$  von 55m<sup>3</sup>/h.

**[0102]** Ausgehend vom stationären Zustand des Pumpenaggregats 1 wird die Drehzahl  $n_{soll}$  der Spitzenlastpumpe 2b um 100 U/min reduziert. In diesem Fall sinkt die Leistungsaufnahme  $P1\_SL$  der Spitzenlastpumpe 2b erheblich ab, wohingegen die Leistung  $P1\_MA$  der Grundlastpumpe 2a um ein höheres Maß ansteigt. Nach etwa 10 Sekunden hat die Leistung  $P1\_MA$  der Grundlastpumpe 2a einen Wert von ca. 4000 Watt erreicht. Eine danach folgenden weitere Drehzahlreduzierung von 100 U/min hat zwar eine Reduzierung der von der Spitzenlastpumpe 2b aufgenommenen Leistung  $P1\_SL$  zu folge, verändert jedoch nicht die Leistungsaufnahme  $P1\_MA$  der Grundlastpumpe 2a. Dies liegt daran, dass die Rückschlagklappe 3a im Pumpenaggregat 1 dazu führt, dass bereits eine geringe Verschiebung der För-

derleistungsbeiträge hin zur Grundlastpumpe 2a diese deutlich dominieren lässt. So führt bereits eine Drehzahlreduzierung von ca. 5% der Nennbetriebsdrehzahl der Spitzenlastpumpe 2b dazu, dass der Volumenstrom  $Q$  fast ausschließlich von der Grundlastpumpe 2a geliefert wird. Die Spitzenlastpumpe 2b kann daher bereits nach der ersten Drehzahlreduzierung ausgeschaltet werden, da sie keinen nennenswerten Beitrag liefert.

**[0103]** Die Betrachtung der vom Pumpenaggregat 1 aufgenommenen Gesamtleistung  $P1\_Sum$  in Figur 13 zeigt, dass diese Gesamtleistung stets oberhalb der Kurve der Leistung  $P1\_MA$  der Grundlastpumpe 2a liegt. Dies bedeutet, dass der Betriebspunkt, von dem in Figur 13 vor der Drehzahlreduzierung ausgegangen wird, im Grundlastbereich 17 liegt, in dem die Leistungsaufnahme der Grundlastpumpe 2a nicht über die zuvor im synchronen Betrieb 21 vor der Drehzahlreduzierung aufgenommenen Leistung  $P1\_Sum$  des Gesamttaggregats steigt. Figur 13 veranschaulicht daher die physikalischen Größen am Pumpenaggregat 1, wenn ein Betriebsfall gemäß Figur 6 vorliegt.

### Bezugszeichenliste

25 **[0104]**

- |    |                                    |                                |
|----|------------------------------------|--------------------------------|
| 1  | Pumpenaggregat                     |                                |
| 2a | erste Pumpe, Grundlastpumpe        |                                |
| 30 | 2b                                 | zweite Pumpe, Spitzenlastpumpe |
| 3  | Rückschlagventil                   |                                |
| 35 | 3a                                 | Rückschlagklappe               |
| 4  | Saugleitung                        |                                |
| 5  | Druckleitung                       |                                |
| 40 | 6                                  | Pumpenelektronik               |
| 7  | zentrale Steuereinheit             |                                |
| 45 | 8                                  | Steuerleitung                  |
| 9  | Steuerleitungen                    |                                |
| 50 | 10                                 | Verfahrensbeginn               |
| 11 | erster Betriebspunkt               |                                |
| 12 | Zurücksetzen der Grenzwerte/ Reset |                                |
| 55 | 13                                 | zweiter Betriebspunkt          |
| 14 | neue Sollwertvorgabe               |                                |

15	Spitzenlastbereich	40	Grenzlinie
16	wirkungsgradoptimierter Bereich	41	Maximalkennlinie des Pumpenaggregats
17	Grundlastbereich	5	42 Minimalkennlinie der Grundlastpumpe
18	Maximalkennlinie der Grundlastpumpe	43	Rohrnetzparabeln
19	Regelkennlinie $\Delta p-c$	44	Kennlinien konstanter Drehzahl
20	Leistungsregelung des Pumpenaggregats mit dynamischer Grenzwertanpassung	10	45 dritter Betriebspunkt
21	Synchronbetrieb	46	neue Regelkennlinie $\Delta p-c$
22	Abfrage Betriebspunkt im Grundlastbereich	15	47 vierter Betriebspunkt
23	Abfrage Betriebspunkt im Spitzenlastbereich	48	fünfter Betriebspunkt
24a	Abspeicherung Referenzdrehzahl	20	<b>Patentansprüche</b>
24b	Abspeicherung Referenzleistung		1. Verfahren zum Betrieb eines Pumpenaggregats (1) mit wenigstens einer eine Grundlast bedienenden ersten Pumpe (2a) und wenigstens einer eine Spitzenlast bedienenden zweiten Pumpe (2b), die bedarfsweise zugeschaltet und parallel zu der zumindest einen ersten Pumpe (2a) betrieben wird, wobei das Pumpenaggregat (1) derart auf einer vorgegebenen Regelkennlinie (19, 39) geregelt wird, dass die aufgenommene Leistung minimal ist, <b>dadurch gekennzeichnet, dass</b> das Pumpenaggregat (1) in Abhängigkeit eines oberen und eines unteren Grenzwertes ( $n_o, n_u$ ) einer Betriebsgröße ( $n_{sync}$ ) entweder mit mindestens zwei Pumpen (2a, 2b) oder mit wenigstens einer ausgeschalteten Pumpe (2b) betrieben wird, wobei ausgehend von einem synchronen Betrieb (21) der Pumpen (2a, 2b) in einem Betriebspunkt (11, 13), in dem die Pumpen (2a, 2b) mit derselben Drehzahl ( $n_{sync}$ ) und/ oder Leistung betrieben werden,
25	Drehzahlreduzierung	25	a. in einem ersten Schritt (24a) der Wert zumindest einer Betriebsgröße ( $n_{sync}$ ) des Pumpenaggregats (1) als Referenzwert ( $n_{ref}$ ) abgespeichert wird,
26	Überprüfung einer ersten Bedingung		b. in einem zweiten Schritt (25) der von der zweiten Pumpe (2b) geförderte Volumenstrom reduziert wird,
27	Überprüfung einer zweiten Bedingung		c. in einem dritten Schritt (26, 27) in Abhängigkeit der Reaktion der geregelten ersten Pumpe (2a) eine Zuordnung des Betriebspunktes (11, 13) zu einem Lastbereich (15, 16, 17) erfolgt und
28	Überprüfung einer dritten Bedingung	30	d. in einem vierten Schritt (31, 32a) der obere oder untere Grenzwert ( $n_o, n_u$ ) durch den Referenzwert ( $n_{ref}$ ) ersetzt wird.
29	Synchronbetrieb		2. Verfahren nach Anspruch 1, <b>dadurch gekennzeichnet, dass</b> die Betriebsgröße die synchrone
30	Betriebspunktänderungsprüfung	35	
31	Anpassen der oberen Grenze		
32a	Anpassen der unteren Grenze		
32b	Übergang in Grundlastbetrieb	40	
32c	Abspeicherung eines Grundlastreferenzwerts		
33	Grundlastbetrieb	45	
34	Überprüfung des Betriebszustands der Grundlastpumpe		
35	Überprüfung eines Wartezeitablaufs	50	
36	Übergang in Grundlastbetrieb		
37	Überprüfung des Betriebszustands der Grundlastpumpe	55	
38	Zurücksetzen des unteren Grenzwerts		
39	Regelkennlinie $\Delta p-v$		

- Drehzahl ( $n_{sync}$ ) des Pumpenaggregats (1) ist, die als Referenzdrehzahl ( $n_{ref}$ ) abgespeichert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die von dem Pumpenaggregat (1) im synchronen Betrieb (21) aufgenommene Leistung ( $P_E$ ) bestimmt und als Referenzleistung ( $P_{ref}$ ) abgespeichert wird (24).
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Referenzwert ( $n_{ref}$ ), insbesondere die Referenzdrehzahl ( $n_{ref}$ ), als ein oberer Grenzwert ( $n_o$ ), insbesondere ein Drehzahlgrenzwert ( $n_o$ ) abgespeichert wird (31), wenn nach der Volumenstromreduzierung (25) wenigstens eine erste Bedingung (26) erfüllt ist, die einem der Lastbereiche (15, 16) Spitzenlastbereich (15) oder wirkungsgradoptimierter Bereich (16) zugeordnet ist.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Referenzwert ( $n_{ref}$ ), insbesondere die Referenzdrehzahl ( $n_{ref}$ ), als ein unterer Grenzwert ( $n_u$ ), insbesondere Drehzahlgrenzwert ( $n_u$ ) abgespeichert wird (32a), wenn zumindest eine zweite Bedingung (27) erfüllt ist, die dem Grundlastbereich (17) zugeordnet ist.
6. Verfahren nach Ansprüchen 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumpenaggregat (1) in einem Betriebspunkt (11) mit einer synchronen Drehzahl ( $n_{sync}$ ) gleich oder oberhalb des oberen Grenzwerts ( $n_o$ ) mit mindestens zwei Pumpen (2a, 2b) und gleich oder unterhalb des unteren Grenzwerts ( $n_u$ ) mit zumindest einer abgeschalteten Pumpe (2b) betrieben wird.
7. Verfahren nach Ansprüchen 4 und 5 oder Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumpenaggregat (1) in einem Betriebspunkt (13) mit einer synchronen Drehzahl ( $n_{sync}$ ) zwischen dem oberen Grenzwert ( $n_o$ ) und dem unteren Grenzwert ( $n_u$ ) die Schritte a. bis d. ausgehend von einem synchronen Betrieb (21) der Pumpen (2a, 2b) wiederholt werden.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grenzwerte ( $n_o, n_u$ ) bei einem Wechsel der Regelkennlinie (19, 39, 46) dieser alten Kennlinie (19, 39, 46) zugeordnet abgespeichert werden und für die neue Regelkennlinie (19, 39, 46) ein neuer oberer und unterer Grenzwert ( $n_o, n_u$ ) verwendet werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Bedingung (26) dann erfüllt ist, wenn die Drehzahl ( $n_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) eine Maximaldrehzahl ( $n_{max}$ ) erreicht oder überschreitet, oder wenn die Leistungsaufnahme ( $P_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) die Referenzleistung ( $P_{ref}$ ) überschreitet.
- 5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Bedingung (26) dann erfüllt ist, wenn die Leistungsaufnahme ( $P_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) im Mittel im Wesentlichen gleich bleibt, oder wenn die Drehzahl ( $n_{SLP}$ ) der zweiten Pumpe (2b) einen Minimalwert erreicht oder unterschreitet.
- 10 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Bedingung (27) nur dann geprüft wird, wenn die erste Bedingung (26) nicht erfüllt ist.
- 15 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Abspeicherung (32a) des unteren Grenzwerts ( $n_u$ ) der Wert einer Betriebsgröße ( $n_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) als Grundlastreferenzwert ( $n_{u,GLP}$ ) abgespeichert wird (32c).
- 20 25 13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Betrieb (33) mit wenigstens einer ausgeschalteten Pumpe (2b) in einen synchronen Betrieb (21) mit mindestens zwei Pumpen (2a, 2b) übergegangen wird (34), wenn der aktuelle Wert der Betriebsgröße ( $n_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) über den Grundlastreferenzwert ( $n_{u,GLP}$ ) steigt oder gleich oder größer einem Maximalwert ( $n_{max}$ ) dieser Betriebsgröße ( $n_{GLP}$ ) wird.
- 30 35 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Betriebsgröße der ersten Pumpe (2a) ihre Drehzahl ( $n_{GLP}$ ) verwendet wird.
- 40 15. Verfahren nach Anspruch 12, 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu dem Grundlastreferenzwert ( $n_u$ ) ein Offset hinzugeaddiert wird (32c).
- 45 16. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Volumenstromreduzierung (25) wieder in einen synchronen Betrieb (21) übergegangen wird, wenn als eine dritte Bedingung (28) die Leistungsaufnahme ( $P_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) sinkt.
- 50 17. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 4 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** erst nach einer Wartezeit ( $t_{warten}$ ) geprüft wird, ob zumindest eine der Bedingungen (26, 27, 28) erfüllt ist.
- 55 18. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 4 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Volumenstrom der zweiten Pumpe (2b) weiter reduziert wird (25), wenn keine der Bedingungen (26, 27, 28)

erfüllt ist.

19. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einen synchronen Betrieb (21) übergegangen wird, wenn die Drehzahl ( $n_{GLP}$ ) der ersten Pumpe (2a) einen Maximalwert ( $n_{max}$ ) erreicht oder über überschreitet, oder **dass** bei Erfüllung der ersten Bedingung (26) unmittelbar in einen synchronen Betrieb (29) zurückkehrt wird und der Referenzwert ( $n_{ref}$ ) nur dann als oberer Grenzwert ( $n_o$ ) abgespeichert wird (31), wenn sich nach der Rückkehr wieder der Betriebszustand vor der Volumenstromreduzierung einstellt (30). 15
  
20. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der untere Grenzwert ( $n_u$ ) auf einen Minimalwert zurückgesetzt wird (38) und in einen synchronen Betrieb (21) zurückgekehrt wird, wenn die erste Pumpe (2a) einen unzulässigen Betriebszustand erreicht, insbesondere eine maximale Drehzahl ( $n_{max}$ ) erreicht oder überschreitet. 20
  
21. Computerprogramm mit Instruktionen zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche, wenn es auf einem Mikrocomputer einer Steuerungselektronik (6, 6a, 6b) ausgeführt wird. 25
  
22. Pumpenaggregat (1) mit wenigstens einer Grundlast bedienenden ersten Pumpe (2a) und wenigstens einer Spitzenlast bedienenden zweiten Pumpe (2b), die bedarfsweise zugeschaltet und parallel zu der zumindest einen ersten Pumpe (2a) betreibbar ist, wobei das Pumpenaggregat (1) derart auf einer vorgegebenen Regelkennlinie (19, 39) regelbar ist, dass die aufgenommene Leistung minimal ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Steuerungselektronik (6, 6a, 6b) aufweist, die zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 20. eingerichtet ist. 30

35

40

45

16

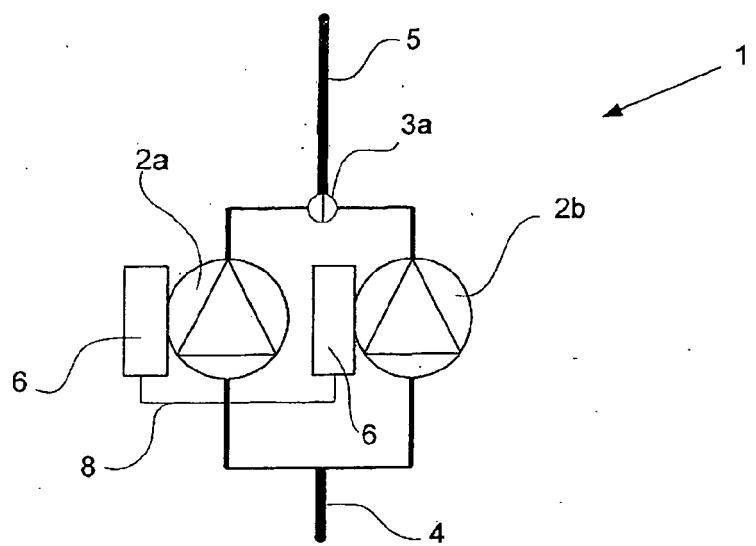


Fig. 1

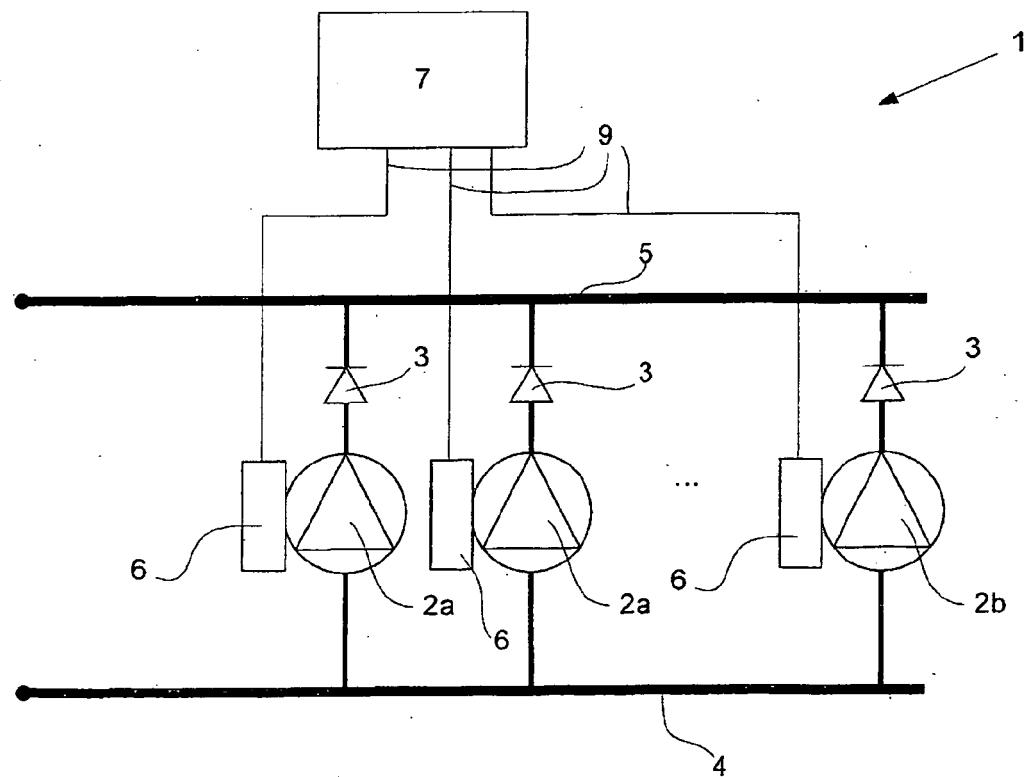


Fig. 2

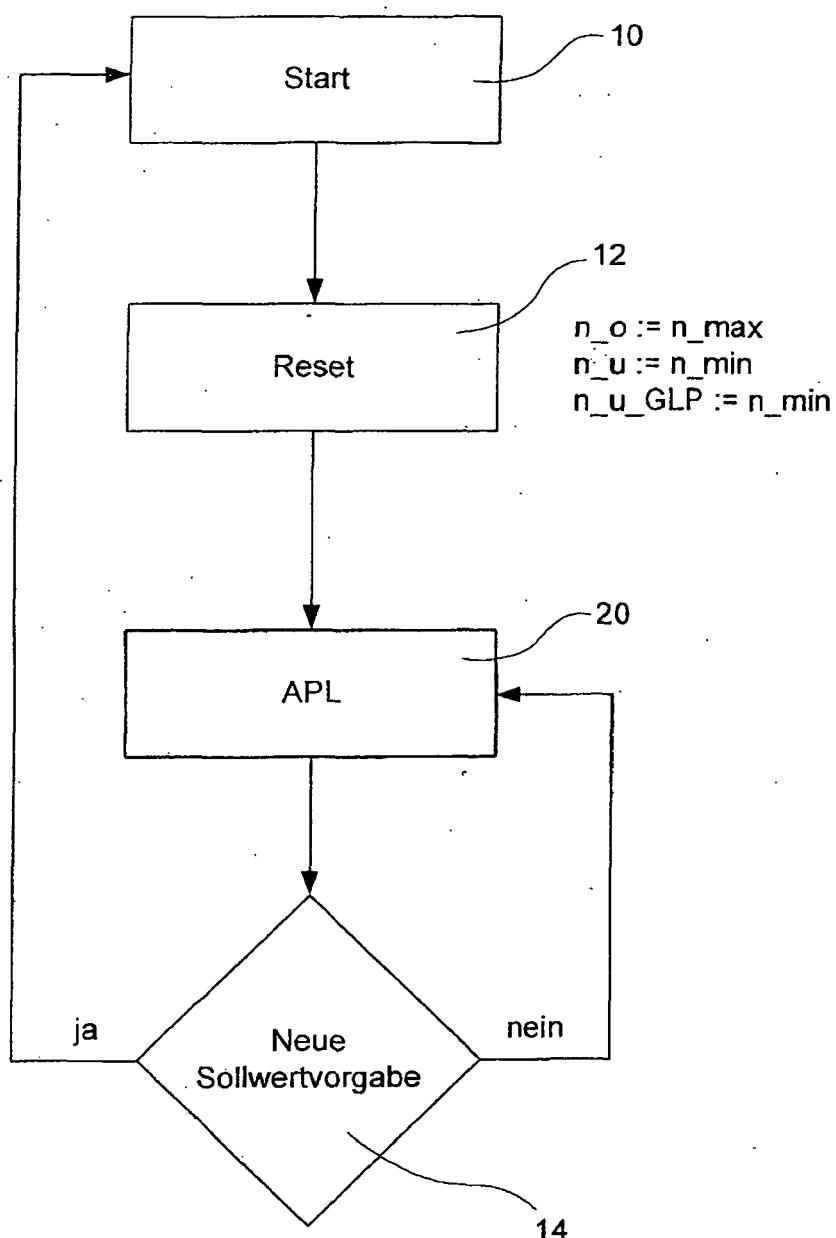


Fig. 3

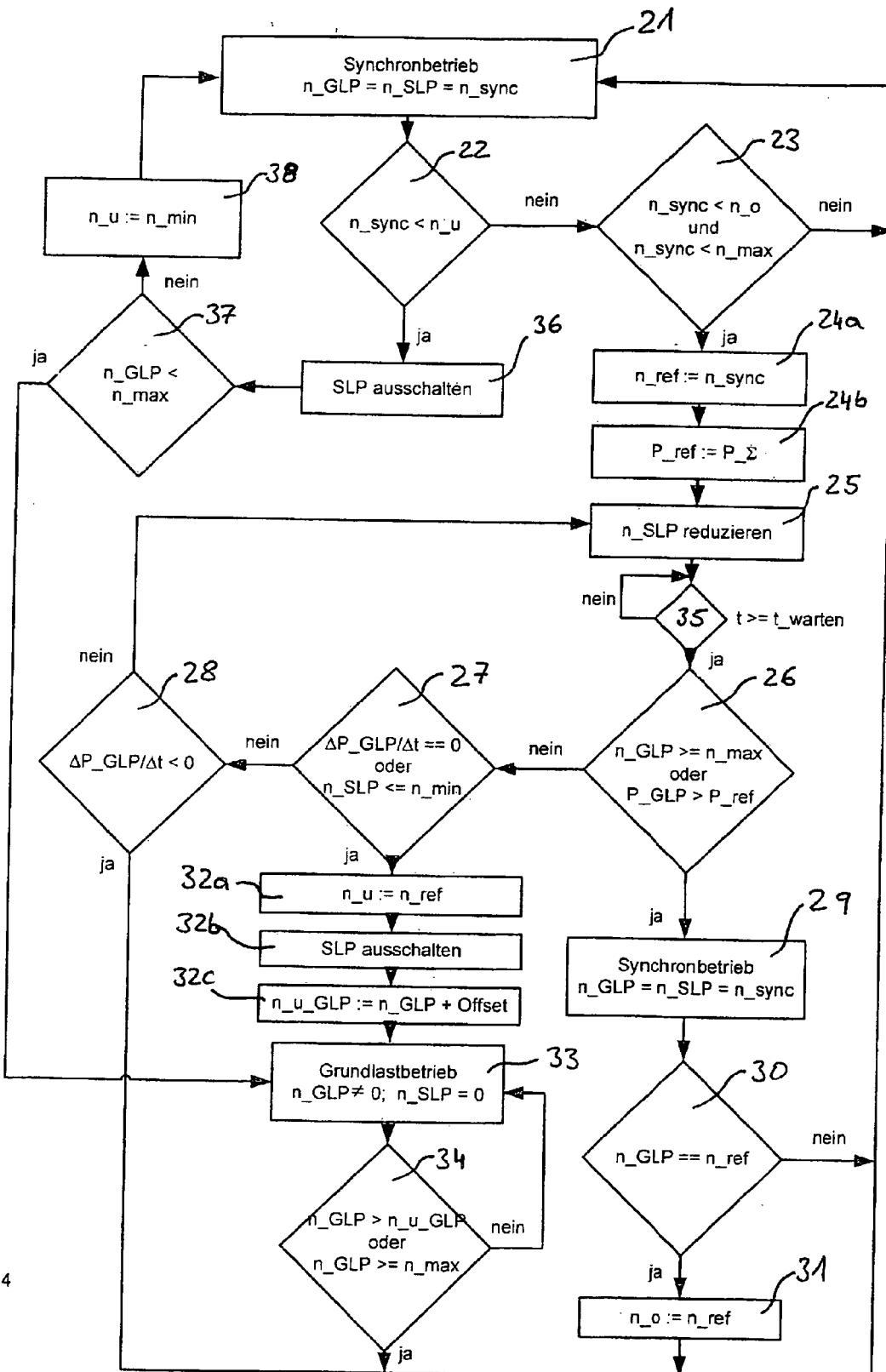


Fig. 4

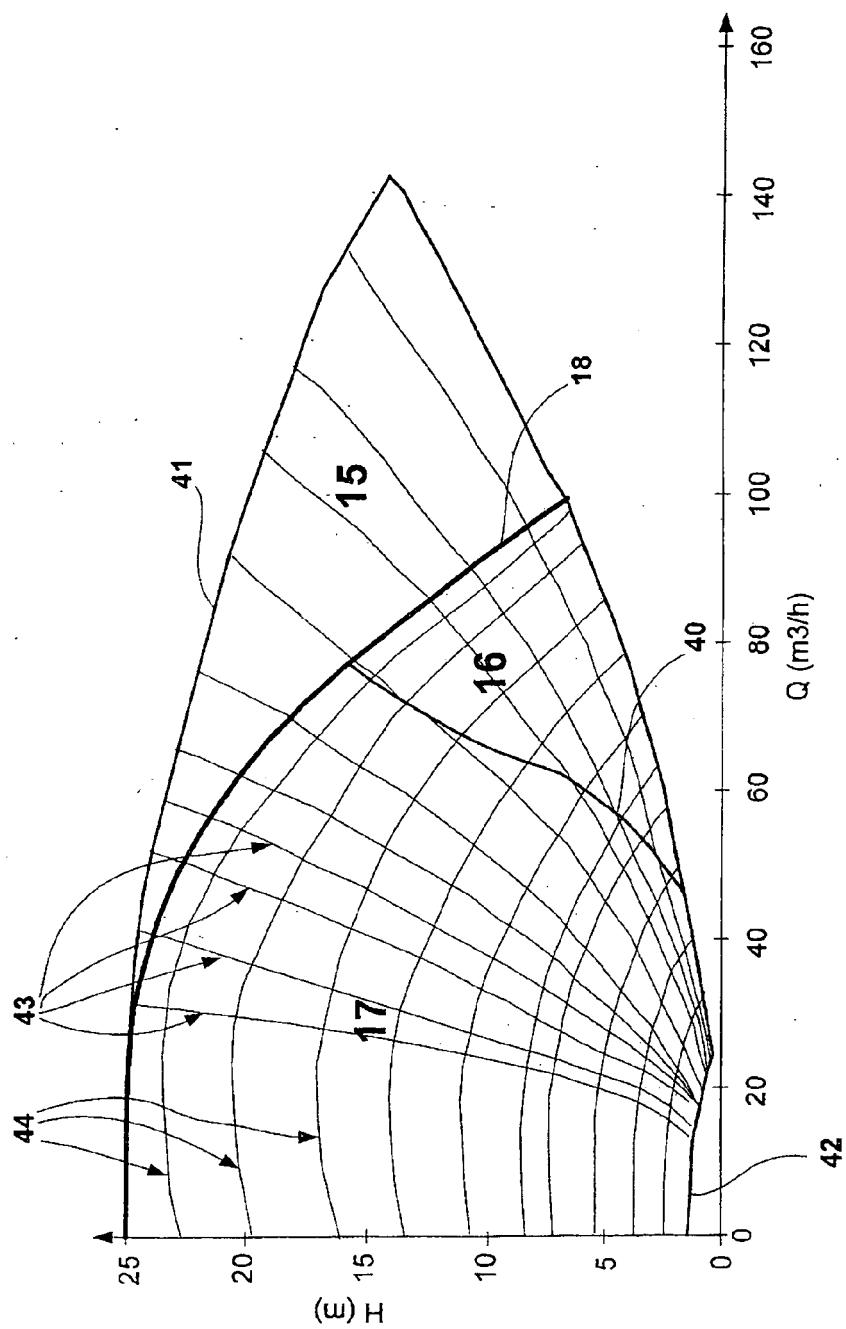


Fig. 5

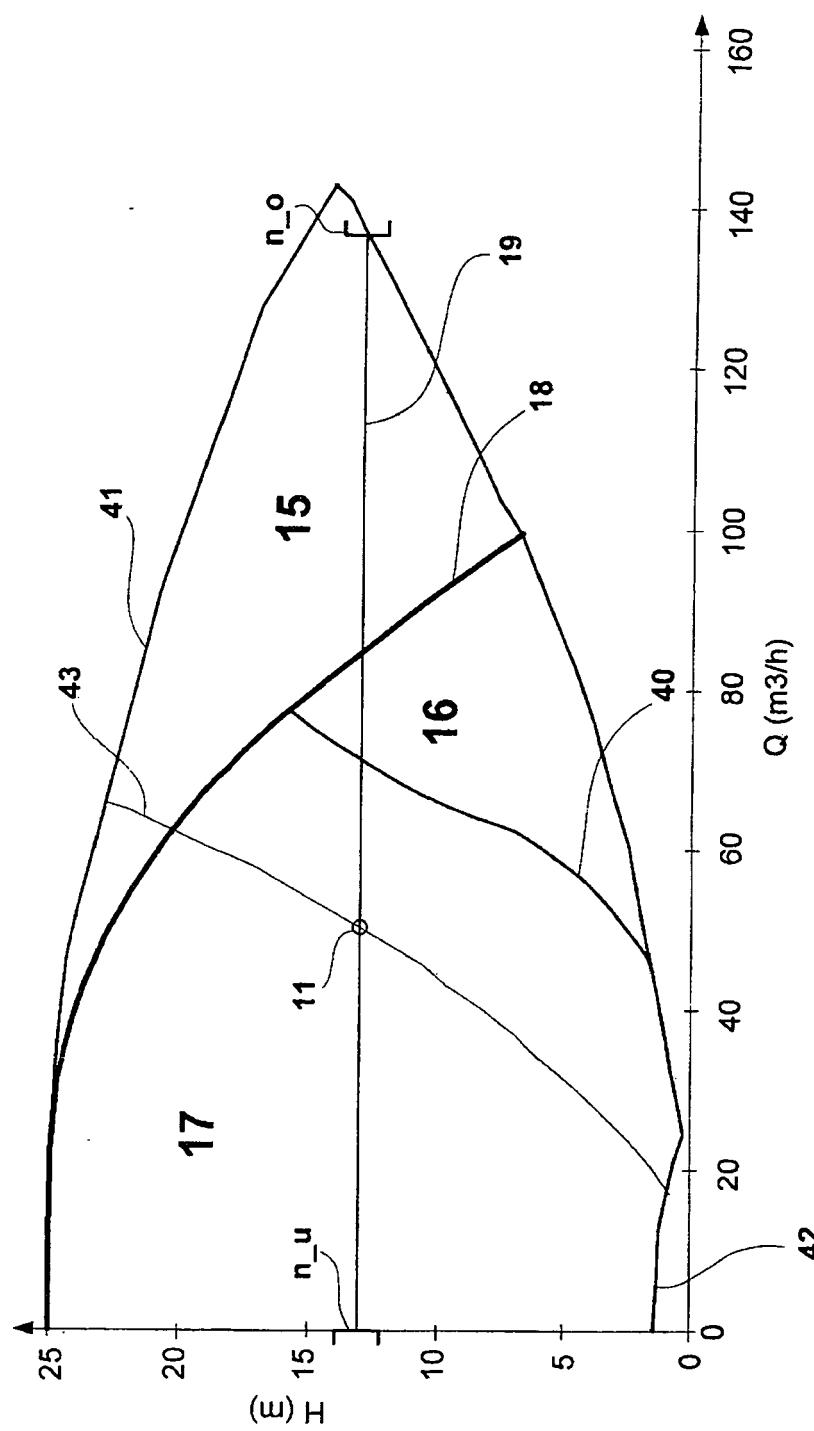


Fig. 6

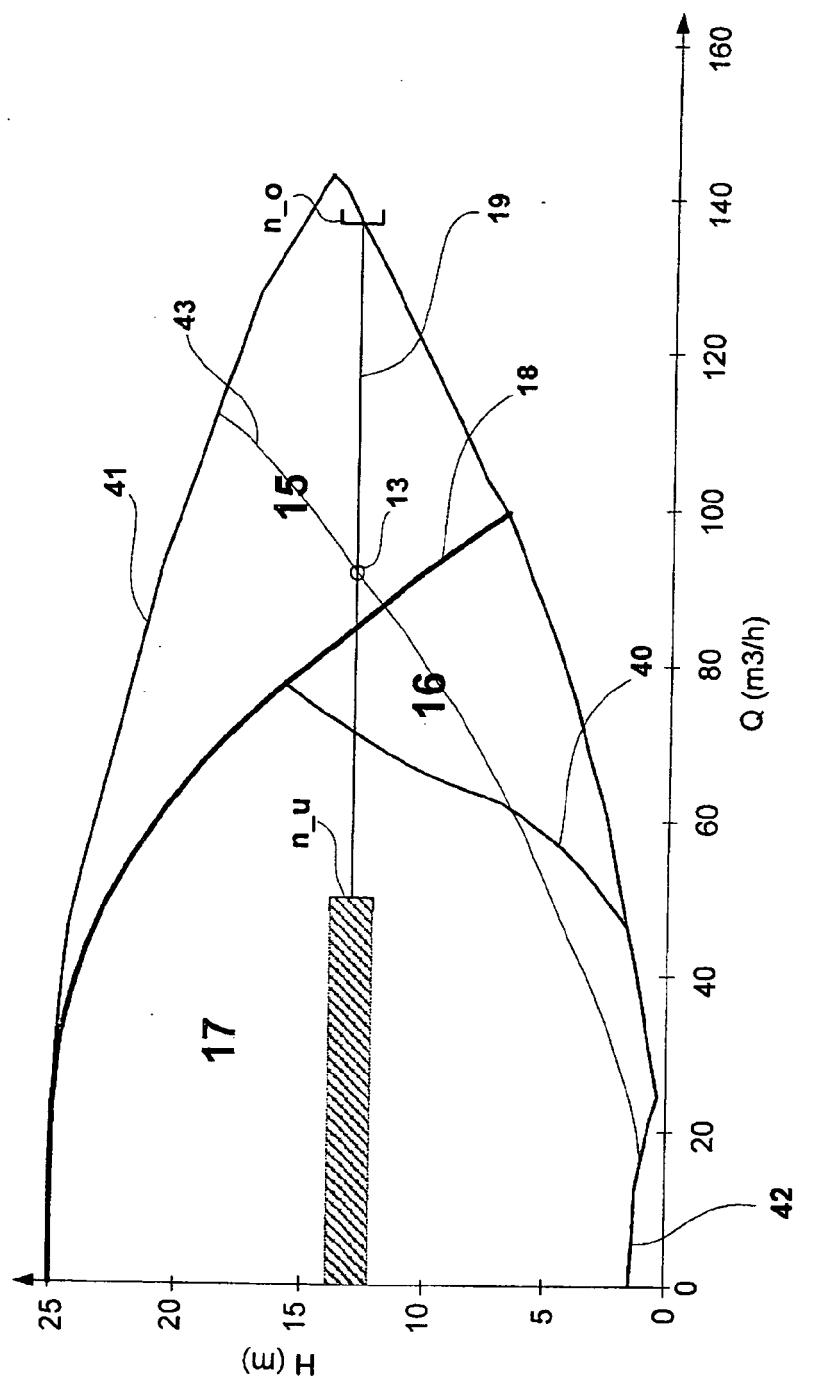


Fig. 7

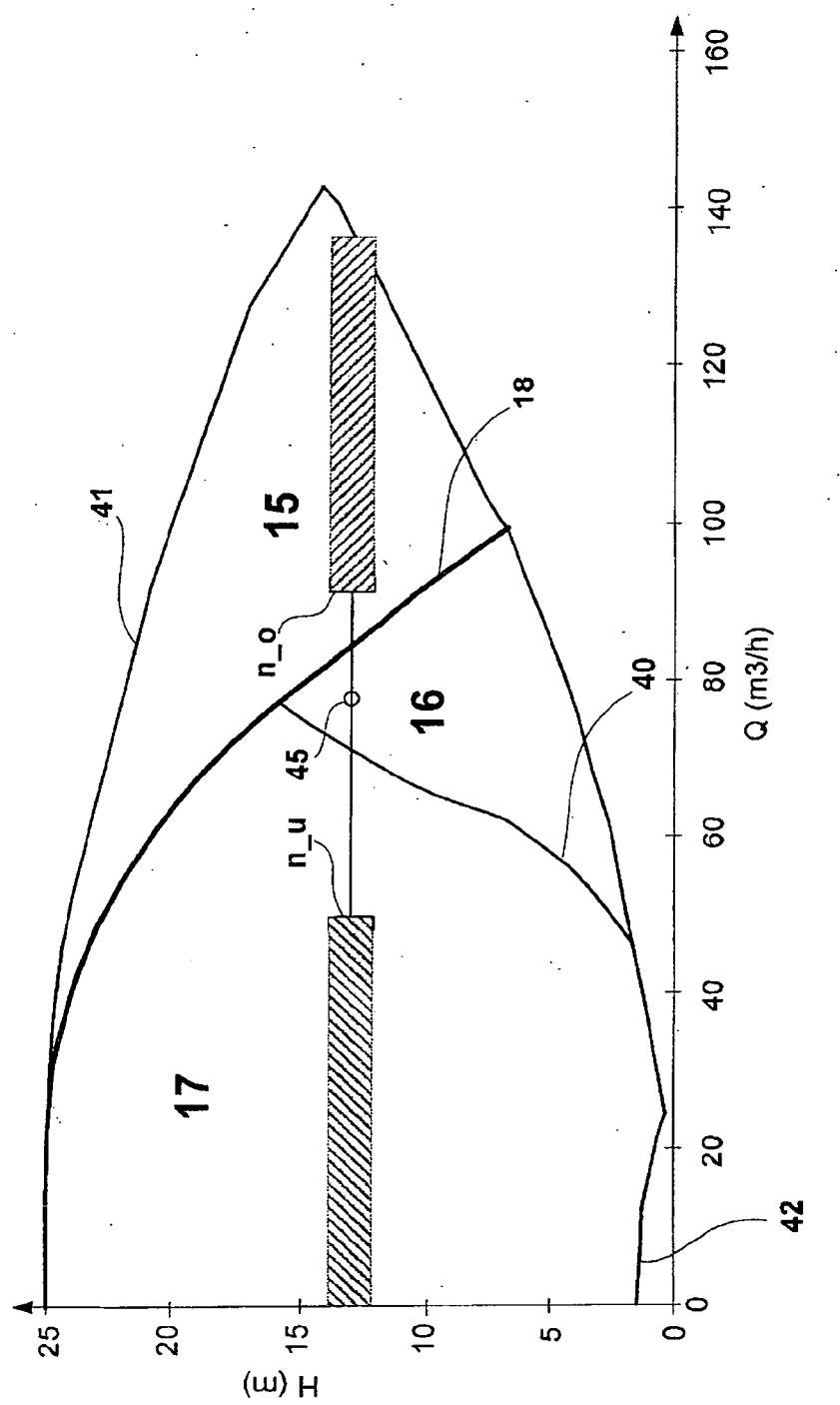


Fig. 8

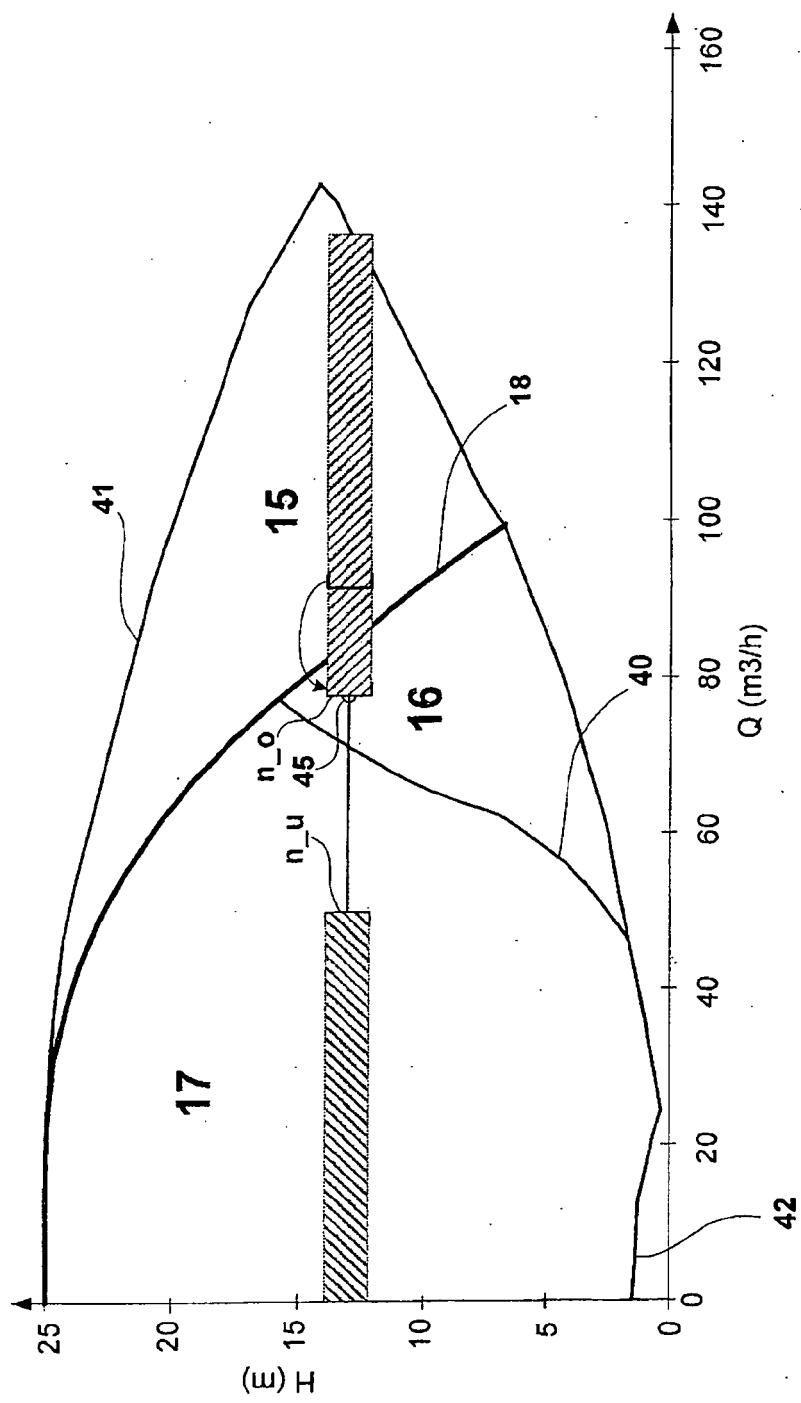


Fig. 9

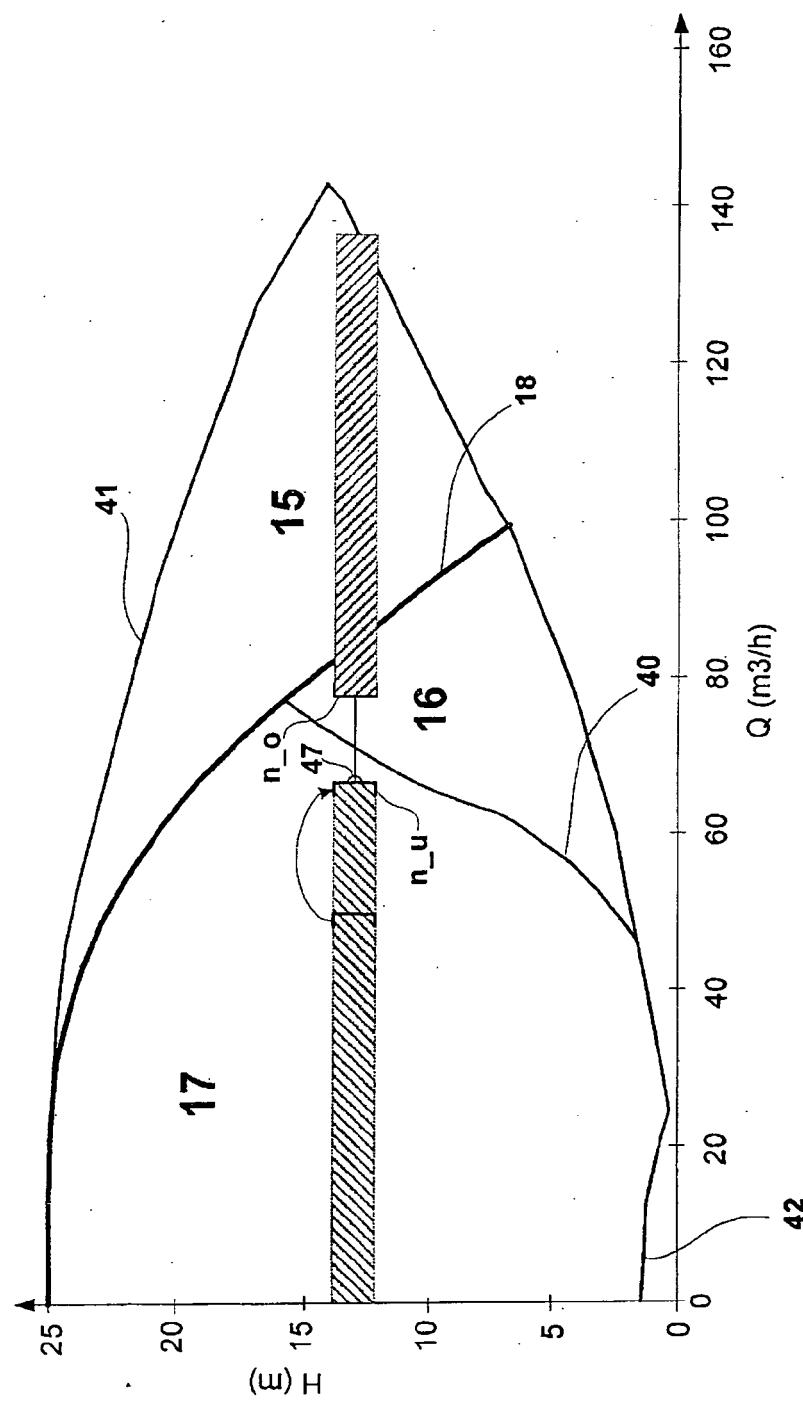


Fig. 10

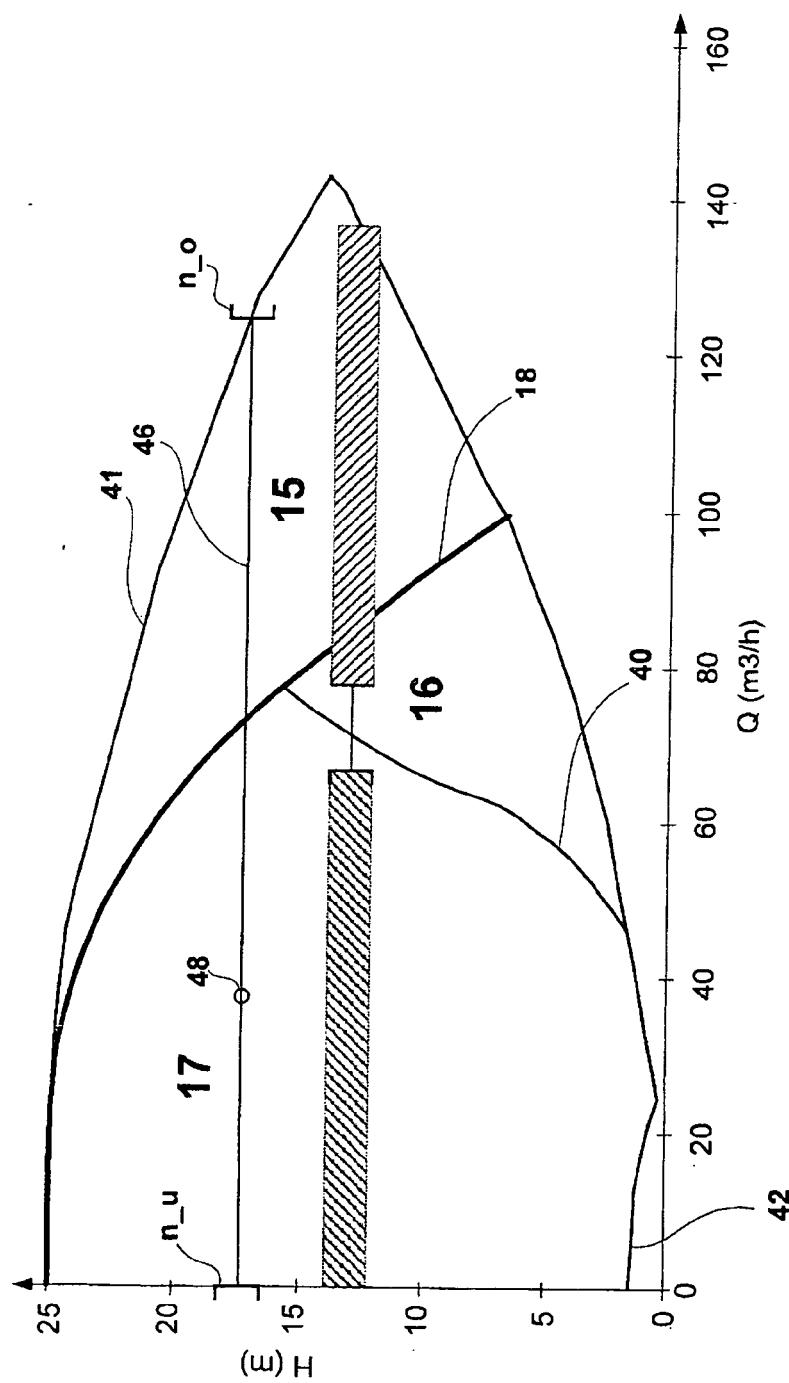


Fig. 11

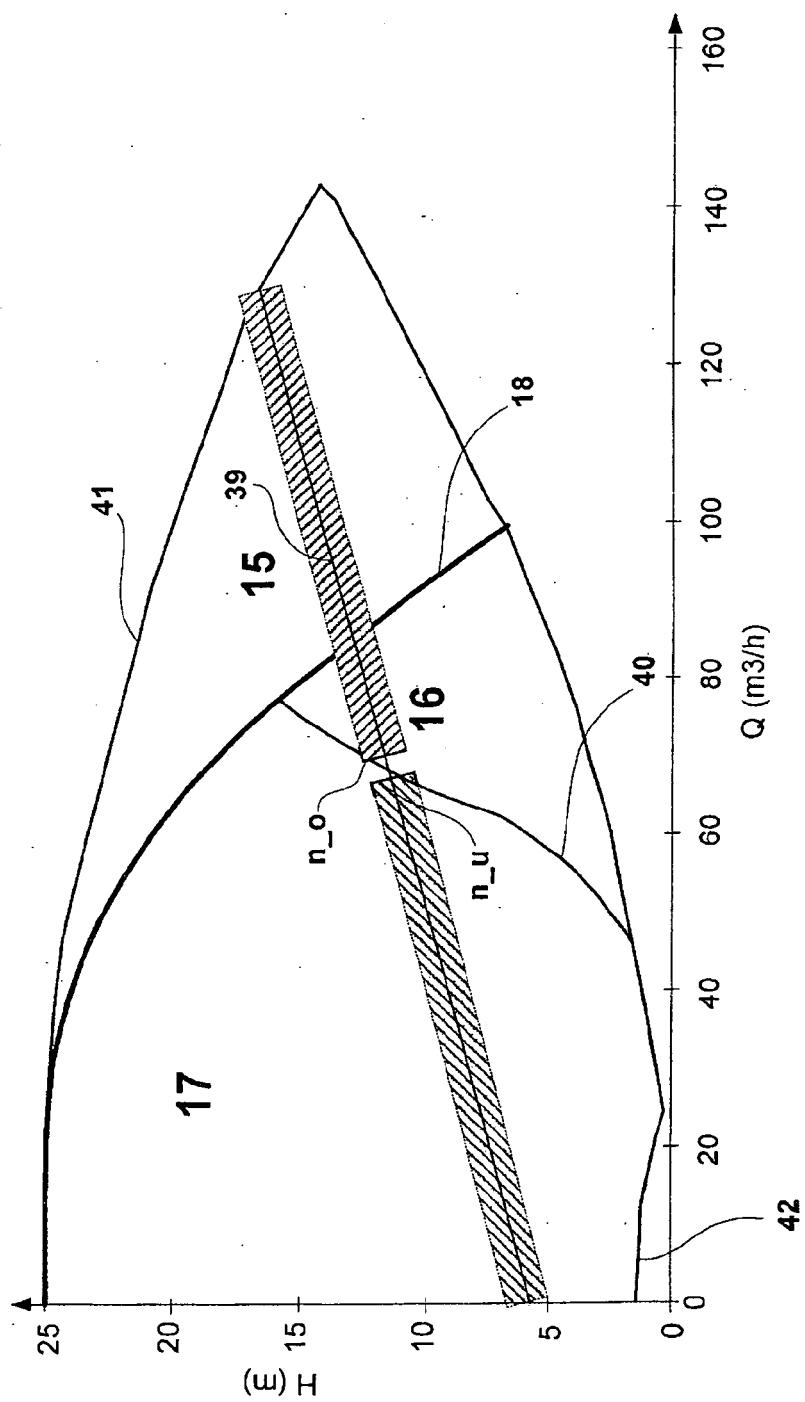


Fig. 12

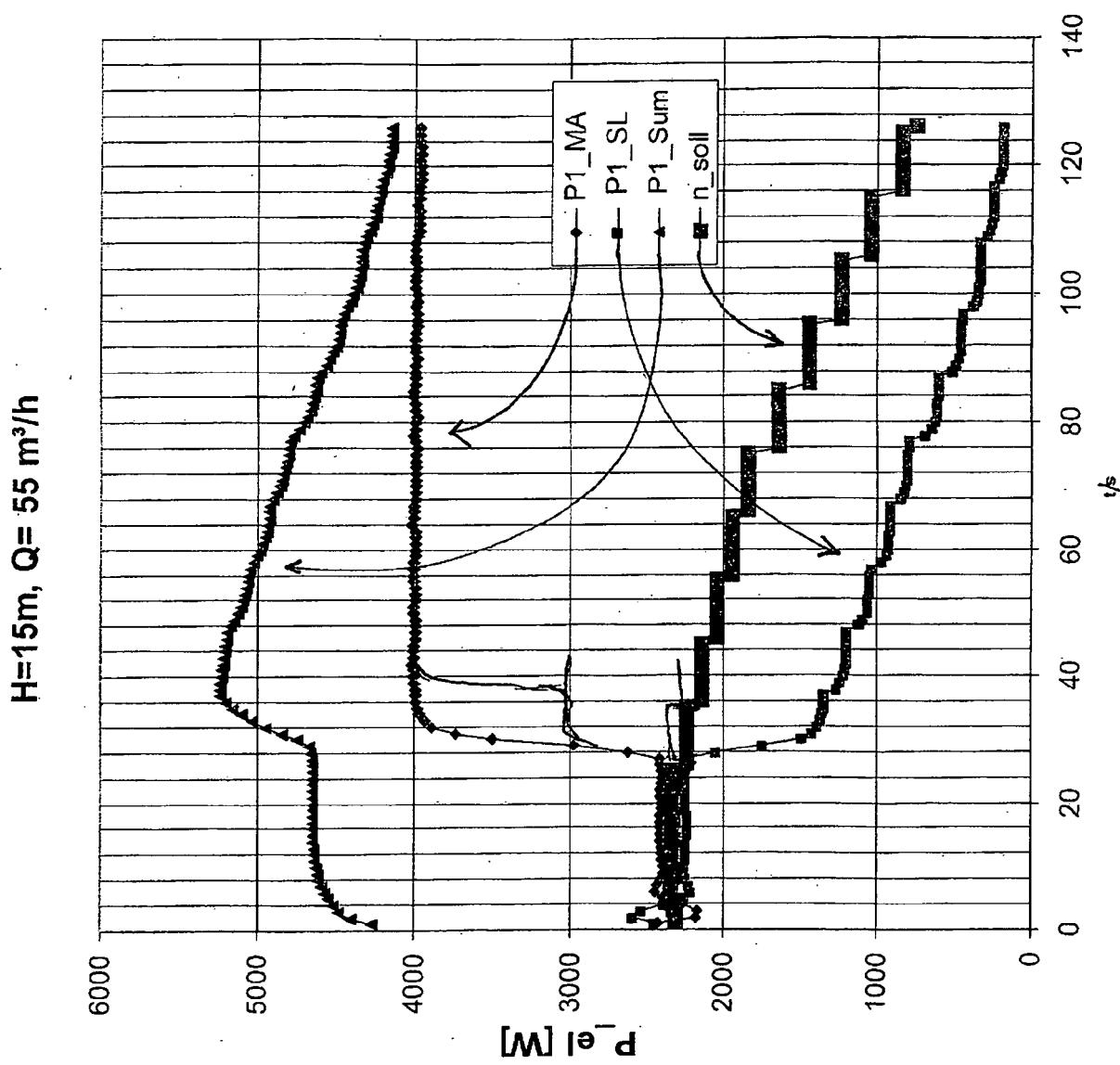


Fig. 13

**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 0864755 B1 [0002]
- EP 2161455 A1 [0002] [0033]