

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Druckerhöhungsvorrichtung zur Druckerhöhung einer durch eine Leitung strömenden Flüssigkeit.

[0002] Derartige Druckerhöhungseinrichtungen finden beispielsweise in der Trinkwasserversorgung von Gebäuden Verwendung, wenn der in einer Trinkwasserversorgung anstehende leitungsseitige Druck beispielsweise nicht ausreichend hoch ist, das Trinkwasser bis in die obersten Stockwerke eines Gebäudes zu fördern. Derartige Druckerhöhungseinrichtungen weisen eine oder mehrere Druckerhöhungspumpen auf, welche parallel oder in Reihe geschaltet werden können und welche eingeschaltet werden, wenn der Druck ausgangsseitig der Druckerhöhungspumpen einen vorbestimmten Grenzwert unterschreitet. Entsprechend werden die Druckerhöhungspumpen bei Erreichen eines gewünschten Zieldruckes wieder ausgeschaltet. Neben einem solchen Start-Stopp-Betrieb ist es insbesondere bei größeren Durchflüssen möglich, die Druckerhöhungspumpen konstant zu betreiben und in ihrer Drehzahl zu regeln, um den Druck in gewünschter Weise anzupassen.

[0003] Wenn eine solche Druckerhöhungsvorrichtung im genannten Start-Stopp-Betrieb betrieben wird, besteht das Problem, dass die Zeitspanne zwischen Aus- und Einschalten der Druckerhöhungspumpen u.a. davon abhängig ist, wie groß das Volumen in dem sich anschließenden Leitungssystem ist und insbesondere in einem gegebenenfalls vorhandenen Puffertank ist. Ein großes Volumen führt zu großen Druckschwankungen über einen vergleichsweise langen Zeitraum. Bei gleicher Einschaltdauer der Druckerhöhungspumpen ließe sich in einem solchen System ein besserer Komfort mit geringeren Druckschwankungen erreichen. In bisherigen Systemen kann dies nur durch manuelle Anpassung erreicht werden.

[0004] Im Hinblick auf diese Problematik ist es Aufgabe der Erfindung, eine Druckerhöhungsvorrichtung zur Erhöhung des Druckes einer durch eine Leitung strömenden Flüssigkeit dahingehend zu verbessern, dass eine automatische Anpassung an das jeweilige hydraulische System zur Minimierung der auftretenden Druckschwankungen erfolgt. Diese Aufgabe wird durch eine Druckerhöhungsvorrichtung mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den beigefügten Figuren.

[0005] Die erfindungsgemäße Druckerhöhungsvorrichtung dient zur Erhöhung des Druckes einer durch eine Leitung strömenden Flüssigkeit, beispielsweise von Trinkwasser in einer Trinkwasserleitung. Die Druckerhöhungsvorrichtung weist zumindest eine Druckerhöhungspumpe auf. Es können jedoch auch mehrere Druckerhöhungspumpen parallel und/oder in Reihe geschaltet sein. Wenn nachfolgend der Begriff Druckerhöhungspumpe verwendet wird, so schließt dies ausdrücklich auch derartige Anordnungen von mehreren Druckerhöhungspumpen mit ein. Die Druckerhöhungseinrichtung weist darüber hinaus eine Steuereinrichtung auf, welche die Druckerhöhungspumpe steuert. Dazu ist zumindest ein ausgangsseitig der Druckerhöhungspumpe an oder in der Leitung angeordneter Drucksensor vorhanden, welcher mit der Steuereinrichtung derart verbunden ist, dass von dem Drucksensor erfasste Druck-Messwerte an die Steuereinrichtung übertragen werden.

[0006] Die Steuereinrichtung ist so ausgebildet, dass sie zumindest in einem Betriebsbereich die Druckerhöhungspumpe in einem Start-Stopp-Betrieb steuert. Das heißt die Pumpe wird bei Erreichen eines oberen Druckgrenzwertes ausgeschaltet und bei Erreichen eines unteren Druckgrenzwertes eingeschaltet. So wird der Druck in der Leitung ausgangsseitig der Druckerhöhungsvorrichtung zwischen dem oberen und dem unteren Druckgrenzwert gehalten.

[0007] Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung derart ausgestaltet, dass sie in diesem Start-Stopp-Betrieb zumindest einen Druck-Steuer-Parameter der Steuereinrichtung automatisch anpasst. Ein solcher Druck-Steuer-Parameter ist ein Parameter, welcher der Steuerung der Druckerhöhungspumpe durch die Steuereinrichtung zugrundegelegt wird, insbesondere ein Parameter, welcher Einfluss auf die Ein- und Ausschaltzeitpunkte im Start-Stopp-Betrieb hat. Die automatische Anpassung dieses zumindest einen Druck-Steuer-Parameters erfolgt erfindungsgemäß auf Grundlage des zeitlichen Vorlaufs zumindest eines von dem Drucksensor erfassten Druckwertes. So wird ein selbstlernendes System geschaffen, welches sich an die aktuellen Bedingungen in dem hydraulischen System ausgangsseitig der Druckerhöhungsvorrichtung selbsttätig anpasst. Vorzugsweise ist die Steuereinrichtung derart ausgebildet, dass die Anpassung in der Weise geschieht, dass die Druckdifferenz zwischen dem oberen und dem unteren Druckgrenzwert minimiert wird, ohne die Zahl der Einschaltvorgänge über einen vorbestimmten Grenzwert zu erhöhen. So wird sichergestellt, dass die Laufzeit der Druckerhöhungspumpe in dem Start-Stopp-Betrieb im Wesentlichen nicht verlängert wird, gleichzeitig aber der Komfort verbessert wird, indem Druckschwankungen im System minimiert werden. So kann der Komfort bei gleichzeitiger Energieeffizienz gesteigert werden.

[0008] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Druckerhöhungsvorrichtung bzw. deren Steuereinrichtung derart ausgestaltet, dass der zumindest eine Druck-Steuer-Parameter, welcher automatisch angepasst wird, der obere und/oder der untere Druckgrenzwert ist. Insbesondere kann der Druck-Steuer-Parameter die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren Druckgrenzwert, d.h. eine Hysteresis-Spanne sein. Die Anpassung der Druckgrenzwerte bzw. deren Differenz ermöglicht eine automatische Anpassung der Druckerhöhungsvorrichtung an das sich anschließende hydraulische System bzw. die in dem System herrschenden Zustände, indem die Druckgrenzwerte so

angepasst werden, dass die Druckdifferenz im Betrieb minimiert wird, ohne die Zahl der Einschaltvorgänge bzw. die gesamte Einschaltdauer der Druckerhöhungspumpe wesentlich zu erhöhen. So wird ein Komfortgewinn erzielt. Insbesondere ist eine Anpassung des Systems an ein Tankvolumen eines Puffertankes im System möglich. Bei großem Volumen ist es möglich die Druckdifferenz zu verkleinern, so dass insgesamt geringere Druckschwankungen im System auftreten.

[0009] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Steuereinrichtung derart ausgebildet, dass die Anpassung des zumindest einen Druck-Steuer-Parameters, beispielsweise des oberen und/oder unteren Druckgrenzwertes, auf Grundlage des zeitlichen Vorlaufes des zumindest einen erfassten Druckwertes in derartigen Auswertezwischenräumen erfolgt, in welchen ein konstanter Durchfluss in der Leitung gegeben ist. Dies hat den Vorteil, dass Druckschwankungen, welche beispielsweise durch das Öffnen und Schließen von Zapfstellen bzw. Verbrauchern im hydraulischen System herrühren, im Wesentlichen keinen Einfluss auf die Messung und die Anpassung des Druck-Steuer-Parameters haben. So wird sichergestellt, dass tatsächlich im Wesentlichen nur Einflüsse, welche aus dem System selber herrühren, berücksichtigt werden. Wenn beispielsweise ein oder mehrere Zapfstellen einer Trinkwasserleitung geöffnet werden, kommt es im System zu einem plötzlichen Druckabfall mit einer plötzlichen Erhöhung des Durchflusses. Diese Zustandsänderungen rühren nicht aus der Gestaltung des Systems sondern aus dem Nutzerverhalten her und sollen bei der Anpassung nach Möglichkeit unberücksichtigt bleiben. Das heißt die Auswertung soll vorzugsweise in einem stabilen Betriebszustand stattfinden.

[0010] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Steuereinrichtung derart ausgebildet, dass sie die Auswertezwischenräume in solche Zeiträume legt, in welchen bei dem Start-Stopp-Betrieb die Druckerhöhungspumpe eingeschaltet ist. Das heißt der zeitliche Druckverlauf, auf dessen Grundlage die Anpassung des Druck-Steuer-Parameters erfolgt, wird bevorzugt während der Druckerhöhung durch die Druckerhöhungspumpe erfasst.

[0011] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform ist die Steuereinrichtung so ausgebildet, dass die genannten Auswertezwischenräume in Zeiträume gelegt werden, in welchen eine Drehzahl der Druckerhöhungspumpe von der Steuereinrichtung erhöht oder verringert wird. Dies hat den Vorteil, dass die Abhängigkeit der Veränderung des gemessenen Druckes im System von der Drehzahländerung betrachtet werden kann. Es kann beurteilt werden, ob der Druck der Drehzahländerung in erwarteter Weise folgt, das heißt die Änderung des tatsächlich erfassten Druckes einer vorbestimmten bzw. beabsichtigten Druckänderung folgt.

[0012] So ist die Steuereinrichtung vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie in den Auswertezwischenräumen den Druckverlauf, das heißt den Verlauf des von dem zumindest einen Drucksensor im System gemessenen Druckes überwacht und eine Anpassung des zumindest einen Druck-Steuer-Parameters nur vornimmt, solange der Druckverlauf in vordefinierten Grenzen einem Soll-Druckverlauf folgt. Ist dies der Fall, so lässt sich daraus schließen, dass keine Veränderungen des stabilen Betriebszustandes vorliegen, welche beispielsweise daher rühren, dass Zapfstellen geöffnet oder geschlossen werden. Diese Einflüsse sollen erfindungsgemäß nach Möglichkeit ausgeschlossen werden.

[0013] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Steuereinrichtung so ausgebildet, dass sie zur Anpassung des zumindest einen Druck-Steuer-Parameters eine Vorhersagefehler-Methode (prediction error system identification method) verwendet. Wie oben beschrieben, wird dabei die Abweichung von einem vorhergesagten Druckwert betrachtet und es wird eine Anpassung in der Weise durchgeführt, dass diese Abweichung bzw. dieser Fehler minimiert wird.

[0014] Die Steuereinrichtung weist vorzugsweise ein Vorhersagesystem zur Vorhersage eines Druckwertes auf Grundlage eines Vorhersagemodells auf. Dabei ist das Vorhersagesystem so ausgebildet ist, dass die Vorhersage in Abhängigkeit der Drehzahl der Druckerhöhungspumpe erfolgt. Das heißt das Vorhersagesystem sagt einen erwarteten Druckwert im System in Abhängigkeit von einer aktuellen Drehzahl der Druckerhöhungspumpe voraus. Bei einer erfassten Abweichung des tatsächlichen erfassten Druckwertes von dem vorhergesagten Druckwert passt das Vorhersagesystem zumindest einen System-Parameter in den Vorhersagemodell auf Grundlage eines vorgegebenen Algorithmus an. Dadurch wird erreicht, dass das Vorhersagemodell an das tatsächliche System angepasst wird, und der Vorhersagefehler minimiert wird bzw. kleiner wird.

[0015] Dieses System kann neben der Anpassung der Steuerung an die tatsächlichen Bedingungen im hydraulischen System auch dazu genutzt werden, Veränderungen im hydraulischen System, beispielsweise Leckagen zu erkennen. Wenn größere Veränderungen des zumindest einen System-Parameters in dem Vorhersagemodell nach einem vorher konstanten Betrieb erforderlich sind, lässt dies auf eine Veränderung im System, beispielsweise eine Leckage schließen. Die Steuereinrichtung kann so ausgebildet sein, dass, wenn sie eine solche Abweichung erkennt, beispielsweise einen Fehler anzeigt.

[0016] Das Vorhersagesystem ist vorzugsweise so ausgebildet, dass es ein Vorhersagemodell verwendet, welches ein autoregressives Modell (ARX-model), insbesondere ein autoregressives Modell (ARX-model) erster Ordnung ist. Auf Grundlage eines solchen Modells lässt sich auf einfache Weise eine Vorhersage der Druckwerte erreichen. Ferner kann in einem solchen Modell zumindest ein verwendeter System-Parameter in der oben beschriebenen Weise angepasst werden, um den Vorhersagefehler zu minimieren.

[0017] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausführungsform ist die Steuereinrichtung derart ausgebildet, dass der zu-

- Fig. 4 schematisch den Start-Stopp-Betrieb bei geringen Durchflüssen,
 Fig. 5 schematisch die Parameteranpassung in einer erfindungsgemäßen Druckerhöhungsvorrichtung,
 5 Fig. 6 eine Tabelle zur Ermittlung der Druckdifferenz zwischen den Druckgrenzwerten, und
 Fig. 7 den Druckverlauf über der Zeit für vier verschiedene Betriebszustände.

10 **[0025]** Fig. 1 zeigt schematisch eine Druckerhöhungsvorrichtung in einer Trinkwasserversorgungsleitung. Die Druckerhöhungsvorrichtung weist eine Druckerhöhungspumpe 2 auf, an welche sich ausgangsseitig weiter stromabwärts ein Rückschlagventil 4 anschließt. Ausgangsseitig des Rückschlagventils 4 ist ein Puffertank 6 angeordnet, welcher in üblicher Weise als Speichertank mit einer Membran und einen darüber angeordneten geschlossenen Luftvolumen ausgebildet sein kann. Weiter stromabwärts ist ein Drucksensor 8 angeordnet, welcher den Druck P ausgangsseitig der Druckerhöhungspumpe 2 und ausgangsseitig des Rückschlagventiles 4 erfasst. Weiter stromabwärts ist schematisch
 15 ein Ventil 10 dargestellt, welches einen oder mehrere Verbraucher, beispielsweise Entnahmestellen repräsentieren soll und über welches der Durchfluss in der Leitung 5 ausgangsseitig des Rückschlagventiles 4 eingestellt wird. Es ist zu verstehen, dass anstatt eines Ventiles 10 sich in der Praxis an die Leitung 5 ein verzweigtes Netz mit einer Vielzahl von Ventilen 10 anschließen kann.

20 **[0026]** Ferner ist eine Steuereinrichtung 12 vorhanden, welche die Druckerhöhungspumpe 2 steuert bzw. regelt. Die Druckerhöhungspumpe 2 wird dazu von der Steuereinrichtung 12 zum einen ein- und ausgeschaltet zum anderen aber auch in ihrer Drehzahl geregelt. Dazu kann die Druckerhöhungspumpe 2 über einen Drehzahlsteller, insbesondere einen Frequenzumrichter angesteuert werden. Die Steuereinrichtung 12 ist mit dem Drucksensor 8 signalverbunden, so dass sie die von dem Drucksensor 8 erfassten Druckwerte empfängt.

25 **[0027]** Es ist zu verstehen, dass statt einer einzelnen Druckerhöhungspumpe 2 auch mehrere parallel und/oder in Reihe geschaltete Druckerhöhungspumpen Verwendung finden könnten, welche von der Steuereinrichtung 12 gesteuert bzw. geregelt werden. Wenn hier eine Druckerhöhungspumpe 2 beschrieben wird, so ist zu verstehen, dass dies ausdrücklich auch eine Anordnung mehrerer Druckerhöhungspumpen 2 mit umfasst.

30 **[0028]** Im Betrieb der gezeigten Druckerhöhungsvorrichtung gibt es bevorzugt zwei Betriebszustände, nämlich einen Betriebszustand geringen Durchflusses und einen Betriebszustand hohen Durchflusses. Im Betriebszustand hohen Durchflusses läuft die Druckerhöhungspumpe 2 bevorzugt im Dauerbetrieb und wird über die Steuereinrichtung 12 in Abhängigkeit des an dem Drucksensor 8 erfassten Druckwertes in ihrer Drehzahl geregelt, um einen Solldruckwert zu erreichen bzw. einzuhalten.

35 **[0029]** In dem Betriebszustand geringen Durchflusses schließt das Rückschlagventil 4 und die Drehzahlregelung der Druckerhöhungspumpe 2 hat keinerlei Einfluss mehr auf eine Verringerung des Druckes in der Leitung 5. Insofern kann eine Druckregelung, wie sie vorangehend beschrieben wurde, nicht mehr durchgeführt werden. In diesem Betriebszustand schaltet die Druckerhöhungsvorrichtung in einen Start-Stopp-Betrieb, bei welchem die Druckerhöhungspumpe 2 eingeschaltet wird, wenn der Druck P in der Leitung 5 unter einen unteren Druckgrenzwert fällt, und die Druckerhöhungspumpe 2 ausgeschaltet wird, wenn der Druck P in der Leitung 5 einen oberen Druckgrenzwert erreicht. Dieses Ein- und Ausschalten der Druckerhöhungspumpe 2 wird von der Steuereinrichtung 12 bewerkstelligt.

40 **[0030]** In diesem Start-Stopp-Betrieb ist die Größe des Puffertanks 6 von erheblicher Bedeutung, da von dieser die auftretenden Druckschwankungen abhängen, wie anhand von Fig. 2a und Fig. 2b erläutert wird. In Fig. 2a und Fig. 2b ist in jeweils dem oberen Diagramm der Druck P in der Leitung 5 über der Zeit t aufgetragen. Das untere Diagramm zeigt jeweils über der Zeit t die Einschaltzustände der Druckerhöhungspumpe 2. Beim Wert 1 ist die Druckerhöhungspumpe 2 eingeschaltet, beim Wert 0 ausgeschaltet. Fig. 2a zeigt in der oberen Kurve den Druckverlauf über der Zeit t bei einem kleinen Tankvolumen und in der unteren Kurve die zugehörigen Einschaltzustände. Die Druckerhöhungspumpe 2 wird jeweils bei Erreichen des oberen Druckgrenzwertes P_1 zu den Ausschaltzeitpunkten T_A ausgeschaltet. Anschließend fällt der Druck auf den unteren Druckgrenzwert P_2 . Wenn dieser zu dem Einschaltzeitpunkt T_E erreicht wird, wird die Druckerhöhungspumpe 2 wieder eingeschaltet, bis zum Zeitpunkt T_A wieder der obere Druckgrenzwert P_1 erreicht wird. Das obere Diagramm in Fig. 2b zeigt den Druckverlauf bei einem größeren Volumen des Puffertanks 6. Im Vergleich der oberen Diagramme in Fig. 2a und Fig. 2b ist erkennbar, dass der Abstand zwischen dem Ausschaltzeitpunkt T_A und dem Einschaltzeitpunkt T_E größer wird, wenn ein größeres Volumen des Puffertanks 6 vorhanden ist. Dann verringert sich in der Leitung 5 der Druck P langsamer. Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, in diesem Zustand die Druckgrenzwerte P_1 und P_2 zu ändern bzw. anzupassen. Der obere Druckgrenzwert P_1 wird auf den Druckgrenzwert P_1' verringert und der untere Druckgrenzwert P_2 wird auf den unteren Druckgrenzwert P_2' erhöht, d.h. die Hysteresespanne wird auf $P_1' - P_2'$ verkleinert. So verringert sich die Druckdifferenz zwischen Aus- und Einschalten der Druckerhöhungspumpe 2. Gleichzeitig verkürzt sich auch wieder der zeitliche Abstand zwischen den Ausschaltzeitpunkten T_A und den Einschaltzeitpunkten T_E . So wird bei im Wesentlichen gleicher Laufzeit und Einschalthäufigkeit der Druckerhöhungspumpe 2 wie bei einem kleinen Volumen des Puffertanks 6 bei einem großen Volumen des Puffertanks 6 ein glatterer

Druckverlauf mit geringeren Druckschwankungen erreicht. Der Effekt dieser Anpassung wird deutlich anhand von Fig. 7, welche den Druckverlauf P über der Zeit t zeigt, ähnlich der oberen Kurve in Fig. 2b. In einem ersten Betriebszustand a herrscht ein geringer Durchfluss bei einem kleinen Tankvolumen. Der tatsächliche Druck P schwankt um den vom Nutzer gewählten Druck P_U in einer relativ großen Bandbreite. Die Schaltintervalle sind kurz. Der Betriebszustand b in Fig. 7 repräsentiert einen Zustand geringen Durchflusses bei einem größeren Tankvolumen. Die Druckschwankungen bleiben gleich, allerdings verlängern sich die Intervalle zwischen Ein- und Ausschalten der Druckerhöhungspumpe 2. Der Betriebsbereich c repräsentiert einen geringen Durchfluss bei einem großen Tankvolumen nach Anpassung der Druckgrenzwerte P_1 und P_2 . Die Schaltintervalle verkürzen sich wieder. Gleichzeitig verkleinert sich die Druckschwankung um den gewünschten Wert P_U . Der Betriebsbereich d entspricht einem Betriebsbereich hohen Durchflusses, in welchem die Druckerhöhungspumpe 2 nicht mehr im Start-Stopp-Betrieb sondern im konstanten Betrieb mit Druckregelung betrieben wird. In diesem Betriebsbereich gibt es im Wesentlichen keine Druckschwankungen.

[0031] Die Anpassung und Regelung wird nun anhand von Fig. 3 näher beschrieben. Fig. 3 zeigt in einem Diagramm den Ablauf der Regelung bzw. Steuerung der Druckerhöhungspumpe 2 durch die Steuereinrichtung 12. Die in Fig. 3 gezeigten Regelungskomponenten sind in die Steuereinrichtung 12 integriert bzw. laufen dort in entsprechenden Modulen ab. Dabei handelt es sich insbesondere um Softwaremodule. Das physikalische System 14 und dessen Einflüsse auf die Steuerung bzw. Regelung sind in Fig. 3 durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet. Wesentlicher Bestandteil des physikalischen Systems 14 ist eine Übertragungsfunktion 16, welche das hydraulische System repräsentiert bzw. von dem hydraulischen System gebildet wird und von welcher die Umsetzung der Drehzahl n der Druckerhöhungspumpe 2 in den Druck P in der Leitung 5 abhängt. Darüber hinaus gibt es noch eine nutzerabhängige Übertragungsfunktion 18, die den Einfluss der Stellung des Ventils 10 repräsentiert. Je nach Stellung des Ventils 10 verändert sich ebenfalls der Druck P in der Leitung 5. Dies wird durch die Übertragungsfunktion 18 repräsentiert. Die Drehzahl n ist die Ausgangsgröße eines Druckreglers 20, welcher in der Steuereinrichtung 12 integriert ist. Dem Druckregler 20 wird ein Solldruck P_S zugeführt, von welchem der tatsächliche Druck P an dem Subtrahierer 22 subtrahiert wird.

[0032] Der Solldruck P_S wird von einem Zustandssteuer- bzw. Zustandsregelmodul 24 berechnet bzw. ausgegeben. Dem Zustandsregelmodul 24 wird als Eingangsgröße ein vom Nutzer gewünschter Druck P_U zugeführt. Die Differenz zwischen dem oberen Druckgrenzwert P_1 und dem unteren Druckgrenzwert P_2 , d.h. eine Hysteresespanne $P_1 - P_2$, wird in einem Parametermodul 28 bestimmt. Dies erfolgt auf Grundlage der in einem Vorhersagemodul 26 bestimmten Parameter a_1 und b_1 . In dem Vorhersagemodul 26 kommt ein Vorhersagemodell zur Anwendung, welches im vorliegenden Beispiel ein autoregressives Modell erster Ordnung (ARX-Modell) ist. Dessen Parameter a_1 und b_1 werden in einem Vorhersagemodul 26 ermittelt. Dem Vorhersagemodul 26 werden als Eingangsgrößen der tatsächliche Druck P , die Drehzahl n sowie ein Zustandswert Z zugeführt, wobei der Zustandswert Z den Betriebsbereich, nämlich einen Betriebsbereich kleinen Durchflusses oder einen Betriebsbereich hohen Durchflusses repräsentiert, wobei in dem Betriebsbereich kleinen Durchflusses der Start-Stopp-Betrieb zur Anwendung kommt. Auf Grundlage zumindest eines der Parameter a_1 und b_1 , welche im Rahmen einer Vorhersagefehler-Methode (prediction error system identification method) angepasst werden, erfolgt eine Anpassung der Regelung bzw. Steuerung an den Zustand des physikalischen Systems 14, indem in dem Parametermodul 28 der Druck-Steuer-Parameter in Form der Differenz $P_1 - P_2$ der Druckgrenzwerte P_1 und P_2 angepasst wird. Die Differenz der Druckgrenzwerte P_1 und P_2 ist ein Beispiel für einen anzupassenden Druck-Steuer-Parameter. Es können auch andere Druck-Steuer-Parameter in entsprechender Weise angepasst werden, beispielsweise Parameter, welche in die Druckregelung einfließen. Die tatsächlichen Druckgrenzwerte P_1 und P_2 werden von dem Zustandsregelmodul 24 basierend auf dem gewünschten Druck P_U festgesetzt, so dass der gewünschte Druck P_U vorzugsweise in der Mitte der Hysteresespanne $P_1 - P_2$ gelegen ist.

[0033] Die Steuereinrichtung 12 und insbesondere deren Zustandsregelmodul 24 weisen insbesondere eine Betriebszustand-Erkennungsfunktion auf, um den Bereich kleinen Durchflusses, in welchem ein Start-Stopp-Betrieb stattfinden soll, zu ermitteln. Wie dies funktioniert, wird anhand von Fig. 4 erläutert. In Fig. 1 zeigt die untere Kurve die Drehzahl n der Druckerhöhungspumpe 2 über der Zeit t . Die obere Kurve zeigt den Druckverlauf des Drucks P über der Zeit t , wobei die durchgezogene Linie den tatsächlich gemessenen Druck P am Drucksensor 8 darstellt und die gestrichelte Linie den Solldruck P_S repräsentiert. Das mittlere Diagramm in Fig. 4 zeigt den Durchfluss Q über der Zeit t . Dabei stellen die drei gezeigten Diagramme einen zeitlich parallelen Ablauf dar. Zum Zeitpunkt t_1 fällt der Durchfluss Q ab, so dass der Betriebszustand von einem Zustand großen Durchflusses in den Zustand kleinen Durchflusses bzw. im Wesentlichen ohne Durchfluss wechselt. Zu diesem Zeitpunkt erhöht sich, wie an der durchgezogenen Linie in dem oberen Diagramm zu erkennen ist, zunächst der tatsächliche Druck P und fällt wegen der durchgeführten Druckregelung im Druckregler 20 wieder auf den Solldruck P_S ab. Zwischen den Zeitpunkten t_2 und t_3 erfolgt die Erkennung, ob ein Zustand geringeren Durchflusses gegeben ist. Dazu wird der Solldruck P_S und damit die Drehzahl n reduziert und es wird geprüft, ob der tatsächliche Druckverlauf P dem Verlauf des Solldruckes P_S folgt. Dies ist in Fig. 4 erkennbar nicht der Fall. Daraufhin schaltet das System in den Start-Stopp-Betrieb. Zwischen den Zeitpunkten t_3 und t_4 sowie t_5 und t_6 ist in diesem Beispiel die Druckerhöhungspumpe 2 eingeschaltet. Die Drehzahl n und damit der Druck P erhöhen sich. Zwischen den Zeitpunkten t_4 und t_5 und nach dem Zeitpunkt t_6 ist die Druckerhöhungspumpe 2 ausgeschaltet. Zu Beginn des Ausschaltzeitraumes fällt die Drehzahl zunächst ab. Der Druck P fällt dann langsamer ab, wie anhand von Fig. 2 erläutert wurde.

[0034] In dem Vorhersagemodell, welches in dem Vorhersagemodul 24 zur Anwendung kommt, wird beispielsweise ein ARX-Modell erster Ordnung in der nachfolgenden Form verwendet:

$$P[k] = -a_1 P[k-1] + b_1 n[k-1]$$

[0035] In dieser Gleichung ist P der Druck, k die Proben- bzw. Zyklusnummer, n die Drehzahl und a_1 und b_1 stellen zwei Parameter dar. Die Parameter a_1 und b_1 können über einen Algorithmus, beispielsweise in der nachfolgend dargestellten Weise ermittelt werden:

$$a_1[k] = a_1[k-1] - \lambda e[k] P[k-1]$$

$$b_1[k] = b_1[k-1] + \lambda e[k] n[k-1]$$

[0036] Dabei stellt λ einen Schrittgrößenparameter dar und e den Vorhersagefehler. Die Funktionsweise des Vorhersagefehlermodells zur Anpassung des vorhergesagten Druckes P_p wird anhand von Fig. 5 erläutert. Fig. 5 zeigt in dem oberen Diagramm den Druck über der Zeit t aufgetragen, wobei die durchgezogene Linie den gemessenen Druck P und die gestrichelte Linie den vorhergesagten Druck P_p zeigt. Das zweite Diagramm zeigt den Vorhersagefehler e gegenüber der Zeit t und die beiden unteren Kurven stellen die Parameter a_1 und b_1 über der Zeit t dar. Es ist zu erkennen, dass anfänglich der vorhergesagte Druck P_p stark von dem tatsächlichen Druck P abweicht. Daraus resultiert ein Vorhersagefehler e auf dessen Grundlage die Parameter a_1 und b_1 so angepasst werden, dass der vorhergesagte Druck P_p und der tatsächliche Druck P zur Deckung gebracht werden, das heißt der Vorhersagefehler e im Wesentlichen gleich null wird.

[0037] Erfindungsgemäß wird diese Vorhersagefehler-Methode auch dazu genutzt, zumindest einen Druck-Steuer-Parameter in dem Parametermodul 28 anzupassen. In diesem Beispiel ist der Druck-Steuer-Parameter die Differenz $P_1 - P_2$ der Druckgrenzwerte P_1 und P_2 . Die Anpassung dieser Druckgrenzwerte erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel auf Grundlage des Parameters b_1 . In der Steuereinrichtung 12, insbesondere in dem Parametermodul 28 ist eine Tabelle hinterlegt, welche für bestimmte Parameter b_1 Druckdifferenzen zwischen den Druckgrenzwerten P_1 und P_2 , d.h. Druck-Hysteresespannen, definiert. Alternativ könnten auch direkt Druckgrenzwerte P_1 und P_2 in der Tabelle hinterlegt sein, dazu wäre es aber zusätzlich erforderlich, dem Parametermodul 28 den gewünschten Druck P_U zuzuführen und diesen in der Tabelle zu berücksichtigen. Eine Tabelle, aus der sich die Druckdifferenz $P_1 - P_2$ ergeben, kann beispielsweise wie in Fig. 6 dargestellt aussehen. Dort wird beispielsweise für einen Wert des Parameters $b_1 < 0,32$ eine Druckdifferenz bzw. eine Hysteresespanne von 0,1 bar zwischen den Druckgrenzwerten P_1 und P_2 vorgesehen, während für den Fall, dass der Parameter b_1 größer oder gleich 0,32 ist, eine Druckdifferenz bzw. Hysteresespanne von 0,5 bar vorgesehen ist. Es ist denkbar, dass die Tabelle detaillierter in noch mehr Druckschritten ausgestaltet ist, um eine feinere Anpassung zu ermöglichen.

[0038] Die beschriebene Anpassung der Parameter a_1 und b_1 erfolgt bevorzugt zu Betriebspunkten bzw. in Betriebsbereichen der Druckerhöhungspumpe 2, in welchen ein stabiler Betriebszustand, das heißt insbesondere ein möglichst konstanter Durchfluss gegeben ist. Dies ist in dem Diagramm gemäß Fig. 4 beispielsweise zwischen den Zeitpunkten t_3 und t_4 sowie t_5 und t_6 der Fall. In diesem Zeitpunkt herrscht ein konstanter Durchfluss, das heißt die Stellung des Ventils 10 wird nicht verändert. Die Steuereinrichtung 12 ist bevorzugt so ausgebildet, dass sie diese Betriebszustände erkennt. Insbesondere erkennt sie eine Änderung des Durchflusses daran, dass in den genannten Betriebsbereichen sich der Druck plötzlich ändert bzw. der tatsächlich gemessene Druck P von dem Sollwert P_S abweicht. Sollte ein solcher Zustand erkannt werden, wird die Anpassung der Parameter a_1 und b_1 ausgesetzt, bis wieder ein stabiler Betriebszustand erreicht ist. So kann die Steuereinrichtung 12 so ausgebildet sein, dass beispielsweise immer dann, wenn im Start-Stopp-Betrieb die Druckerhöhungspumpe 2 eingeschaltet wird, eine Parameteranpassung der Parameter a_1 und b_1 durchgeführt wird, sofern keine Änderungen des Druckverlaufes aufgrund einer Veränderung der Stellung des Ventils detektiert wird. Die Tabelle, nach der die Differenz $P_1 - P_2$ der Druckgrenzwerte P_1 und P_2 angepasst wird, ist so vorbestimmt, dass in Abhängigkeit des Parameters b_1 die Druckdifferenz bzw. Druck-Hysteresespanne $P_1 - P_2$ so bestimmt wird, dass die Druckdifferenz minimiert wird, ohne dass die Zahl der Einschaltvorgänge der Druckerhöhungspumpe 2 eine bestimmte Grenze übersteigt. Dies wird durch die vorbestimmte Tabelle gewährleistet. Da der Parameter b_1 abhängig vom Verlauf des gemessenen Druckes P ist, werden auf diese Weise auch die Differenz $P_1 - P_2$ der Druckgrenzwerte P_1 und P_2 , welche den Druck-Steuer-Parameter darstellt, auf Grundlage des Verlaufes des gemess-

senen Druckes P angepasst.

Bezugszeichenliste

5	[0039]	
	2	Druckerhöhungspumpe
	4	Rückschlagventil
	5	Leitung
10	6	Puffertank
	8	Drucksensor
	10	Ventil
	12	Steuereinrichtung
	14	physikalisches System
15	16	Übertragungsfunktion
	18	nutzerabhängige Übertragungsfunktion
	20	Druckregler
	22	Substrahierer
	24	Zustandsregelmodul
20	26	Vorhersagemodul, Vorhersagesystem
	28	Parametermodul
	P	Druck
	P _u	gewünschter Druck
	P _p	vorhergesagter Druck
25	P _S	Solldruck
	P ₁ , P ₁ '	oberer Druckgrenzwert
	P ₂ , P ₂ '	unterer Druckgrenzwert
	P ₁ - P ₂ , P ₁ ' - P ₂ '	Druckdifferenz bzw. Hysteresespanne
	t	Zeit
30	T _A	Ausschaltzeitpunkt
	T _E	Einschaltzeitpunkt
	a ₁ , b ₁	Parameter
	Z	Zustandswert
	Q	Durchfluss
35		

Patentansprüche

1. Druckerhöhungsvorrichtung zur Erhöhung des Drucks einer durch eine Leitung (5) strömenden Flüssigkeit mit
 40 zumindest einer Druckerhöhungspumpe (2), einer Steuereinrichtung (12), welche die Druckerhöhungspumpe (2) steuert, sowie zumindest einem ausgangseitig der Druckerhöhungspumpe (2) angeordneten und mit der Steuereinrichtung verbundenen Drucksensor (8), wobei die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass sie zumindest in einem Betriebsbereich die Druckerhöhungspumpe derart in einem Start-Stopp-Betrieb steuert, dass sie die Druckerhöhungspumpe (2) bei Erreichen eines oberen Druckgrenzwertes (P₁) ausschaltet und bei Erreichen eines
 45 unteren Druckgrenzwertes (P₂) einschaltet,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Steuereinrichtung (12) derart ausgestaltet ist, dass sie in dem Start-Stopp-Betrieb zumindest einen Druck-Steuer-Parameter (P₁, P₂) der Steuereinrichtung (12) automatisch auf Grundlage des zeitlichen Verlaufes zumindest eines von dem Drucksensor erfassten Druckwertes (P) derart anpasst.
 50
2. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Druck-Steuer-Parameter (P₁, P₂) der obere und/oder der untere Druckgrenzwert ist oder eine Druckdifferenz (P₁ - P₂) zwischen dem oberen und dem unteren Druckgrenzwert ist.
- 55 3. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass die Anpassung des zumindest einen Druck-Steuer-Parameters (P₁, P₂) auf Grundlage des zeitlichen Verlaufes des zumindest einen erfassten Druckwertes (P) in derartigen Auswertezwischenräumen erfolgt, in welchen ein konstanter Durchfluss (Q) in der Leitung (5) gegeben ist.

EP 3 156 651 A1

4. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass sie die Auswerteziträume in solche Zeiträume legt, in welchen bei dem Start-Stopp-Betrieb die Druckerhöhungspumpe (2) eingeschaltet ist.
5. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass sie die Auswerteziträume in Zeiträume legt, in welchen eine Drehzahl (n) der Druckerhöhungspumpe (2) von der Steuereinrichtung erhöht oder verringert wird.
6. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass sie in den Auswerteziträumen den Druckverlauf (P) überwacht und eine Anpassung des zumindest einen Druck-Steuer-Parameters (P_1 , P_2) nur vornimmt, solange der Druckverlaufes (P) in vordefinierten Grenzen einem Soll-Druckverlauf (P_s) folgt.
7. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass sie zur Anpassung des zumindest einen Druck-Steuer-Parameters (P_1 , P_2) eine Vorhersagefehler-Methode (prediction error system identification method) einsetzt.
8. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass die Steuereinrichtung (12) ein Vorhersagesystem (26 zur Vorhersage eines Druckwertes (P_p) auf Grundlage eines Vorhersagemodells in Abhängigkeit der Drehzahl (n) der Druckerhöhungspumpe (2) aufweist und dass das Vorhersagesystem (26) bei einer Abweichung des tatsächlich erfassten Druckwertes (P) von dem vorhergesagten Druckwert (P_p) zumindest einen Parameter (a_1 , b_1) in dem Vorhersagemodell auf Grundlage eines vorgegebenen Algorithmus anpasst.
9. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vorhersagemodell ein autoregressives Modell (ARX-model), insbesondere ein autoregressives Modell (ARX-model) erster Ordnung ist.
10. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass der zumindest eine Druck-Steuer-Parameter (P_1 , P_2) in Abhängigkeit des zumindest einen Parameters (a_1 , b_1) in dem Vorhersagemodell, insbesondere auf Grundlage eines vorgegebenen Algorithmus oder einer Tabelle festgesetzt wird.
11. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) einen Druckregler (20) aufweist, welcher die Druckerhöhungspumpe (2) auf einen Drucksollwert (P_s) regelt.
12. Druckerhöhungsvorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Druck-Steuer-Parameter ein Regelparameter in dem Druckregler (20) ist.
13. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ausgangsseitig der Druckerhöhungspumpe (2) ein Rückschlagventil (4) angeordnet ist.
14. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) derart ausgebildet ist, dass sie die Druckerhöhungspumpe (2) in einem Betriebsbereich, in welchem ein geringer Durchfluss (Q) herrscht, in dem Start-Stopp-Betrieb steuert und in zumindest einem anderen Betriebsbereich die Druckerhöhungspumpe (2) zum Erreichen einer gewünschten Druckerhöhung in ihrer Drehzahl (n) regelt.
15. Druckerhöhungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (12) ein Durchflusserkennungsmodul aufweist, welches ausgebildet ist, auf Grundlage zumindest eines von dem Drucksensor (8) erfassten Druckwertes (P) und auf Grundlage von Änderungen eines Solldruckes (P_s) der Druckerhöhungspumpe (2) den Betriebsbereich geringen Durchflusses (Q) zu erkennen.

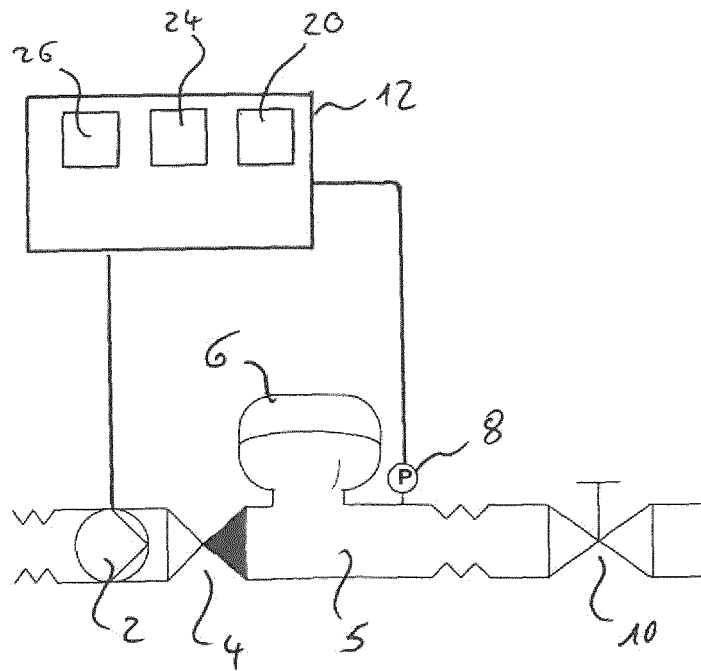


Fig. 1

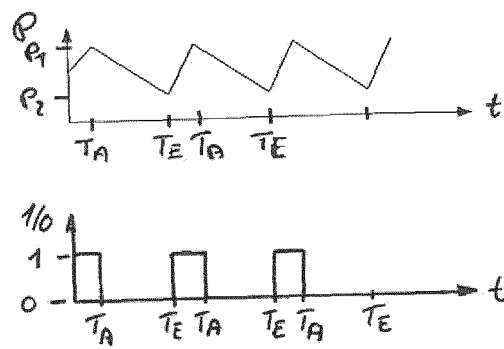


Fig. 2a

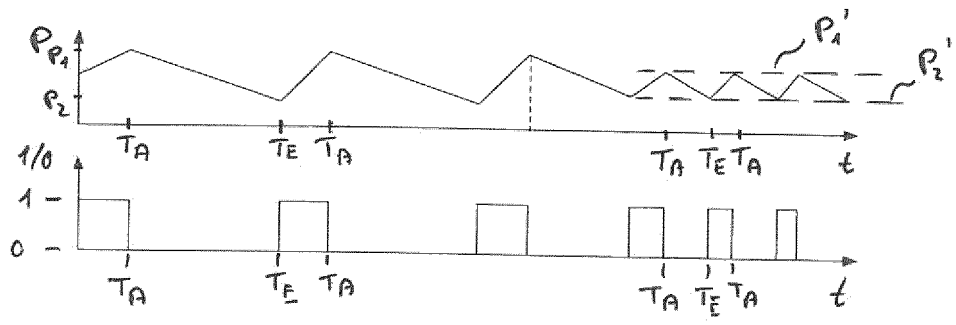


Fig. 2b

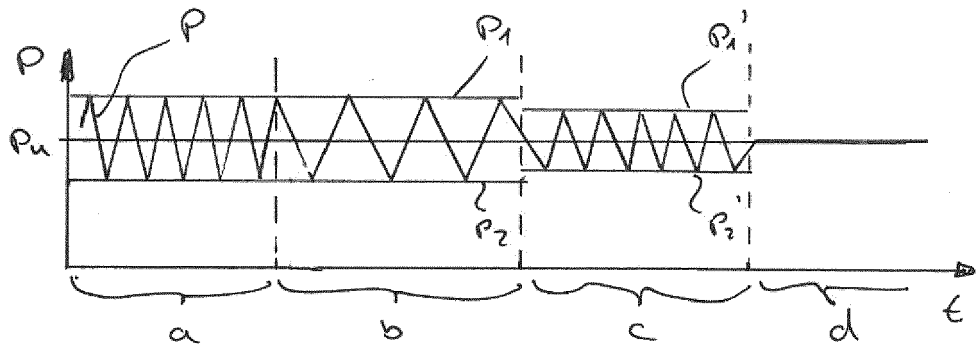


Fig. 7

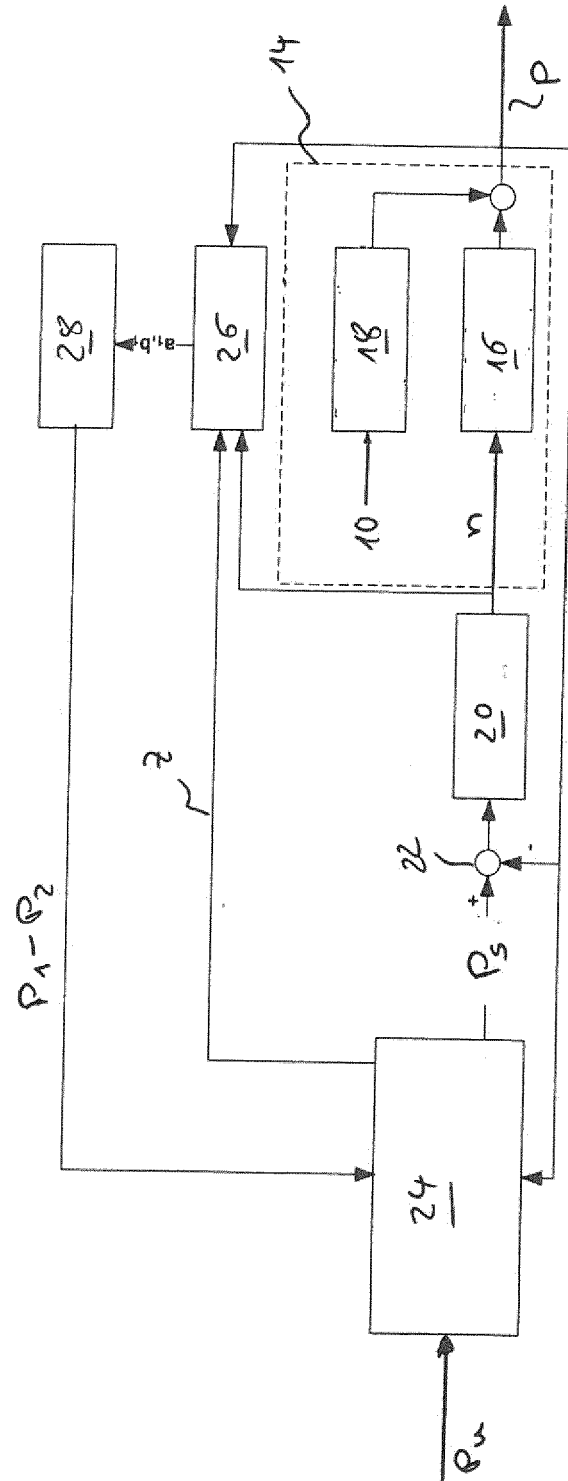


Fig. 3

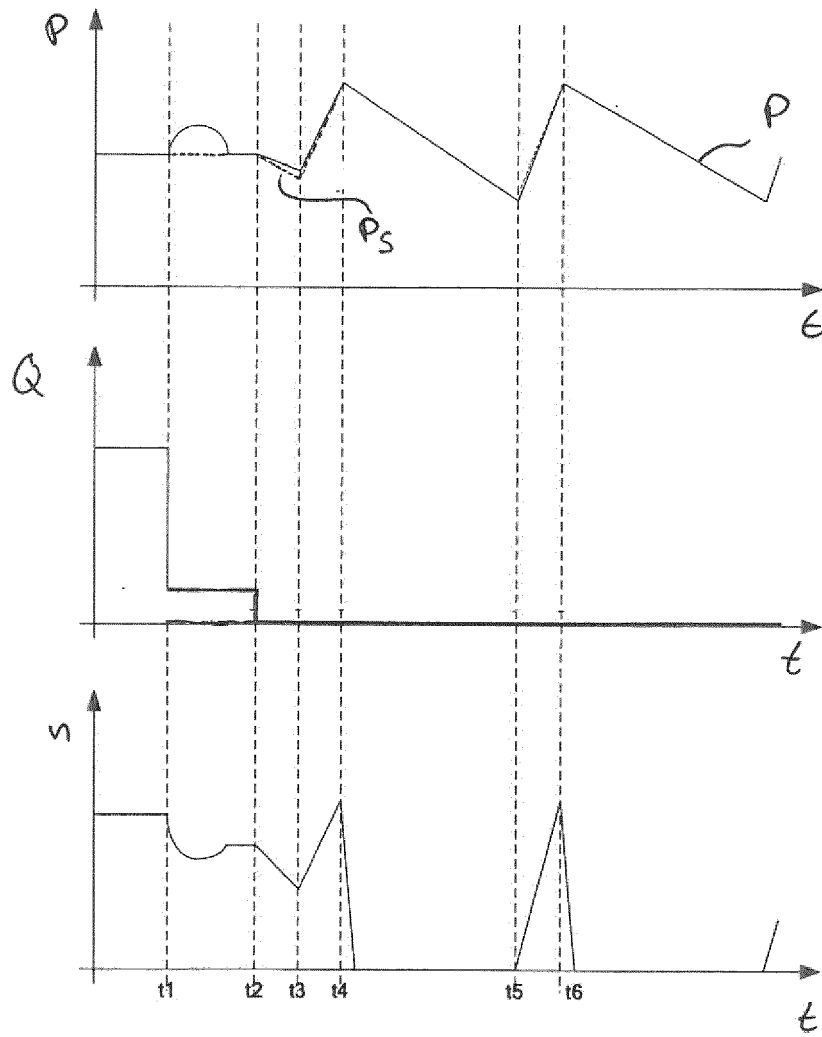


Fig. 4

b1	$P_1 - P_2$
< 0.32	0.1bar
>= 0.32	0.5bar

Fig. 5

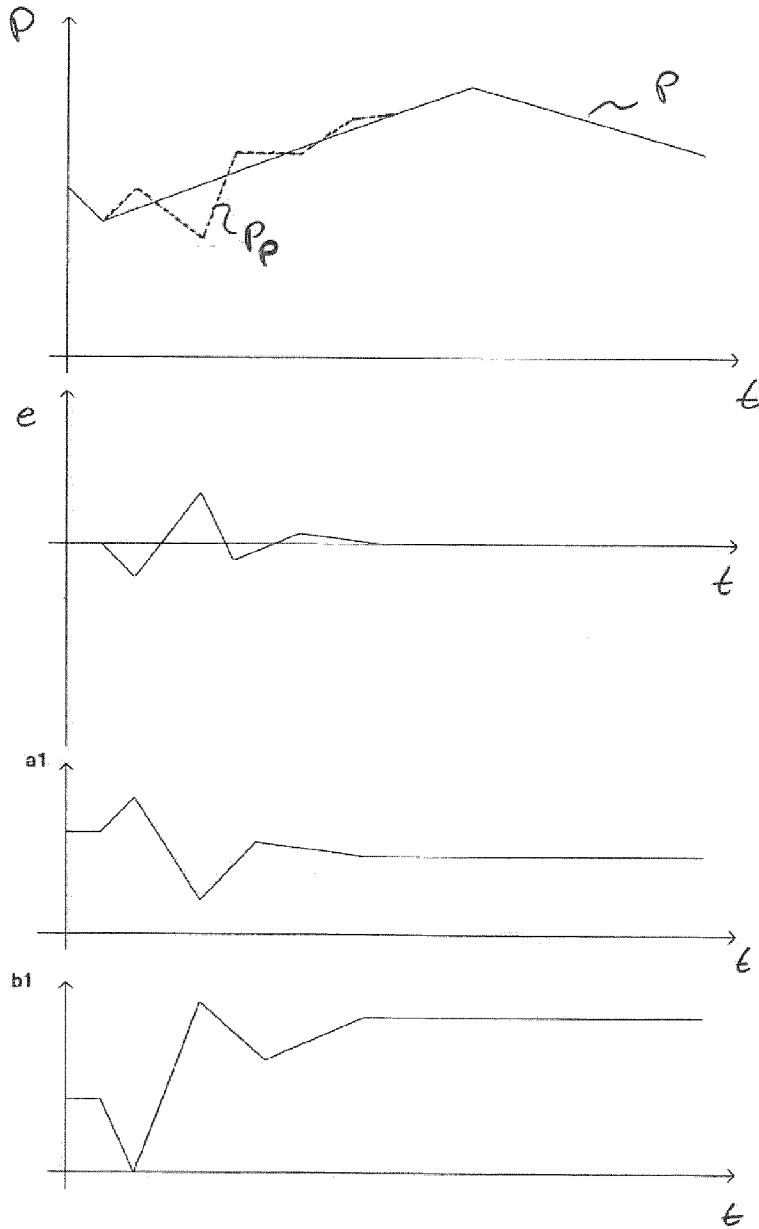


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 15 19 0110

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	EP 2 778 296 A1 (GRUNDFOS HOLDING AS [DK]) 17. September 2014 (2014-09-17) * Zusammenfassung *; Abbildungen 1-5 * * Absätze [0002], [0003], [0029], [0040], [0042], [0043]; Anspruch 1 *	1-15	INV. F04B49/02 F04B49/06
A	JP 2013 040593 A (HITACHI IND EQUIPMENT SYS) 28. Februar 2013 (2013-02-28) * Zusammenfassung *Absatz 16-22 *	1-15	
A	US 7 080 792 B2 (MURATSUBAKI RYOJI [JP] ET AL) 25. Juli 2006 (2006-07-25) * Zusammenfassung *; Ansprüche *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. April 2016	Prüfer Pinna, Stefano
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 Patentedokument, 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 15 19 0110

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.

12-04-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	EP 2778296	A1	17-09-2014	CN 104074730 A		01-10-2014
				EP 2778296 A1		17-09-2014
				RU 2014108825 A		20-09-2015
				US 2014255216 A1		11-09-2014

	JP 2013040593	A	28-02-2013	JP 5775762 B2		09-09-2015
				JP 2013040593 A		28-02-2013

20	US 7080792	B2	25-07-2006	EP 1162372 A1		12-12-2001
				EP 1705376 A1		27-09-2006
				JP 3995227 B2		24-10-2007
				JP 2000213466 A		02-08-2000
				TW 499549 B		21-08-2002
25				US 2004217191 A1		04-11-2004
				WO 0043674 A1		27-07-2000

30						
35						
40						
45						
50						
55						

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

- DE 3824293 A1 [0021]