

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
1. November 2012 (01.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/146662 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/057664
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
26. April 2012 (26.04.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2011 050 018.9  
29. April 2011 (29.04.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALLWEILER GMBH** [DE/DE]; Postfach 11 40, 78301 Radolfzell (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **JÄCKLE, Michael** [DE/DE]; Dietlishof 5a, 78247 Hilzingen (DE). **HOPF, Christian** [DE/DE]; Albert-Riesterer-Str. 22, 78259 Mühlhausen-Ehingen (DE).
- (74) Anwalt: **WAGNER, Kilian**; Behrmann Wagner Vötsch, Maggistr. 5 (10. OG), Hegautower, 78224 Singen (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

- (54) Title: PUMP SYSTEM
- (54) Bezeichnung : PUMPEN-SYSTEM

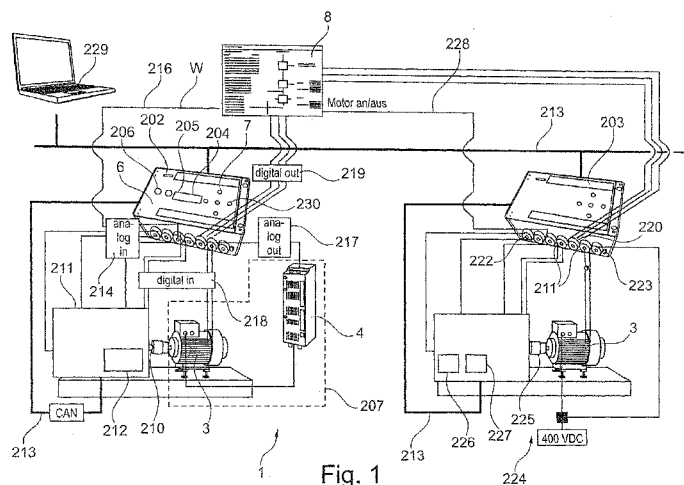


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a pump system comprising a positive-displacement pump module (2; 211; 226), preferably a screw pump, a drive module (207) which can be exchanged separately from the positive-displacement pump module (2; 211; 226), said drive module comprises an electric drive motor (3) and a frequency converter (4) associated therewith for controlling or adjusting a drive motor speed, control means (5) comprising a controller (6) for producing an adjustment variable ( $Y_s$ ) for the frequency converter (4) in accordance with a reference variable (W) and a first actual operational parameter (X) and logistic means associated with the controller (6), and reference variable defining means (8) for providing the reference variable (W) for the control means (5). According to the invention, the control means (5) are provided in a control module (202, 203) separately from the drive module (207), and the drive module (207) can be exchanged separately from the control module (202, 203), and the drive module (207) does not have a designed and/or controlled controller for producing the adjustment variable ( $Y_s$ ).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/146662 A2

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

---

Die Erfindung betrifft ein Pumpensystem, aufweisend: • ein Verdrängerpumpenmodul (2; 211; 226), bevorzugt eine Schraubenspindelpumpe, und - ein separat von dem Verdrängerpumpenmodul (2; 211; 226) austauschbares Antriebsmodul (207) mit einem elektrischen Antriebsmotor (3) und einem diesem zugeordneten Frequenzumrichter (4) zum Regeln oder Stellen einer Antriebsmotordrehzahl, und - Steuermittel (5) mit einem Regler (6) zum Erzeugen einer Stellgröße ( $Y_s$ ) für den Frequenzumrichter (4) in Abhängigkeit einer Führungsgröße (W) und eines ersten Ist-Betriebsparameters (X), und mit dem Regler (6) zugeordneten Logikmitteln - Führungsgrößenvorgabemittel (8) zum Bereitstellen der Führungsgröße (W) für die Steuermittel (5). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass - dass die Steuermittel (5) in einem von dem Antriebsmodul (207) separaten Steuermodul (202, 203) vorgesehen sind, und - dass das Antriebsmodul (207) separat von dem Steuermodul (202, 2033) austauschbar ist, und - dass das Antriebsmodul (207) keinen zum Erzeugen der Stellgröße ( $Y_s$ ) ausgebildeten und/oder angesteuerten Regler aufweist.

Pumpen-System

Die Erfindung betrifft ein Verdrängerpumpensystem mit einem Verdrängerpumpenmo-  
5     dul gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 (im Folgenden auch Pumpenmo-  
   dul), welches bevorzugt als, insbesondere mehrspindlige, Schraubenspindelpumpe  
   ausgebildet ist. Zusätzlich zu dem Pumpenmodul umfasst das Pumpensystem ein An-  
   triebsmodul zum Antreiben des Pumpenmoduls, wobei das Antriebsmodul unabhängig  
   von dem Pumpenmodul austauschbar ist, d.h. lösbar mit dem Pumpenmodul verbunden  
10    ist. Das Antriebsmodul umfasst neben einem elektrischen Antriebsmotor einen diesem  
   zugeordneten Frequenzumrichter zum Regeln oder Stellen einer Antriebsmotordreh-  
   zahl. Ferner umfasst das Pumpensystem Steuermittel mit einer Logik und einem Regler  
   zum Erzeugen einer Stellgröße in Abhängigkeit einer Führungsgröße und mindestens  
   eines Ist-Betriebsparameters, wie beispielsweise eines Fluiddrucks und/oder eines Vo-  
15    lumenstroms. Bevorzugt umfasst das Pumpen-System als Führungsgrößenvorgabemit-  
   tel eine Leitwarte, also ein übergeordnetes Kontrollsystem. Zusätzlich oder alternativ zu  
   einer Prozessleitwarte kann die Führungsgröße manuell, beispielsweise durch eine ent-  
   sprechende Einstellung an den Steuermitteln vorgegeben und dann von den Steuermit-  
   teln selbst erzeugt und/oder von einer einfachen, von den Steuermitteln separaten  
20    Spannungsquelle erzeugt werden, die einen elektrischen Spannungswert als Führungs-  
   größe ausgibt.

Heutige Verdrängerpumpenmotoren zum Antreiben von Verdrängerpumpen umfassen  
ein Frequenzumrichter mit integriertem Regler, der in der Lage ist, das Eingangssignal,  
25    insbesondere ein Spannungssignal für den Frequenzumrichter in Abhängigkeit eines  
   gemessenen Ist-Betriebsparameters und einer zu erreichenden Führungsgröße zu re-  
   geln. Dabei gibt der Regler die in Abhängigkeit der Führungsgröße ermittelte Stellgröße  
   „kritiklos“ an den Frequenzumrichter weiter. Problematisch dabei ist, dass der dem Fre-  
   quenzumrichter zugeordnete Regler heute lediglich motorspezifisch ausgelegt ist, d.h.  
30    nicht hinsichtlich der eigentlichen bei Verdrängerpumpensystemen interessierenden  
   Verdrängerpumpe optimiert ist. Dies kann bei Verdrängerpumpensystemen zu Proble-  
   men führen, da von Verdrängerpumpen grundsätzlich im Vergleich zu Kreiselpumpen  
   eine erhöhte Gefährdung für die Pumpe selbst und/oder für weitere Prozessaggregate  
   ausgeht. Dies ist auf das von Strömungsmaschinen unterschiedliche Kennlinienverhal-

ten von Verdrängerpumpen zurückzuführen. Grundsätzlich kann dies auch im Extremfall zu einer vollständigen Selbstzerstörung oder nachhaltigen Störung der Verdrängerpumpe führen, insbesondere dann, wenn Schädigungsanzeichen nicht rechtzeitig erkannt werden.

5 Auch wird der Einfluss des unmittelbar aus der Führungsgröße (Sollvorgabe) resultierenden Stellgrößensignals auf die Qualität des Förderfluids bei bekannten Verdrängerpumpen nicht berücksichtigt.

10 Darüber hinaus ist bei bekannten Pumpen-System nachteilig, dass eine auf dem jeweiligen, den Frequenzumrichter umfassenden, elektrischen Antriebsmotor eine spezifische Programmierung der Logik der Steuermittel erfolgen muss, welche im Hinblick auf optimierte Eigenschaften des Pumpenmoduls immer nur einen Kompromiss darstellt. Bei bekannten Pumpen-Systemen ist es immer nur möglich, das Antriebsmodul unab-  
15 hängig von dem Pumpenmodul auszutauschen – ein Austausch der Steuermittel ist durch deren Integration im Frequenzumrichter des Elektromotors nicht möglich.

Ausgehend von dem vorgenannten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Pumpen-System anzugeben, das eine erhöhte Sicherheit für weitere Pro-  
20 zessaggregate und für das Pumpenmodul selbst garantiert. Darüber hinaus soll die Variabilität für den Endkunden erhöht werden und eine im Hinblick auf eine optimale Funktionalität und Langlebigkeit des Pumpenmoduls optimierte Drehzahlregelung möglich sein.

25 Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Pumpen-Systems mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, den Ansprüchen und/oder den Figuren offenbarten Merkmalen. Zur Vermeidung von Wiederholungen sollen vorrichtungsgemäß  
30 offenbarte Merkmale als verfahrensgemäß offenbart gelten und beanspruchbar sein. Ebenso sollen verfahrensgemäß offenbarte Merkmale als vorrichtungsgemäß offenbart gelten und beanspruchbar sein.

Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, die bisher dem Frequenzumrichter integralen Steuermittel von diesem zu separieren, um ein von dem Antriebsmodul separates, d.h. eigenständiges Steuermodul zu erhalten, in welchem die Logikmittel, ggf. mit Datenbank und dem, bevorzugt als PI- oder PID-Regler ausgeführten, Regler vorgesehen ist, um somit unabhängig von dem Frequenzumrichter in Abhängigkeit einer Führungsgröße und mindestens eines Ist-Betriebsparameters (Ist-Systemparameter) ein Eingangssignal (Stellgröße) für den Frequenzumrichter bereitstellen zu können, welches dann von dem Antriebsmodul, genauer von dessen Frequenzumrichter durch eine entsprechende Wicklungsbestromung in eine Motordrehzahl umgesetzt wird. Durch die Erfindung ist es erstmals möglich, das Antriebsmodul auf einfache Weise unabhängig von den Steuermitteln zum Erzeugen des Drehzahlsollsignals austauschen bzw. frei wählen zu können. Die Erfindung ermöglicht es zudem sehr einfach aufgebaute Frequenzumrichter einzusetzen, die im einfachsten Falle als Steller wirken, die das von dem separaten Steuermodul vorgegebene Drehzahlsollsignal am beispielsweise als Asynchronmotor ausgebildeten Motor durch entsprechende Strombeeinflussung einstellen. Selbstverständlich ist es auch möglich, bisher zum Einsatz kommende „intelligente“ Frequenzumrichter einzusetzen, wobei diese jedoch dann vorzugsweise nicht in der bisherigen Art und Weise genutzt, d.h. angesteuert werden. Ein etwaiger enthaltener PI- oder PID-Regler des Frequenzumrichters wird also vorzugsweise nicht mit einem Drucksensorsignal und nicht mit einem Durchflussmengensignal und nicht einem Vibrationssensorsignal und nicht mit einem Temperatursensorsignal und auch nicht mit einem Drehmomentsensorsignal beaufschlagt, mit dem Ziel auf dieser Eingangsbasis eine Stellgröße, insbesondere in Form eines Drehzahlsollsignals zu generieren – vielmehr wird diese Stellgröße von dem separaten Steuermodul erhalten und vom Frequenzumrichter in an sich bekannter Weise in eine Motordrehzahl umgesetzt.

Neben der vereinfachten Austauschbarkeit des Antriebsmodul unabhängig von der eigentlichen Steuerung (Steuermittel bzw. Steuermodul) zur Erzeugung des vom Frequenzumrichter umzusetzenden Stellgröße (ggf. eine später noch zu erläuternde korrigierte Stellgröße), hat das nach dem Konzept der Erfindung ausgebildete Verdrängerpumpensystem weitere wesentliche Vorteile. So ist es erstmals möglich, eine gezielt auf das Pumpenmodul hin optimierte Logik (Logikmittel) mit geeigneter pumpenmodulspezifischer Software sowie einen für den eigentlichen Pumpenprozess optimierten Regler, vorzugsweise einen optimal ausgewählten PI- oder PID-Regler, einzusetzen. Bevorzugt

ist der, insbesondere einen Mikrocontroller umfassenden, Logik eine Software zugeordnet, die speziell auf das eingesetzte Pumpenmodul abgestimmt ist, so dass der eigentliche Antriebsmotor unabhängig vom Pumpenmodul und von dem Steuermodul ausgetauscht werden kann, ohne die Konfiguration des Pumpenmoduls über das Steuermodul zu beeinflussen. Alternativ ist es denkbar, für unterschiedliche Pumpenmodule unterschiedliche Software vorzusehen, oder eine umfassende Software, in welcher das jeweils eingesetzte Pumpenmodul, bevorzugt aber eine geeignete Menüsteuerung, ausgewählt werden kann. Eine spezifische Anpassung des Steuermoduls an das jeweils zum Einsatz kommende Pumpenmodul, d.h. eine hardwaremäßige Veränderung ist nicht notwendig.

Das Steuermodul bietet erstmalig die Möglichkeit, unabhängig von der Ausgestaltung des Antriebsmoduls das Pumpenmodul, bei Bedarf auch unabhängig von einer etwaigen Leitwarte zu überwachen und per Drehzahlregelung zu regeln, wobei die Logik bevorzugt ausgebildet ist, um unzulässige Betriebsbedingungen (unzulässige Systemparameter) zu erkennen und das Pumpenmodul ggf. durch Anpassung der vom Frequenzumrichter einzustellenden Solldrehzahl in einen sicheren Betriebspunkt durch Reduzierung der Solldrehzahl als Eingangssignal für den Frequenzumrichter zurückzufahren.

Bevorzugt ist die Logik derart ausgebildet, dass in diese beim Erkennen eines kritischen Systemistparameters (insbesondere durch Vergleich mit in dieser Datenbank abgelegten Grenzwerten) entweder eine, insbesondere in einer Datenbank abgelegte, sichere, bevorzugt eine (weitere) Schädigung des Pumpenmoduls verhindernde, Solldrehzahl bzw. Stellgröße vorgibt oder einen angepassten Systemsollparameter aufgrund dessen der integrale Regler des Steuermoduls eine, bevorzugt niedrigere, Solldrehzahl als Stellgröße ausgibt. Die von der Logik vorgegebene Solldrehzahl kann im Extremfall null sein, ist jedoch bevorzugt in einem Drehzahlbereich größer als null angesiedelt, damit der eigentliche Prozess trotz kritischer Systemistparameter weiterlaufen kann. Durch den Einsatz des nach dem Konzept der Erfindung ausgebildeten Steuermoduls kann ein plötzlicher Totalausfall mit Folgeschäden und einem ggf. resultierenden Produktionsausfall bzw. Betriebsausfall minimiert werden.

In Weiterbildung der Erfindung sind mit Vorteil als Führungsgrößenvorgabemittel eine dem Steuermodul übergeordnete Kontrollinstanz (Leitwarte) vorgesehen, mit der eine

aufgrund eines Ist-Betriebsparameters vom Steuermodul vorgegebene Stellgröße (oder eine später noch zu erläuternde korrigierte Stellgröße) überstimmbare ist, beispielsweise um den Prozess als solches nicht zu gefährden. Anders ausgedrückt kann die Leitwarte bevorzugt eine andere als die von dem Steuermodul vorgegebene Stellgröße, insbesondere eine Drehzahlvorgabe vorgeben, die dann von dem Frequenzumrichter in eine Drehzahl des Antriebsmoduls umgesetzt wird. In diesem Fall erfolgt bevorzugt die Regelung des Drehzahlsollsignals nicht im Steuermodul, sondern in der Leitwarte. Auch ist es denkbar, dass das Steuermodul von der Leitwarte als Hilfsregler benutzt wird, dergestalt, dass der einzuregelnde Systemsollparameter von der Leitwarte bestimmt wird, also ein von dem Steuermodul vorgesehener Systemsollparameter überstimmt wird, insbesondere um somit negative Auswirkungen auf den eigentlichen Prozess, in den das Pumpenmodul eingebunden ist, nicht zu gefährden.

Bevorzugt ist die Leitwarte und/oder das Steuermodul zur Ausgabe eines Start- und/oder Stoppsignals für den Motor des Antriebsmoduls ausgebildet.

Grundsätzlich ist das Steuermodul bzw. dessen Intelligenz (Logik) bevorzugt derart konfiguriert, dass als Hauptziel verfolgt wird, eine Langlebigkeit des Pumpenmoduls zu gewährleisten bzw. nachhaltige Schäden von dieser abzuwenden. Dies ist mit Vorteil derart realisiert, dass, falls ein kritischer Ist-Betriebsparameter gemessen und von der Logik die Stellgrößen als kritisch erkannt wurde, entweder von dieser eine Solldrehzahl vorgegeben und vom Antriebsmodul umgesetzt wird, oder von der Logik der Systemsollparameter beeinflusst wird, mit dem Ziel, dass durch dessen Änderung der Regler des Steuermoduls eine niedrigere Solldrehzahl einregelt. Es kann jedoch notwendig sein, sich über die entsprechenden „Vorschläge“ des Steuermoduls hinwegzusetzen und unter bewusster Riskierung eines Schaden des Pumpenmoduls den Prozess als solches nicht zu gefährden oder zumindest noch eine zeitlang aufrecht zu erhalten. Diese Kontrollaufgabe wird dann von der Leitwarte übernommen, die von Fall zu Fall bzw. unter vorbestimmten Bedingungen das Steuermodul überstimmen kann, beispielsweise dergestalt, dass anstelle einer von der Logik des Steuermoduls vorgesehenen Solldrehzahl unmittelbar ein von der Leitwarte vorgegebenes Stellgröße, insbesondere Solldrehzahlsignal an den Frequenzumrichter des Antriebsmoduls geleitet wird (wobei die Regelung dieses Signals bevorzugt von der Leitwarte übernommen wird) und/oder dadurch, dass anstelle eines von der Logik des Steuermoduls in Abhängigkeit

eines gemessenen Systemistparameters eigentlich vorgesehenen Stellgrößen eine andere (korrigierte) Stellgröße von der Leitwarte vorgegeben wird, als Eingangswert für den Regler des Steuermoduls.

- 5 Ganz besonders bevorzugt ist es, wenn das Steuermodul räumlich getrennt von der Antriebseinheit in einem von der Antriebseinheit und/oder dem Frequenzumrichter separaten Steuermodulgehäuse angeordnet ist, vorzugsweise in einem Mindestabstand von 0,5m, vorzugsweise von 1m oder mehr. Bevorzugt ist dem Steuermodulgehäuse mindestens ein, bevorzugt digitaler, Signaleingang zum Empfangen des Ist-
- 10 Betriebsparameters, beispielsweise von einem Sensormodul und/oder von einer fakultativ vorgesehenen Leitwarte zugeordnet. Zusätzlich oder alternativ ist dem Steuermodulgehäuse ein, insbesondere analoger, Signaleingang zum Empfangen eines Ist-Betriebsparameters und/oder einer Führungsgröße von der Leitwarte zugeordnet. Bevorzugt ist dem Gehäuse auch ein Stellgrößenausgangssignalausgang, insbesondere
- 15 ein Drehzahlsollsignalausgang zugeordnet über den die von dem Regler des Steuermoduls erzeugte Stellgröße (ggf. eine korrigierte Stellgröße) in Richtung Frequenzumrichter der Antriebseinheit und/oder ein von der Leitwarte vorgegebenes, insbesondere geregeltes, Drehzahlsollsignal in Richtung bzw. für die Antriebseinheit ausgebar ist.
- 20 In Weiterbildung der Erfindung ist mit Vorteil vorgesehen, die vom Regler in Abhängigkeit einer Führungsgröße, beispielsweise einem Sollvolumenstrom oder einem Sollandruck des Förderfluids generierte Stellgröße, bevorzugt ein Spannungssignal nicht unmittelbar, d.h. kritiklos bzw. ohne Plausibilisierung, d.h. Überprüfung als Eingangssignal an den Frequenzumrichter weiterzugeben, sondern die Stellgröße, oder eine später
- 25 noch zu erläuternde von ggf. zusätzlich vorgesehenen, insbesondere zweiten, Korrekturmitteln erhaltene, korrigierte Stellgröße oder gemäß einem funktionalen Zusammenhang aus der Stellgröße oder der korrigierten Stellgröße ermittelten Vergleichswert mit mindestens einem ersten Grenzwert (Pumpenschutzgrenzwert) zu vergleichen, wobei der mindestens eine erste Grenzwert ein Gefährdungspotenzial für die Verdrängerpumpe und/oder ein weiteres Prozessaggregat widerspiegelt. Anders ausgedrückt hätte ein
- 30 Über- bzw. Unterschreiten des ersten Grenzwertes (mit einer definierten Wahrscheinlichkeit) einen vorbestimmten Defektzustand der Verdrängerpumpe zur Folge. Vorteilhaft ist es dabei, wenn es sich bei dem ersten Grenzwert nicht um einen statischen, d.h. fest vorgegebenen bzw. festgelegten Grenzwert handelt (wobei selbstverständlich zu-



sätzlich auch ein Vergleich mit derartigen festen Grenzwerten durchgeführt werden kann), sondern um einen dynamisch bestimmten Grenzwert, der auf Basis eines Ist-Betriebsparameters errechnet wird. Anders ausgedrückt wird der Grenzwert in Abhängigkeit mehrerer Ist-Betriebsparameter aktuell berechnet, wobei es sich bei diesen Ist-

5 Betriebsparametern um den ersten Ist-Betriebsparameter, also eine Ist-Regelgröße aus der Regelstrecke handeln kann, auf deren Basis der Regler die Stellgröße ermittelt und um mindestens einen weiteren, d.h. einen anderen Ist-Betriebsparameter, der entweder unmittelbar mittels eines Sensors gemessen oder auf Basis eines Ist-Wertes berechnet, insbesondere simuliert wird. Noch anders ausgedrückt besteht der Vorteil der Erfindung

10 darin, dass nicht nur mit statischen Grenzwerten gearbeitet wird, sondern gemäß der Erfindung Berücksichtigung findet, dass die Grenzwerte einer Dynamik unterliegen, d.h. sich im Betrieb der Verdrängerpumpe in Abhängigkeit von sich ändernden Ist-Betriebsparametern ändern können. Für den Fall, dass der so ermittelte erste (Pumpenschutz-)Grenzwert um ein bestimmtes Maß über- bzw. unterschritten wird, wird mit

15 Hilfe von ersten Korrekturmitteln eine korrigierte Stellgröße bereitgestellt, mit der vorzugsweise die vom Regler erzeugte Stellgröße oder eine bereits zuvor korrigierte Stellgröße, die beispielsweise von zweiten Korrekturmitteln erzeugt wurde, überschrieben wird. Besonders zweckmäßig ist es, wenn die korrigierte Stellgröße den maximal oder minimal zulässigen Wert annimmt, also bevorzugt einen ersten, aktuell berechneten

20 Grenzwert, um der Führungsgröße oder genauer der aus der Führungsgröße unmittelbar resultierenden Stellgröße möglichst nahe zu kommen. Anders ausgedrückt handelt es sich bei der korrigierten Stellgröße um eine auf einen ersten Grenzwert gedeckelte Größe (bevorzugt ein entsprechend begrenztes Spannungssignal).

25 Zusätzlich zu dem Vergleich der Stellgröße, einer korrigierten Stellgröße, oder eines aktuell ermittelten Vergleichswertes mit einem ersten, den Verdrängerpumpenschutz sicherstellenden Grenzwert kann die vom Regler in Abhängigkeit der Führungsgröße ermittelte Stellgröße oder eine korrigierte Stellgröße, (beispielsweise eine von ersten Korrekturmitteln erhaltenen korrigierte Stellgröße, insbesondere die von den ersten Korrekturmitteln ausgegebene korrigierte Stellgröße oder ein aktuell berechneter Vergleichswert mit mindestens einem zweiten Grenzwert (Förderfluidschutz-Grenzwert)

30 verglichen werden, dessen Einhaltung bzw. Nicht-Über- bzw. Unterschreiten die Qualität des Förderfluids sichern soll. Anders ausgedrückt würde ein Über- bzw. Unterschreiten des zweiten Grenzwertes (mit einer definierten Wahrscheinlichkeit) einen vorbe-

stimmten Qualitätsparameter des mit der Verdrängerpumpe geförderten Fluids beeinträchtigen. Wird nun von Vergleichsmitteln ein Über- bzw. Unterschreiten (je nachdem, ob es sich um einen maximalen oder minimalen Grenzwert handelt) des mindestens einen zweiten Grenzwertes um ein vorbestimmtes Maß festgestellt, so wird von zweiten

5 Korrekturmitteln eine korrigierte Stellgröße ausgegeben, die bevorzugt entweder direkt oder indirekt in Form eines Vergleichswertes dem Vergleich mit dem mindestens einen ersten Grenzwert oder als Eingangsgröße (Sollvorgabe) an den Frequenzumrichter weitergegeben wird. Bevorzugt wird die vom Regler erzeugte Stellgröße oder die von vorgelagerten weiteren, beispielsweise den ersten Korrekturmitteln erhaltene Stellgröße

10 mit der korrigierten Stellgröße der zweiten Korrekturmittel überschrieben.

Wesentlich ist hierbei auch, dass es sich bei dem zweiten Grenzwert nicht um einen fest vorgegebenen, abgelegten Grenzwert handelt, sondern um einen auf Basis mehrerer aktueller Ist-Betriebsparameter berechneten zweiten Grenzwert, wobei es sich bei

15 den in die Berechnung einfließenden Ist-Betriebsparameter um den ersten Ist-Betriebsparameter, insbesondere eine Ist-Regelgröße handelt und zusätzlich um einen anderen (weiteren) gemessenen Ist-Betriebsparameter oder um einen, insbesondere auf Basis eines Ist-Wertes, berechneten Ist-Betriebsparameter. Selbstverständlich kann zusätzlich ein Vergleich einer Stellgröße, einer korrigierten Stellgröße, eines Vergleichswertes und/oder eines Ist-Betriebsparameters mit einem festen Förderfluid-

20 Grenzwert durchgeführt und bei Über- bzw. Unterschreiten eine Korrektur der Stellgröße oder der korrigierten Stellgröße durchgeführt werden.

Wie bereits angedeutet liegt es im Rahmen der Erfindung eine Stellgröße, eine korrigierte Stellgröße oder einen Vergleichswert entweder nur gegen mindestens einen ersten (Pumpenschutz-)Grenzwert abzugleichen oder nur gegen einen zweiten (Förderfluidschutz-)Grenzwert oder alternativ gegen sowohl mindestens einen ersten (Pumpenschutz-)Grenzwert und zusätzlich gegen mindestens einen zweiten (Förderfluidschutz-)Grenzwert, wobei wiederum alternativ zuerst gegen mindestens einen ersten

25 Grenzwert und dann nachfolgend gegen mindestens einen zweiten Grenzwert verglichen werden kann, oder umgekehrt zunächst gegen einen zweiten Grenzwert und nachfolgend gegen einen ersten Grenzwert.

30

Wesentlich ist es also dem Regler zur Erzeugung einer Stellgröße eine Logik (Logikmittel) zuzuordnen, die dafür Sorge trägt, dass das Reglerausgangssignal (Stellgröße) zunächst mit mindestens einem ersten und/oder mindestens einem zweiten Grenzwert (Pumpenschutzgrenzwert und/oder Förderfluidschutz-Grenzwert) verglichen wird, wobei  
5 der mindestens eine erste und der mindestens eine zweite Grenzwert aktuell, d.h. unter Berücksichtigung eines gemessenen oder berechneten Ist-Betriebsparameters berechnet wird und dass, für den Fall, dass ein Über- bzw. Unterschreiten des mindestens einen ersten Grenzwertes und/oder des mindestens einen zweiten Grenzwertes festgestellt wird, eine korrigierte Stellgröße erzeugt und dann diese anstelle der vom Regler  
10 ursprünglich erzeugten Stellgröße oder anstelle einer bereits zuvor korrigierten Stellgröße als Eingangssignal an den Frequenzumrichter (Frequenzumformer) weitergegeben wird, welcher auf Basis dieser Sollvorgabe den Verdrängerpumpenmotor bestromt.

Grundsätzlich ist es möglich, die Logikmittel hardwaremäßig getrennt von dem Regler  
15 auszuführen, beispielsweise in Form eines von dem Regler getrennten Mikrokontrollers. Bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der Regler und die Steuermittel von einem gemeinsamen Mikrokontroller realisiert sind bzw. einen gemeinsamen Mikrokontroller umfassen.

20 Wie später noch erläutert werden wird, ist es besonders bevorzugt, wenn in die Berechnung des mindestens einen ersten Grenzwertes und/oder des mindestens einen zweiten Grenzwertes verdrängerpumpenspezifische Parameter, insbesondere Geometrieparameter, wie ein Spaltmaß, und/oder ein Spindeldurchmesser mit einfließen. Hierzu ist es besonders zweckmäßig, wenn in einem (nicht flüchtigen) Speicher, insbesondere  
25 einem EEPROM, der Logikmittel mehrere Datensätze von Systemparametern abgelegt sind, die spezifisch sind für unterschiedliche Verdrängerpumpen (d.h. jeder Datensatz ist spezifisch für eine Verdrängerpumpe), insbesondere für unterschiedliche Bauarten und Baugrößen von Verdrängerpumpen und das zwischen diesen Datensätzen, insbesondere bei einer Grundkonfiguration, beispielsweise über eine Menüsteuerung, ausgewählt werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, die gleichen Steuermittel im Zusammenhang mit unterschiedlichen Verdrängerpumpen einzusetzen.  
30

- Die Steuermittel ermöglichen erstmals mögliche negative Auswirkungen bei aktuellen, sich ändernden Betriebsparametern einer Führungsgröße bzw. die Auswirkungen aus einer aus der Führungsgröße unmittelbar resultierenden Stellgröße auf die Intaktheit der Verdrängerpumpe und/oder auf die Produktqualität, d.h. die Qualität des Mittels der Verdrängerpumpe geförderten Förderfluids anhand eines Vergleichs mit einem situativ bestimmten, d.h. sich im Laufe der Zeit ändernden Grenzwert zu erkennen und gegebenenfalls gegenzusteuern, indem bei Erkennen eines Gefährdungspotenzials nicht wie bisher die unmittelbar aus der Führungsgröße resultierende, vom Regler erzeugte Stellgröße (Spannungssignal) unmittelbar vom Frequenzumrichter in eine Verdrängerpumpenmotordrehzahl umgesetzt wird oder der Verdrängerpumpenmotor durch Ansteuerung eines Schützes einfach ausgeschaltet wird, sondern indem stattdessen eine, insbesondere reduzierte, oder erhöhte in Abhängigkeit eines ersten Betriebsparameters und mindestens eines, bevorzugt gemessenen, weiteren Ist-Betriebsparameters berechnete korrigierte Stellgröße (vorzugsweise größer null) dem Frequenzumrichter übergeben wird. Bevorzugt handelt es sich bei der korrigierten Stellgröße um die von den gemeinsam oder alternativ vorgesehenen ersten bzw. zweiten Grenzwertvorgabemitteln berechneten ersten bzw. zweiten Grenzwert.
- Die physikalischen Größen (Parameter) der Pumpendrehzahl, der Förderfluidviskosität und des Förderfluiddrucks stehen in dem folgenden physikalischen Zusammenhang, d.h. sind gegenseitig voneinander abhängig:

$$n = \left( \frac{p}{k \bullet b \bullet c \bullet v^a} \right)^2 \text{ wobei}$$

- n : Pumpendrehzahl  
 p : Förderfluiddruck in Druckleitung bzw. Förderfluiddruckdifferenz an der Pumpe  
 Exponent a, Faktor b und c Konstanten der Verdrängerpumpe,  
 k: Faktor der Förderfluidschmierfähigkeit  
 v : Förderfluidviskosität

- Gemäß eines bevorzugten Ausführungsbeispiels ist vorgesehen, dass die Steuermittel sämtliche vorstehenden Parameter zur Ansteuerung des Frequenzumrichters berücksichtigen, wobei vorzugsweise die Pumpendrehzahl in Form der Stellgröße Berücksich-

tigung findet, der Förderfluiddruck, vorzugsweise gemessen am oder in der Nähe des Druckstutzens oder alternativ aus weiteren Parametern berechnet, als erster Ist-Betriebsparameter und die Förderfluidviskosität oder ein Parameter, insbesondere ein Fluidparameter, zu welchem die Förderfluidviskosität in einem physikalischen Zusammenhang steht, insbesondere die Förderfluidtemperatur als zweiter Betriebsparameter, wobei vorgenannter erster Ist-Betriebsparameter, d.h. der Förderfluiddruck und der weitere Ist-Betriebsparameter vorzugsweise die Förderfluidviskosität oder die Förderfluidtemperatur mittels der ersten Grenzwertvorgabemittel berücksichtigt werden, um den ersten Grenzwert zu berechnen, dessen Über- bzw. Unterschreiten einen Deffektzustand der Verdrängerpumpe zur Folge haben könnte. Die Vergleichsmittel vergleichen dann die vom Regler ausgegebene Stellgröße, also ein Drehzahlsignal mit dem ersten Grenzwert, wobei erste Korrekturmittel eine korrigierte Stellgröße, d.h. ein korrigiertes Drehzahlsignal für den Fall ausgeben, dass die vom Regler ausgegebene Stellgröße den unter Berücksichtigung des Förderfluiddrucks und der Förderfluidviskosität bzw. eines hierzu in einem funktionalen Zusammenhang stehenden Parameters über- bzw. unterschreitet, wobei es sich bei der korrigierten Stellgröße, d.h. dem korrigierten Drehzahlsignal vorzugsweise um den ersten, zuvor mit Hilfe der ersten Grenzwertvorgabemitteln errechneten Grenzwert handelt. Als Führungsgrößen kommen bei der bevorzugten Ausführungsform ein Förderfluidvolumenstrom (bzw. die den Fördervolumenstrom widerspiegelnde Pumpendrehzahl) oder ein Förderfluiddruck zur Anwendung.

Diese bevorzugte Ausführungsform wird dem in der Praxis häufig auftretenden Fall gerecht, dass eine schnelle Störgrößenänderung, z.B. eine schlagartige Durchflusswiderstandsänderung zu einer sehr schnellen Druckänderung und damit zu einer schnellen Änderung des Drehmomentbedarfs an der Pumpe führt. Im Falle einer schnellen Druckerniedrigung bei großen Pumpenantrieben würde dies zu einer schnellen Drehzahlerhöhung führen. Eine unzulässige Drehzahlerhöhung kann durch die Berücksichtigung des Förderfluiddrucks, vorzugsweise gemessen am Druckstutzen als erster Betriebsparameters und der unmittelbaren oder mittelbaren Berücksichtigung der Förderfluidviskosität als zweiter Betriebsparameter bei der Berechnung des ersten Grenzwertes verhindert werden, so dass eine Beschädigung der Pumpe ausbleibt.

Bei kleinen Antriebsmotoren würde eine sehr schnelle schlagartige Druckerhöhung zu einer schnellen Drehzahlreduzierung führen, wobei auch hier die Berücksichtigung des

vorgenannten Erstbetriebsparameters und des vorgenannten weiteren Betriebsparameters zu einer korrigierten Stellgröße, d.h. einem korrigierten Drehzahlsignal führt, wodurch auch in diesem Fall eine Beschädigung der Pumpe verhindert werden kann.

- 5 Im Falle der Realisierung des Mediumschutzes kommen bevorzugt als Führungsgröße der Förderfluiddruck, der Förderfluidvolumenstrom bzw. die Drehzahl oder aber auch die Förderfluidviskosität bzw. ein Parameter, insbesondere ein Fluidparameter, von dem die Förderfluidviskosität unmittelbar abhängig ist in Betracht. Die Stellgröße ist bevorzugt die Drehzahl bzw. ein Drehzahlsignal, wobei zur Berechnung des Grenzwertes, insbesondere eine maximal zulässige Drehzahl bevorzugt als erster Betriebsparameter  
10 ein Förderfluidvolumenstrom und als weiterer Ist-Betriebsparameter der Förderfluiddruck (insbesondere gemessen am Druckstutzen der Pumpe) berücksichtigt wird.

Wie erwähnt, kann der Vergleich mit dem mindestens einen Grenzwert auf unterschiedliche Weise realisiert werden. So ist es besonders bevorzugt, wenn zum Vergleich mit  
15 dem ersten Grenzwert die von dem Regler erzeugte Stellgröße herangezogen wird, oder alternativ die von den ersten Korrekturmitteln oder die von fakultativ vorgesehenen weiteren, beispielsweise zweiten, Korrekturmitteln ausgegebene korrigierte Stellgröße. Auch ist es möglich, nicht unmittelbar die vorgenannte Stellgröße oder eine korrigierte  
20 Stellgröße für den Vergleich heranzuziehen, sondern einen Vergleichswert, der auf Basis eines vorbestimmten funktionalen Zusammenhangs aus der Stellgröße oder einer korrigierten Stellgröße berechnet wird. In analoger Weise ist es möglich für den Vergleich mit dem zweiten Grenzwert die vom Regler erzeugte Stellgröße heranzuziehen oder eine korrigierte Stellgröße, wobei es bei der korrigierten Stellgröße um die, falls  
25 vorhanden, von den ersten Korrekturmitteln ausgegebene korrigierte Stellgröße handeln kann oder um die von den zweiten Korrekturmitteln ausgegebene korrigierte Stellgröße. Ebenso ist es möglich einen Vergleichswert z.B. eine aktuelle Scherrate auf Basis eines der vorgenannten Werte zu berechnen und diesen für den Vergleich heranzuziehen.

- 30 Wie bereits angedeutet, können die Logikmittel die vom Regler erzeugte Stellgröße, eine korrigierte Stellgröße oder einen auf Basis der Stellgröße und/oder der korrigierten Stellgröße berechneten Vergleichswert oder ein Ist-Betriebsparameter, insbesondere der erste Ist-Betriebsparameter und/oder der weitere Ist-Betriebsparameter auch mit mindestens einem für die den Steuermitteln zugeordnete Verdrängerpumpe spezifi-

schen, festen Grenzwert verglichen werden, wobei für den Fall, dass ein solcher Grenzwert um ein bestimmtes Maß über- bzw. unterschritten wird von Korrekturmitteln eine korrigierte Stellgröße ausgegeben wird. Handelt es sich bei dem zu vergleichenden Ist-Betriebsparameter beispielsweise um einen gemessenen Ist-Schwingungswert und  
5 überschreitet dieser ein für die bestimmte Verdrängerpumpe maximales Maß (Grenzwert) so wird von Korrekturmitteln eine korrigierte Stellgröße ausgegeben, wobei diese Stellgrößenkorrektur einer möglichen Korrektur durch erste Korrekturmittel und/oder durch zweite Korrekturmittel vor- oder nachgelagert sein kann. Bei der korrigierten Stellgröße handelt es sich im einfachsten Fall um ein um einen bestimmten Faktor erhöhtes oder reduziertes Stellgrößensignal, oder ein Stellgrößensignal, das ein in einem  
10 Speicher abgelegten Wert annimmt, oder ein simulierten, berechneten Wert, für den ein Über- bzw. Unterschreiten des Grenzwertes nicht zu erwarten ist.

Die zuletzt geschilderte Ausgestaltung der Steuermittel dient vor allem zum Erkennen  
15 einer plötzlich auftretenden Beschädigung oder eines plötzlich auftretenden Beschädigungsanzeichens der Verdrängerpumpe. Wird beispielsweise von Sensormitteln als gemessener Ist-Betriebsparameter ein Schwingungsparameter überwacht und überschreitet dieser einen in einem nicht flüchtigen Speicher hinterlegten oder bevorzugt alternativ oder zusätzlich einen in Abhängigkeit eines gemessenen Ist-Parameters bestimmten Grenzwert, so wird nicht die der Führungsgröße entsprechende Stellgröße  
20 weitergegeben, sondern einen, beispielsweise um den Faktor 2 reduzierte errechnete Stellgröße, um die Verdrängerpumpe noch möglichst lange betreiben zu können, ohne dass ein Schaden, beispielsweise ein Lagerschaden auftritt oder sich verschlimmert, für den der erhöhte Schwingungswert ein Indiz darstellen kann.

25 Im Hinblick auf die konkrete Ausgestaltung des, vorzugsweise von einem Mikrokontroller gebildeten Reglers der Steuermittel gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Bevorzugt ist der Regler als PI-Regler oder als PID-Regler ausgeführt.

30 Im Hinblick auf die Auswahl bzw. Ausgestaltung des ersten Ist-Betriebsparameters, der dem Regler zum Ermitteln einer Stellgröße zugeführt wird und auf dessen Basis gegebenenfalls der erste (Pumpenschutz-)Grenzwert und/oder der zweite (Förderfluidschutz-)Grenzwert berechnet wird, und der ggf. zur Berechnung der korrigierten Stellgröße von den Korrekturmitteln herangezogen wird, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Bevor-

zugt handelt es sich bei diesem ersten Ist-Betriebsparameter um eine bevorzugt gemessene, Ist-Regelgröße aus der Regelstrecke, insbesondere eine sogenannte Ist-Hauptregelgröße, beispielsweise einen Ist-Druck des Förderfluids oder eine Ist-Druckdifferenz des Förderfluids, beispielsweise zwischen Saug- und Druckseite der Verdrängerpumpe oder um einen Ist-Volumenstrom des Förderfluids. Der erste Betriebsparameter wird bevorzugt gemessen, kann alternativ auch simuliert bzw. berechnet werden, insbesondere aus mehreren weiteren Ist-Betriebsparametern.

Wie eingangs bereits erläutert, muss der erste und/oder zweite Grenzwert nicht nur anhand des ersten, dem Regler zugeführten Ist-Betriebsparameters berechnet werden, sondern zusätzlich auf Grundlage eines funktionellen Zusammenhanges auf Basis eines anderen (weiteren) Ist-Betriebsparameters. Bei dem zumindest einen weiteren Ist-Betriebsparameter kann es sich um eine gemessene oder auf Basis eines, beispielsweise gemessenen, Ist-Wertes berechnete Hilfsstellgröße, insbesondere des Frequenzumrichters handeln, beispielsweise um einen Drehfrequenzsollwert des Frequenzumrichters oder einen Drehmomentsollwert des Frequenzumrichters. Auch ist es möglich, dass es sich bei mindestens einem weiteren Ist-Betriebsparameter um eine gemessene oder auf Basis eines Ist-Wertes berechnete Hilfsregelgröße, insbesondere eine Drehzahl des Verdrängerpumpenmotors oder ein Drehmoment des Verdrängerpumpenmotors handelt. Auch ist es möglich, dass es sich bei mindestens einem weiteren Ist-Betriebsparameter der in die Berechnung des ersten und/oder zweiten Grenzwertes und/oder in die Berechnung einer korrigierten Stellgröße und/oder in die Berechnung eines Vergleichswertes einfließt um eine gemessene Temperatur, beispielsweise eine Förderfluidtemperatur oder eine Lagertemperatur, insbesondere eines Wälzlagers einer Antriebsspindel der Verdrängerpumpe handeln. Auch ist es möglich, dass es sich bei dem mindestens einen weiteren Ist-Betriebsparameter um einen gemessenen Vibrationswert handelt. Auch ist es möglich, dass es sich bei dem mindestens einen weiteren Ist-Betriebsparameter um eine gemessene oder berechnete Förderfluidviskosität handelt. Auch ist es möglich, dass es sich bei dem mindestens einen weiteren Ist-Betriebsparameter um eine gemessene Leckagemenge handelt. Besonders bevorzugt ist es, wenn nicht nur der erste Ist-Betriebsparameter nur ein einziger weiterer Ist-Betriebsparameter bei der Berechnung eines Grenzwertes oder einer korrigierten Stellgröße berücksichtigt werden, sondern beispielsweise zusätz-



lich zum ersten Hilfsbetriebsparameter zwei oder mehrere weitere, vorzugsweise unterschiedliche Ist-Betriebsparameter.

Für Anwendungen des Mediumschutzes (bevorzugt nicht für Anwendungen des Pumpschutzes kann es sich bei dem mindestens einen weiteren Betriebsparameter um eine gemessene Ist-Regelgröße, beispielsweise eine gemessene Ist-Hauptregelgröße handeln, beispielsweise um einen Ist-Druck des Förderfluids, eine Ist-Druckdifferenz oder einen Ist-Volumenstrom.

Wird beispielsweise ein Ist-Druck als Betriebsparameter gemessen, beispielsweise ein Überdruck am Druckstutzen der Verdrängerpumpe, so kann ein zu hoher Druck verdrängerpumpengefährdend sein, insbesondere eine Berstmöglichkeit beinhalten. Dabei kann der maximal zulässige Druck abhängig sein von weiteren Ist-Betriebsparametern, wie beispielsweise der Temperatur des Förderfluids.

Ein zu geringer Druck am Saugstutzen kann als Kavitationsindikator genutzt werden. Bevorzugt wird neben dem Druck als Betriebsparameter die Förderfluidviskosität berücksichtigt, insbesondere aus messtechnischen Gründen stellvertretend für die Viskosität des Förderfluids dessen gemessene Temperatur.

Die Temperatur kann also zusätzlich oder alternativ von einem Druck als Ist-Betriebsparameter überwacht werden. Eine Übertemperatur des Förderfluids kann pumpengefährdend sein, insbesondere im Hinblick auf einen möglichen Lagerschaden.

Als Ist-Betriebsparameter kann bei der Grenzwertberechnung und/oder der Berechnung eines korrigierten Stellwertes zusätzlich oder alternativ zum Druck die Motordrehzahl gemäß einer festen Zuordnung bzw. Funktion berücksichtigt werden, die direkt proportional zur Verdrängerpumpendrehzahl (Spindeldrehzahl) ist, insbesondere dieser entspricht. Eine zu hohe oder zu niedrige Drehzahl kann ebenfalls ein Risiko darstellen, insbesondere dann, wenn weitere Betriebsparameter, wie beispielsweise die Temperatur und/oder der Druck gewisse Grenzen über- bzw. unterschreiten.

Zusätzlich oder alternativ zu den vorstehenden Ist-Betriebsparametern können Schwingungen (Vibrationen) der Verdrängerpumpe und/oder des Verdrängerpumpenmotors

- überwacht werden. Zu starke Schwingungen gefährden dabei die Ausrichtung zwischen Verdrängerpumpenmotor und Verdrängerpumpe mit der möglichen Folge eines Lager-  
schadens an der Verdrängerpumpe und/oder am Verdrängerpumpenmotor. Auch sind  
bei unzulässigen Schwingungen Gleitringdichtungsschäden möglich. Insgesamt kann  
5 die Lebensdauer der Verdrängerpumpe durch unzulässige Schwingungen reduziert  
werden, insbesondere dann, wenn weitere Ist-Betriebsparameter, wie die Drehzahl  
und/oder die Temperatur und/oder der Druck gewisse Grenzen über- bzw. unterschrei-  
ten.
- 10 Zusätzlich oder alternativ zu den vorstehenden weiteren Betriebsparametern kann die  
Viskosität des Förderfluids, die in einem funktionalen Zusammenhang zur Förderfluid-  
temperatur steht, direkt oder mittelbar über die Temperatur bei der Bestimmung eines  
Grenzwertes, einer korrigierten Stellgröße oder, falls vorgesehen eines Vergleichswertes  
berücksichtigt werden. Eine zu geringe Viskosität kann verdrängerpumpengefähr-  
15 dend sein aufgrund daraus resultierender nachlassender Schmiereigenschaften des  
Förderfluids zwischen den Spindeln. Eine zu hohe Viskosität kann verdrängerpumpen-  
motorgefährdend sein, so dass das Drehmoment zu sehr ansteigt. Zudem kann eine zu  
hohe Viskosität (zu niedrige Temperatur) verdrängerpumpengefährdend sein, bei-  
spielsweise beim Einsatz einer Magnetkupplung, welche durch eine zu hohe Viskosität  
20 unbemerkt abreißen kann, was zur Zerstörung der Verdrängerpumpe bzw. der Magnet-  
kupplung führt.

- Neben den zuvor erläuterten Ist-Betriebsparametern, die einzeln, in Gruppen oder be-  
vorzugt gemeinsam zur Sicherstellung eines Komponentenschutzes (Verdrängerpum-  
25 penschutzes) oder zur Sicherstellung bzw. Gewährleistung einer Förderfluidqualität  
gemessen und gemäß einer mathematischen Funktion bei Berechnungen berücksichtigt  
werden, kann mindestens einer der nachstehenden Ist-Betriebsparameter überwacht  
werden, beispielsweise das Drehmoment, welches funktional abhängig von der Viskosi-  
tät des Förderfluids ist. Insbesondere kann das Drehmoment als Indikator für einen an-  
30 steigenden Verdrängerpumpenverschleiß berücksichtigt werden.

Zusätzlich oder alternativ kann der Verdrängerpumpenmotorstrom in die Berechnung  
eines Grenzwertes, einer korrigierten Stellgröße oder falls vorgesehen in einen Ver-  
gleichswert einfließen. Der Motorstrom ist eine einfach und kostengünstig zu messende

Größe, insbesondere bei gleichbleibenden anderen Parametern, wie beispielsweise der Viskosität für das Drehmoment, welche wiederum auf Verschleiß der Pumpe hinweisen kann. Zusätzlich oder alternativ kann die Leckagerate überwacht werden. Hier liegt der Gedanke zugrunde, dass jede Gleitringdichtung eine Nennleckage benötigt, damit die statische und dynamische Komponente der Gleitringdichtung geschmiert wird. Steigt die Leckagerate an, kann dies ein Indikator für einen beginnenden Gleitringdichtschaden sein.

Falls nicht, was jedoch bevorzugt ist, unmittelbar die vom Regler erzeugte Stellgröße oder die von Korrekturmitteln korrigierte Stellgröße mit einem ersten oder zweiten Grenzwert verglichen werden soll, sondern zusätzlich oder alternativ für diesen Vergleich ein Vergleichswert berechnet werden soll, der in einem funktionalen Zusammenhang zur Stellgröße oder zur korrigierten Stellgröße steht, kann in die Berechnung dieses Vergleichswertes anhand eines funktionalen Zusammenhangs mehrerer der vorgenannten Ist-Betriebsparameter, insbesondere der erste Ist-Betriebsparameter und mindestens einer der weiteren Ist-Betriebsparameter einfließen.

Besonders bevorzugt ist es, wenn die ersten und/oder zweiten Grenzwertvorgabemittel und/oder die ersten oder zweiten Korrekturmittel bei ihren Berechnungen für die den Steuermitteln zugeordnete verdrängerpumpespezifische Geometrieparameter berücksichtigen, beispielsweise eine Spaltbreite und/oder einen Spindeldurchmesser. Zusätzlich oder alternativ können die Grenzwertvorgabemittel und/oder die Korrekturmittel einen in einem Speicher abgelegten Förderfluidparameter, insbesondere ein Scherverhalten des Förderfluids berücksichtigend ausgebildet sein.

So ist es insbesondere im Hinblick auf die Überwachung der Qualität des Förderfluids oder des damit hergestellten Endproduktes vorteilhaft, die Winkelgeschwindigkeiten der Verdrängerpumpenspindel bei der Berechnung eines Grenzwertes, einer korrigierten Stellgröße oder, falls vorgesehen, bei der Berechnung eines Vergleichswertes zu berücksichtigen. Dabei sollte bevorzugt mindestens ein Geometrieparameter sowie der Steigungswinkel der betreffenden Spindel berücksichtigt werden, da unterschiedliche Steigungswinkel der Spindel bei gleicher Motordrehzahl zu unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten innerhalb der Verdrängerpumpe führen.

Denkbar ist auch eine Variante, bei der der mindestens eine gemessene Ist-Parameter, beispielsweise der erste Ist-Betriebsparameter oder ein weiterer Ist-Parameter nicht unmittelbar von Sensormitteln in die Steuermittel eingespeist wird, sondern bei der der mindestens eine Ist-Betriebsparameter den Steuermitteln von einer Prozess-Leitwarte  
5 übermittle wird, insbesondere, wie später noch erläutert werden wird, über ein Bussystem.

Besonders bevorzugt ist es, wenn bei der Berechnung des mindestens einen ersten und/oder mindestens einen zweiten Grenzwertes eine Schergefälle Berücksichtigung  
10 findet, insbesondere ein maximal zulässiges, in einem Speicher abgelegtes Schergefälle und/oder ein aktuell anhand mindestens eines Ist-Betriebsparameters berechnetes Schergefälle gemäß einem funktionalen Zusammenhang berücksichtigt wird.

Wie bereits erläutert, ist es denkbar, dass neben einer dynamischen Grenzwertbetrachtung auch eine statische Grenzwertbetrachtung erfolgt, bei welcher die Stellgröße, eine korrigierte Stellgröße, ein Vergleichswert oder unmittelbar ein erster Betriebsparameter und/oder ein weiterer Betriebsparameter mit einem in einem, vorzugsweise nicht flüchtigen Speicher der Logikmittel abgelegten Grenzwert verglichen wird/werden und, sollte der Grenzwert um ein vorbestimmtes Maß über- bzw. unterschritten werden, eine korrigierte Stellgröße ermittelt und ausgegeben wird, um somit die Pumpe oder Produktqualität nicht zu gefährden. Im einfachsten Fall, kann hierzu die vom Regler vorgegebene Stellgröße oder aufgrund eines vorangehenden Vergleichs bereits korrigierte Stellgröße um ein vorgegebenes Maß, insbesondere einen vorgegebenen Faktor, erhöht oder reduziert werden.

Zusätzlich oder alternativ zu mindestens einem gemessenen und ersten Ist-Betriebsparameter und/oder zusätzlich oder alternativ zu einem gemessenen oder berechneten weiteren Ist-Betriebsparameter und/oder zu mindestens einem vorgegebenen verdrängerpumpenspezifischen Geometrieparameter können die ersten und/oder  
30 zweiten Grenzwertvorgabemittel und/oder die ersten und/oder zweiten Korrekturmittel bei der Berechnung des entsprechenden Grenzwertes oder der korrigierten Stellgröße einen Förderfluidparameter (fluidspezifischer Eigenschaftswert/Konstante) gemäß einer mathematischen Funktion oder Zuordnung berücksichtigend ausgebildet sein, der beispielsweise in einem nicht flüchtigen Speicher der Steuermittel abgelegt ist. Bevorzugt

kann unter verschiedenen Fluidparameterdatensätzen manuell oder automatisch, beispielsweise in Abhängigkeit eines Messergebnisses, ausgewählt werden. Bevorzugt wird als Förderfluidparameter das Scherverhalten des Förderfluids berücksichtigt, insbesondere dann, wenn zur Bestimmung eines Grenzwertes oder einer korrigierten

5 Stellgröße ein Schergefälle herangezogen wird.

Ganz besonders zweckmäßig ist es, wenn die Logikmittel zum Ermitteln und/oder Signalisieren einer Wartungsfälligkeit der Verdrängerpumpe in Abhängigkeit eines gemessenen oder berechneten Ist-Betriebsparameters und/oder in Abhängigkeit eines für den

10 Steuermitteln zugeordneten verdrängerpumpenspezifischen Parameters ausgebildet sind. Bevorzugt umfassen die Logikmittel hierzu eine entsprechende Funktionseinheit, die den gemessenen oder berechneten Ist-Parameter und/oder den verdrängerpumpenspezifischen Parameter bei der Ermittlung der Wartungsfälligkeit berücksichtigend ausgebildet ist. Bevorzugt berechnet diese Funktionseinheit die Wartungsfälligkeit an-

15 hand einer vorgegebenen (funktionellen) Zuordnung. Die Wartungsfälligkeit wird bevorzugt über entsprechende Signalisierungsmittel, beispielsweise ein Display und/oder eine LED-Ampel, die unterschiedliche Farbsignale aussenden kann, signalisiert.

Besonders zweckmäßig ist es, wenn die ersten und/oder zweiten Korrekturmittel derart

20 ausgebildet sind, dass diese für den Fall, dass der Grenzwert um einen vorgegebenen, insbesondere sehr hohen oder sehr niedrigen Wert über- bzw. unterschritten wird, ein Stoppsignal für den Verdrängerpumpenmotor, insbesondere für ein Motorschutz aussenden, aufgrund dessen der Verdrängerpumpenmotor gestoppt wird, insbesondere um eine weitere Gefährdung der Verdrängerpumpe oder weitere Prozessaggregate oder

25 der Qualität des Förderfluids zu vermeiden.

In Weiterbildung der Erfindung ist mit Vorteil vorgesehen, dass die Steuermittel über ein Bussystem, insbesondere ein CAN-Bussystem, kommunizierend ausgebildet sind, insbesondere um mit anderen Verdrängerpumpensteuermitteln und/oder einer Prozess-

30 leitwarte kommunizieren zu können, d.h. Daten übermitteln und/oder empfangen zu können. Besonders zweckmäßig ist es dabei, wenn im Steuermodul, insbesondere zur Kommunikation mit der Leitwarte und/oder mindestens einem weiteren Modul ein CAN-Bussystem zugeordnet ist, welches vorwiegend aus der Automobiltechnik bekannt ist.

Dieses Bussystem ist, wie sich überraschend herausgestellt hat, besonders zuverlässig und robust im Zusammenhang mit Verdrängerpumpensystemen.

Besonders zweckmäßig ist es, wenn den Steuermitteln Eingabemittel, insbesondere in Form mindestens einer Taste, bevorzugt in Form von mehreren Tasten und/oder eines Touchscreens, etc. zugeordnet sind, um die Steuermittel konfigurieren und/oder auslesen zu können. Besonders bevorzugt kann über die Eingabemittel einer von mehreren in einem nicht flüchtigen Speicher abgelegten Systemparameterdatensätzen und/oder Förderfluidparameterdatensätzen ausgewählt werden.

Ganz besonders zweckmäßig ist eine Ausführungsvariante der Steuermittel, bei der die Steuermittel Speichermittel aufweisen, die ausgebildet und angesteuert sind, um empfangene, errechnete und/oder ausgesendete Daten, insbesondere Messwerte oder Spannungsverläufe zu speichern, insbesondere mitzuloggen. Besonders bevorzugt sind die Speichermittel ausgebildet und angesteuert, um gemessene Ist-Betriebsparameter und/oder Führungsgrößen und/oder Stellgrößen und/oder korrigierte Stellgrößen zu speichern.

Bevorzugt umfasst das System auch mindestens einen Sensor (Sensormittel), vorzugsweise mindestens zwei Sensoren, der bzw. die signalleitend mit den Steuermitteln verbunden sind, wobei der Sensor bzw. die Sensoren zum Messen des ersten Ist-Betriebssignals und ggf. mindestens eines weiteren Ist-Betriebssignals ausgebildet und angeordnet sind. Beispielsweise handelt es sich um einen Drucksensor zur Bestimmung eines Fluiddrucks, insbesondere eines Differenzdrucks und/oder einer Temperatur, beispielsweise einer Förderfluidtemperatur oder einer Lagertemperatur. Auch kann es sich um einen Drehzahlmesser zur Bestimmung der Verdrängerpumpenzahl und/oder um einen Drehmomentmesser zum Erfassen des Verdrängerpumpenmotordrehmoments und/oder um ein Vibrationssensor zum Messen eines Vibrationswertes und/oder um einen Fluidviskositätsmesser zum Bestimmen der Fluidviskosität und/oder einen Leckageratenmesser und/oder einen Volumenstrommesser handeln. Besonders zweckmäßig ist es, wenn die Steuermittel signalleitend mit dem Frequenzumrichter verbunden sind, um als ersten und/oder mindestens einen weiteren Ist-Betriebsparameter eine Ist-Hilfsstellgröße zu empfangen, insbesondere einen Drehfrequenzsollwert oder einen Drehmomentsollwert aus dem Frequenzumformer.

In Weiterbildung der Erfindung ist mit Vorteil vorgesehen, dass die Logik des Steuermoduls zum Erkennen und/oder Signalisierung einer Wartungsnotwendigkeit des Pumpenmoduls ausgebildet ist und zwar in Abhängigkeit der Auswertung eines Ist-Betriebsparameters, welcher ggf. von der Logik im Hinblick auf eine Wartungsrelevanz, insbesondere unter Einbezug einer Datenbank überprüfbar ist. Besonders zweckmäßig ist es, wenn die Logik derart ausgebildet bzw. programmiert ist, dass eine Wartungsnotwendigkeit ausreichende Zeit vor einem tatsächlich notwendigen Eingriff erkannt wird, um somit eine Frist bzw. einen Zeitraum bis zur empfohlenen Vornahme der Wartungsdurchführung ermitteln zu können. Wie später noch erläutert werden wird, wird die Wartungsnotwendigkeit bzw. die empfohlene Zeitspanne bis zur Vornahme der Wartung im Falle des Vorsehens mehrerer Steuermodule von einer, sogenannten Masterbox der Steuermodule übernommen. Die Kommunikation mit dieser Masterbox kann beispielsweise über ein Bussystem, insbesondere ein CAN-Bussystem erfolgen.

Wie zuvor bereits angedeutet, ist es besonders zweckmäßig, wenn dem Steuermodul zur Kommunikation mit einer Leitwarte und/oder mit einem weiteren Steuermodul und/oder mit einem Sensormodul ein Bussystem zugeordnet ist bzw. dass das Steuermodul an ein solches Bussystem angeschlossen ist. Überraschenderweise hat sich ein aus der Automobiltechnik bekanntes CAN-Bussystem als besonders Vorteilhaft, zuverlässig und robust im Zusammenhang mit einem Pumpen-System herausgestellt. Das bevorzugt vorgesehene Sensormodul kann alternativ auch über eine Digitalverbindung und/oder Analogverbindung mit dem Steuermodul und/oder einer Leitwarte kommunizieren.

Besonders zweckmäßig ist es, wenn an das vorgenannte Bussystem mehrere Steuermodule angeschlossen sind, wobei bevorzugt jedem Steuermodul ein Verdrängerpumpenmodul und in der Folge auch ein Antriebsmodul zugeordnet ist.

Wie ebenfalls bereits angedeutet, ist es bevorzugt, wenn eines von mehreren zum Einsatz kommenden Steuermodulen als sogenannte Masterbox ausgebildet ist, d.h. eine erhöhte Funktionalität hat. Hierunter wird verstanden, dass dieses Steuermodul zum Empfangen und Speichern von Daten ausgebildet ist, die es von anderen Steuermodulen des Systems empfängt, beispielsweise von Statusinformationen und/oder von

- Systemistparametern (Ist-Betriebsparameter) und/oder von Drehzahlsollsignalen und/oder von Systemsollparametern. Bevorzugt ist eine derartige Masterbox zusätzlich oder alternativ mit Signalisierungsmitteln, beispielsweise einem Bildschirm, einer Lichter-, insbesondere LED-Ampel, und/oder einem Lautsprecher ausgestattet, um mit einem Benutzer kommunizieren zu können bzw. um dem Benutzer ein Ereignis signalisieren zu können, beispielsweise eine Störung und/oder die Notwendigkeit einer Wartung, ggf. inklusive eines vorgeschlagenen Wartungszeitraums bis zur tatsächlichen Fälligkeit der Wartung.
- 10 Im Hinblick auf die Ausbildung des mindestens einen Sensormoduls gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Dieses kann beispielsweise als Vibrationssensor, insbesondere zum Erkennen kritischer Schwingungen des Pumpenmoduls und/oder mit einem Drucksensor zum Erfassen eines Istdruckes und/oder als Temperatursensor zum Ermitteln einer Isttemperatur und/oder als Durchflussmengensensor zum Erfassen eines Istdurchflusses und/oder als Drehmomentsensor zum Erfassen eines Drehmoments des Pumpenmoduls ausgebildet sein. Es ist denkbar, mehrere derartige Sensoren in einem Sensormodul zusammenzufassen oder für unterschiedliche Sensoren separate Sensormodule vorzusehen. Das Sensormodulsignal kann beispielsweise unmittelbar dem Steuermodul zugeleitet werden, oder falls vorhanden über die Leitwarte.
- 20 Besonders zweckmäßig ist es, wenn in dem Steuermodul eine Datenbank mit systemspezifischen Informationen, insbesondere pumpenmodulspezifischen Informationen, vorgesehen ist, auf die die Logik des Steuermoduls zugreifen kann, um so eine geeignete Solldrehzahl und/oder einen geeigneten Systemsollparameter für den Regler des Steuermoduls vorgeben zu können.
- 25 Die Erfindung führt auch auf die Verwendung eines Steuermoduls, umfassend einer Logik und einen Regler, insbesondere einen PI- oder PID-Regler, zum Erzeugen einer Stellgröße, insbesondere eines Drehzahlsollsignals für eine Antriebseinheit in Abhängigkeit mindestens eines System-Istparameters und in Abhängigkeit einer Führungsgröße, wobei die Führungsgröße vorzugsweise von einer Leitwarte vorgebar ist.
- 30



Weitere Vorteil, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

- 5     Fig. 1:        einen möglichen Aufbau eines Pumpensystems mit zwei Steuermodulen, denen jeweils ein Antriebsmodul und ein Pumpenmodul zugeordnet ist, wobei den beiden Steuermodulen eine fakultative Leitwarte übergeordnet ist,
- 10    Fig. 2  
     bis Fig. 5:    unterschiedliche Ereignisszenarien am Beispiel des Pumpen-Systems gemäß Fig. 1, und
- 15    Fig. 6:        eine mögliche Ausgestaltung von als Steuermodul vorliegenden Steuermitteln, die ausgebildet sind, um eine von einem Regler erzeugte Stellgröße mit einem ersten (Pumpenschutz-)Grenzwert zu vergleichen, insbesondere für ein System gemäß den Fig. 1 bis 5,
- 20    Fig. 7:        eine alternative Ausgestaltung von als Steuermodul vorliegenden Steuermitteln, die ausgebildet sind um eine vom Regler erzeugte Stellgröße mit einem (Förderfluidschutz-)Grenzwert zu vergleichen, insbesondere für ein System gemäß Fig. 1 bis 5,
- 25    Fig. 8.        eine weitere Ausgestaltungsvariante von als Steuermodul vorliegenden Steuermitteln für ein Verdrängerpumpensystem, wie dies beispielhaft in den Fig. 1 bis 5 dargestellt ist, wobei von den Steuermitteln die vom Regler erzeugte Stellgröße mit einem ersten Grenzwert und/oder einem zweiten Grenzwert zu vergleichbar und ggf. korrigierbar ist, und wobei die Vergleichsreihenfolge auch anders, als in Fig. 8 dargestellt, d.h. in umgekehrter Reihenfolge realisiert sein kann,
- 30    Fig. 9:        ein NPSH-Diagramm, und

Fig. 10 in einem Diagramm den physikalischen Zusammenhang zwischen dem Förderfluiddruck, gemessen am Druckstutzen der Pumpe, der Förderfluidviskosität (Mediumviskosität) und der Pumpendrehzahl, hier einer Pumpenmindestdrehzahl.

5 In den Figuren sind gleiche Elemente und Elemente mit der gleichen Funktion mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Das in den Figuren gezeigte Verdrängerpumpensystem 1 umfasst ein erstes und ein  
10 zweites Steuermodul 202, 203, von denen das in der Zeichnung links gezeigte Steuermodul (erstes Steuermodul 202) als sogenannte Masterbox mit Signalisierungsmitteln 204 ausgestattet ist und zwar in Form eines Bildschirms 205 und einer LED-Ampel 6.

Neben den Signalisierungsmitteln 204 ist das erste Steuermodul 202 (Masterbox) im  
15 Gegensatz zu dem zweiten Steuermodul 203 als Datenspeichereinheit (Datenlogger) ausgebildet, die signalleitend mit dem zweiten Steuermodul 203 verbunden ist und von dieser übermittelte Daten, beispielsweise wie Ist-Betriebsparameter, Führungsgrößen oder vorgegebene Drehzahlen speichert und bevorzugt mit einem Zeitcode versieht. Die Signalisierungsmittel 204 dienen zum Signalisieren von Steuerungen oder zur Dar-  
20 stellung von Wartungsnotwendigkeiten bzw. Zeitvorschlägen zur Durchführung der Wartung, die von dem ersten Steuermodul 202 und/oder dem zweiten Steuermodul 203 oder gegebenenfalls weiteren, nicht dargestellten Steuermodulen ermittelt werden.

Dem ersten Steuermodul 202 ist ein Antriebsmodul 207 zugeordnet, umfassend einen  
25 elektrischen, hier als Asynchronmotor ausgebildeten Antriebsmotor 3 sowie einen diesem zugeordneten Frequenzumrichter 4, der lediglich zur besseren Darstellung separat dargestellt und bevorzugt unmittelbar am Antriebsmotor 3 angeordnet ist.

Das Antriebsmodul 207, genauer der Antriebsmotor 3 des Antriebsmoduls 207 ist über  
30 eine Kupplung 210 mit einem als Schraubenspindelpumpe ausgebildeten ersten Pumpenmodul 211 wirkverbunden.

Am ersten Pumpenmodul 211 ist ein Sensormodul 212 zum Erfassen eines Ist-Betriebsparameters X angeordnet, welches in dem gezeigten Ausführungsbeispiel mit

einem Vibrationssensor ausgestattet ist, um unzulässige Vibrationen erfassen zu können, die dann vom ersten Steuermodul 202, genauer von integralen Logikmitteln 7 ausgewertet werden, insbesondere durch Vergleich mit in einer integralen Datenbank des Steuermoduls 202 abgelegten Informationen.

5

Wie sich aus Fig. 1 ergibt ist das erste Sensormodul 212 über ein Bussystem 213, hier ein CAN-Bussystem, signalleitend mit ersten Steuermodul 202 verbunden.

Im ersten Steuermodul 202 sind, bereits erwähnte, nicht dargestellte Logikmittel 7 integriert sowie ein in dem gezeigten Ausführungsbeispiel als PID-Regler ausgebildeter, ebenfalls aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellter Regler 6 zum Erzeugen einer später noch zu erläuternden Stellgröße oder einer korrigierten Stellgröße für den ersten Frequenzumrichter 4, der nicht ausgebildet ist oder alternativ nicht genutzt bzw. angesteuert und/oder mit Systemistparametern versorgt ist um in Abhängigkeit eines Drucksignals und/oder eines Durchflussmengensignals und/oder eines Vibrationssensorsignals und/oder eines Temperatursensorsignals und/oder eines Drehmomentsignals selbst ein Drehzahlsollsignal zu erzeugen.

Das erste Steuermodul 202 weist, wie das zweite Steuermodul 203 mehrere Ein- und Ausgänge auf, die beim ersten Steuermodul 202 zur besseren Visualisierung hervorgehoben dargestellt sind. Das erste Steuermodul 202 umfasst Analogeingänge 214, über einen von denen das erste Steuermodul 202 signalleitend mit einer übergeordneten Leitwarte (Führungsgrößenvorgabemittel 8) verbunden ist. Über eine, hier als Analogverbindung 216 ausgebildete Verbindung kann von der Leitwarte eine Führungsgröße W oder alternativ bereits eine Stellgröße übermittelt werden, wobei letztere beispielsweise durch das erste Steuermodul 202 durchgeschleift wird und über einen von bevorzugt mehreren, Analogausgängen 217 zum ersten Frequenzumrichter 4 geleitet wird. Wie später noch erläutert werden wird ist das erste Steuermodul 202 jedoch auch in der Lage selbstständig eine Stellgröße, insbesondere ein Drehzahlsollsignal in Abhängigkeit einer Führungsgröße W, eines Ist-Betriebsparameters X und mindestens eines weiteren Betriebsparameters zu erzeugen, mit welcher der erste Frequenzumrichter 4 angesteuert wird.

Neben den Analogeingängen 214 existieren mehrere Digitaleingänge 218.

Darüber hinaus existieren mehrere Digitalausgänge 219 über die Statussignale und andere Daten an die Leitwarte übermittelt werden können.

5 Zu erkennen ist, dass das erste Steuermodul 202 über das Bussystem 213 nicht nur mit dem Sensormodul 212 kommuniziert bzw. Daten von diesem empfängt, sondern über das als CAN-Bussystem ausgebildete Bussystem 213 auch mit dem zweiten Steuermodul 203 verbunden ist. Dieses umfasst wie das erste Steuermodul 202 (zweite) Digitalausgänge 220, (zweite) Digitaleingänge 221, (zweite) Analogeingänge 222 sowie (zweite) Analogausgänge 223 zum Übermitteln eines von der Leitwarte vorgegebenen oder  
10 von dem zweiten Steuermodul 203 in Abhängigkeit einer von der Leitwarte vorgegebenen Führungsgröße erzeugten Stellgröße an dem nicht separat dargestellten Frequenzumrichter eines zweiten Antriebsmoduls 224, welches über eine zweite Kupplung 225 wirkverbunden ist mit einem zweiten ebenfalls als Verdrängerpumpe ausgebildeten  
15 zweiten Pumpenmodul 226, an welchem ebenfalls ein zweites Sensormodul 227 angeordnet ist, welches über das Bussystem 213 mit dem zweiten Steuermodul 203 kommuniziert.

Über eine Digitalverbindung 228 kann die Leitwarte (Beispiel für Führungsgrößenvorgabemittel 8) dem zweiten Steuermodul 203 ein Motorein- sowie ein Motoraussignal übermitteln, aufgrund dessen das zweite Steuermodul 203 das Antriebsmodul 224 ansteuert.  
20

Anstelle der dargestellten, als Vibrationssensormodule ausgebildeten Sensormodule 25 212, 227 können zusätzlich oder alternativ weitere Sensoren bzw. Sensormodule mit jeweils einem oder mehreren Sensoren vorgesehen sein, um verschiedenste Systemparameter im Bereich des jeweiligen Pumpenmoduls 211, 226 zu erfassen.

Zum Auslesen und/oder Programmieren kann ein Computer 229 vorgesehen werden,  
30 der bevorzugt über das Bussystem 213 mit den Steuermodulen 202, 203 kommuniziert.

Wie sich aus Fig. 1 ergibt, umfasst das erste Steuermodul 202 neben den Signalisierungsmitteln 204 auch Eingabemittel 230 zur Vornahme von, vorzugsweise menügesteuerten Eingaben. Das zweite Steuermodul 203 ist im Gegensatz zum ersten Steu-

ermodul 202 nicht als Datenspeichereinheit zum Speichern von anderen Steuermodulen erhaltenen Daten ausgebildet und umfasst im gezeigten Ausführungsbeispiel lediglich eine zweite LED-Ampel und kein Display, wobei auch eine Ausführungsform vollständig ohne Signalisierungsmittel realisierbar ist.

5

Im Folgenden werden anhand der Fig. 2 bis 5 unterschiedliche Szenarien, die im Betrieb des Pumpensystems 1 auftreten können beschrieben.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Szenario läuft der erste Antriebsmotor 3 des ersten Pumpenmoduls 211 mit einer Drehzahl, die auf Basis einer von dem Steuermodul 202 ausgegebenen Drehzahl vom Frequenzumrichter generiert wird. Die entsprechende bzw. zugrundeliegende Führungsgröße W wird über die Analogverbindung 216 in einen der Analogeingänge 214 des ersten Steuermoduls 202 eingespeist. Dieser ermittelt auf Basis der Führungsgröße W sowie unter Berücksichtigung eines Ist-Betriebsparameters eine Stellgröße, die über einem Analogausgang 217 ausgegeben und zum ersten Frequenzumrichter 4 geleitet wird, der entsprechend der Stellgröße den ersten Antriebsmotor 3 ansteuert. Sämtliche überwachten Systemparameter, insbesondere ein von dem ersten Sensormodul 212 ermitteltes Vibrationssignal, welches über das Bussystem 213 dem ersten Steuermodul 202 zugeleitet wird liegen unterhalb von in einer Datenbank der Logik des ersten Steuermoduls 202 abgelegten Warnschwellen. Eine grüne LED 231 der LED-Ampel 206 leuchtet.

Bei einem zweiten, in Fig. 3 visualisierten Szenario erreicht ein Ist-Betriebsparameter, hier die mittels des ersten Sensormoduls 212 ermittelte Gesamtschwingung des ersten Pumpenmoduls 211 eine erste, in der vorgenannten Datenbank der Logik des ersten Steuermoduls 202 abgelegte Warnschwelle, mit der Folge, dass die erste Logik die ersten Signalisierungsmittel 204 derart ansteuert, dass eine gelbe LED 232 der ersten LED-Ampel 206 leuchtet. Zudem wird eine entsprechende Warnung bzw. Information im Bildschirm 205 der Signalisierungsmittel 204 angezeigt. In der Software der Logik des ersten Steuermoduls 2 ist festgelegt, dass bei Erreichen der ersten Warnschwelle das erste Pumpenmodul 211 mit einer langsameren Drehzahl gefahren werden soll, um die erlaubten maximalen Schwingungswerte einzuhalten. Die Logik des ersten Steuermoduls 202 ermittelt in der Folge eine nach unten korrigierte Stellgröße, die dann über den Analogausgang 217 dem ersten Frequenzumrichter 4 des ersten Antriebsmoduls 207

zugeleitet wird. Zudem wird über einen der Digitalausgänge 219 eine entsprechende Information an die Leitwarte ausgegeben. Je nach Programmierung kann auch festgelegt werden, dass die Leitwarte entscheidet, ob die vom eigentlichen Prozess bestimmte Drehzahlsollvorgabe der Leitwarte oder die Drehzahlsollvorgabe des zweiten Steuermoduls 203 an den Frequenzumrichter geleitet wird.

Das in Fig. 4 dargestellte Szenario ist eine Folge des zuvor anhand von Fig. 3 beschriebenen Szenarios. Die Ursache für die erhöhten Schwingungswerte wurde beseitigt. Die Fehlerbeseitigung wurde am ersten Steuermodul 202 quittiert, wodurch die Logik die grüne LED 231 am ersten Steuermodul 202 aufleuchten lässt. In der Logik des zweiten Steuermoduls 203 in Verbindung mit dem integrierten PID-Regler des zweiten Steuermoduls 203 ist festgelegt, dass nun das erste Pumpenmodul 202, genauer dessen vorgeschalteter Antriebsmotor 3 mit der von der Leitwarte vorgegebenen Solldrehzahl weiterarbeiten kann. Zudem wird von der Logik über eine der Digitalausgänge 219 an die Leitwarte die Fehlerbeseitigung gemeldet und die Überstimmung des von der Leitwarte vorgegebenen Drehzahlsollsignals wird aufgehoben.

Bei dem in Fig. 5 dargestellten Szenario wird über ein Drucksensormodul 233 ein plötzlicher Druckanstieg auf der Druckseite festgestellt bzw. gemessen und über eine Analogverbindung 234 an einem der Analogeingänge 214 des zweiten Steuermoduls 203 übermittelt. Die Logik des zweiten Steuermoduls 203 erkennt durch Datenbankabgleich das Überschreiten eines erlaubten Grenzwertes (Warnschwelle) und veranlasst das Blinken einer roten LED 235 am zweiten Steuermodul 203. Zudem wird eine entsprechende Information über das Bussystem 213 an das erste Steuermodul 202 übermittelt, bei welchem die integrale Logik dafür sorgt, dass der Steuerfall über eine rote LED 236 signalisiert wird. Zudem wird von der Logik des zweiten Steuermoduls 203 über einen Digitalausgang 19 eine entsprechende Meldung an die Leitwarte gegeben. In der Logik innerhalb des zweiten Steuermoduls 203 ist festgelegt, dass im vorliegenden Fall der Antriebsmotor 3 abgeschaltet wird, damit das zweite Pumpenmodul keinen Schaden nimmt. Über einen Digitalausgang 221 wird das Motorschütz entsprechend angesteuert, mit der Folge, dass der Antriebsmotor 208 abschaltet

Im Folgenden werden anhand der Fig. 6 bis 8 verschiedene Ausführungsbeispiele von Verdrängerpumpensystemen beschrieben, die jeweils ein Steuermodul aufweisen, wel-

ches als separate Einheit ausgebildet ist, und welches von dem Antriebsmodul beabstandet sowie in einem separaten Gehäuse untergebracht ist. Anhand der Ausführungsbeispiele wird die Funktionsweise der als Steuermodul vorliegenden Steuermittel im Detail erläutert. Diese Funktionsweise der gezeigten Steuermodule kann auch von den in den Fig. 1 bis 5 dargestellten Steuermodulen realisiert sein.

Die anhand der Fig. 1 bis 5 im Zusammenhang mit den dort gezeigten Steuermodulen beschriebenen Funktionen können zusätzlich oder alternativ auch bei den in den Fig. 6 bis 9 gezeigten Steuermodulen realisiert sein.

Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6

In Fig. 6 ist schematisiert der Aufbau eines Verdrängerpumpensystems 1 gezeigt. Dieses umfasst eine in dem gezeigten Ausführungsbeispiel als Ein- oder Mehrspindelpumpe, insbesondere Dreispindelpumpe, ausgebildete Verdrängerpumpe 2. Die Verdrängerpumpe 2 ist wirkverbunden mit einer Motorwelle eines als Elektromotor ausgebildeten Verdrängerpumpenmotors 3, welcher einen Frequenzumrichter 4 umfasst, der in Abhängigkeit einer von einem Regler 6 erzeugten Stellgröße  $Y_s$  oder einer korrigierten Stellgröße  $Y'_s$  oder einer ggf. mehrfach korrigierten Stellgröße  $Y''_s$  die Bestromung der Motorwicklungen des Verdrängerpumpenmotors 3 steuert und/oder regelt. Verdrängerpumpenmotor und Frequenzumrichter bilden ein Antriebsmodul 207.

Zur Generierung der Stellgröße  $Y_s$  oder einer korrigierten Stellgröße  $Y'_s$  umfasst das Verdrängerpumpensystem 1, beispielsweise von einem Mikrokontroller gebildete Steuermittel 5, umfassend einen zuvor erwähnten Regler 6 sowie Logikmittel 7. Die Steuermittel 5 liegen als von dem Antriebsmodul 207 separates Steuermodul 202 mit eigenem Gehäuse vor.

Den Steuermitteln 5 sind vorzugsweise von diesem separate Führungsgrößenvorgabemittel 8 vorgeordnet, beispielsweise eine Prozessleitwarte, die die Steuermittel 5 mit einer Führungsgröße  $W$  versorgen, beispielsweise ein einen Sollvolumenstrom oder einen Solldruck repräsentierendes elektrisches Spannungssignal.

Die Führungsgröße  $W$  sowie ein von außen zugeführter erster Ist-Betriebsparameter  $X$  werden dem Regler 6, genauer einem Differenzbildner 9 des Reglers 6 zugeführt, welcher die Differenz  $X-W$  berechnet. Der eigentliche, beispielsweise als PI- oder PID-Regler ausgeführte Regler 6 bestimmt also auf Basis der Führungsgröße  $W$  und des ersten, hier gemessenen Ist-Betriebsparameters  $X$  eine Stellgröße  $Y_S$ . Diese wird nicht wie im Stand der Technik unmittelbar dem Frequenzumrichter 4 zugeleitet, sondern durchläuft zunächst Logikmittel 7. Diese umfassen in dem gezeigten Ausführungsbeispiel erste Vergleichsmittel 10, die die vom Regler 6 erzeugte Stellgröße  $Y_S$  mit mindestens einem ersten Grenzwert vergleichen, vorzugsweise einen maximalen einzuhalten-  
den ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  und/oder einen minimalen einzuhaltenden Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$ . Anstelle eines unmittelbaren Vergleiches der Stellgröße  $Y_S$  mit dem mindestens einen ersten Grenzwert kann mit Hilfe von nicht dargestellten (fakultativen) Vergleichswertvorgabemitteln auf Basis der Stellgröße  $Y_S$  ein mit der Stellgröße  $Y_S$  in einem funktionalen Zusammenhang stehender Vergleichswert berechnet werden, in dessen Berechnung gemäß einem funktionalen Zusammenhang auch mindestens ein Ist-Betriebsparameter, beispielsweise der erste Ist-Betriebsparameter  $X$  und mindestens ein weiterer, später noch zu erläuternder weiterer Ist-Betriebsparameter einfließen kann. Auch können die Vergleichswertvorgabemittel gemäß einem funktionalen Zusammenhang zur Berechnung des Vergleichswertes mindestens einen Geometrieparameter der Verdrängerpumpe und/oder einen Förderfluidparameter berücksichtigen, der bzw. die dann auch bei der Berücksichtigung des Grenzwertes weitere Berücksichtigung finden müssen. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird dieser zusätzliche Vergleichswertberechnungsschritt jedoch eingespart und es wird unmittelbar die Stellgröße  $Y_S$  mit mindestens einem ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  und/oder  $Y_{\text{Grenzmin}}$  verglichen, wobei der mindestens eine erste Grenzwert einen Verdrängerpumpenschutzgrenzwert darstellt, dessen Über- bzw. Unterschreiten einen Defekt der Verdrängerpumpe zur Folge hat oder haben könnte.

Den Vergleichsmitteln 10 ist eine erste Funktionseinheit 11 zugeordnet, die neben ersten Grenzwertvorgabemitteln 12 erste Korrekturmittel 13 beinhaltet. Die Funktionseinheit 11 berechnet den mindestens einen ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$  der den Vergleichsmitteln 10 neben der vom Regler 6 erzeugten Stellgröße  $Y_S$  zugeführt wird. Die Vergleichsmittel überprüfen nun, ob die Stellgröße  $Y_S$  einen maximalen ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  unterschreitet und/oder ob die Stellgröße  $Y_S$  einen minimalen ersten



Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$  überschreitet. Falls dies der Fall ist, handelt es sich bei der Stellgröße  $Y_S$  um eine zulässige, die Verdrängerpumpe nicht gefährdende Stellgröße, die weiteren nicht dargestellten Vergleichen und Korrekturroutinen zugeführt werden kann oder wie dargestellt unmittelbar als Eingangssignal dem Frequenzumrichter 4 der auf dieser Basis den Verdrängerpumpenmotor 3 ansteuert.

Zur Berechnung des mindestens einen ersten Grenzwertes wird der ersten Funktionseinheit 11 der erste Ist-Betriebsparameter  $X$  zugeführt und ein weiterer gemessener oder berechneter Ist-Betriebsparameter  $Y_H$  und/oder  $X_H$ , wobei es sich bei dem Ist-Betriebsparameter  $Y_H$  in dem gezeigten Ausführungsbeispiel um eine Hilfsstellgröße des Frequenzumrichters handelt, beispielsweise um einen Drehfrequenzsollwert oder einen Drehmomentsollwert des Frequenzumrichters. Hierbei handelt es sich nicht um gemessene Werte, sondern anhand mindestens eines Ist-Parameters, beispielsweise auf Basis einer aktuellen Steuermessung vom Frequenzumrichter berechnete, insbesondere simulierte Werte. Bei dem weiteren Ist-Betriebsparameter  $X_H$  handelt es sich in dem gezeigten Ausführungsbeispiel um eine Hilfsregelgröße, beispielsweise einen Motor- und/oder Verdrängerpumpendrehzahl oder ein Drehmoment, die bevorzugt unmittelbar am Motor 3 gemessen werden. In jedem Fall wird also von den ersten Grenzwertvorgabemitteln 12 zur Berechnung des mindestens einen Pumpenschutz-Grenzwertes ein Betriebsparameter, also beispielsweise der erste Ist-Betriebsparameter, hier der Istwert der Regelgröße aus der Prozessregelstrecke 14 berücksichtigt und mindestens ein weiterer Ist-Betriebsparameter  $Y_H$ ,  $X_H$  oder eine, bevorzugt gemessene Hauptstellgröße  $Y_{HH}$  für die Prozessregelgröße  $X$ , beispielsweise ein Druck oder ein Volumenstrom.

Für den Fall, dass von den Vergleichsmitteln ein Überschreiten des maximalen ersten Grenzwertes  $Y_{\text{Grenzmax}}$  und/oder ein Unterschreiten des minimalen ersten Grenzwertes  $Y_{\text{Grenzmin}}$  festgestellt wird, wird dies an die erste Funktionseinheit 11 gemeldet, deren erste Korrekturmittel 13 dann eine korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  ermitteln unter Berücksichtigung des ersten Ist-Betriebsparameters  $X$  und eines der vorgenannten weiteren Ist-Betriebsparameter  $Y_H$ ,  $X_H$ ,  $Y_{HH}$ . Diese korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  kann dann, wie dargestellt den Vergleichsmitteln als Eingangsgröße zum Vergleichen mit einem ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  und/oder  $Y_{\text{Grenzmin}}$  zugeleitet werden oder unter Umgehung der

Vergleichsmittel (nicht dargestellt) einem weiteren Vergleichs- und Korrekturprozedere oder unmittelbar dem Frequenzumrichter 4 als Eingangssignal.

5 Aus einem, bevorzugt nicht flüchtigen Speicher 19 können den ersten Grenzwertvorgabemitteln 12 und/oder den ersten Korrekturmitteln 13 für die den Steuermitteln 5 zugeordnete Verdrängerpumpe spezifische Geometrieparameter GP und/oder für das Förderfluid spezifische Förderfluidparameter FP, wie beispielsweise des Scherverhalten des Förderfluids, zugeleitet werden, die im Rahmen eines funktionellen Zusammenhangs Eingang finden in die Berechnung der ersten Grenzwerte  $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ,  
10 und/oder der korrigierten Stellgröße  $Y'_S$ .

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der korrigierten Stellgröße  $Y'_S$  um den maximal oder minimal zulässigen ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ , um der vom Regler erzeugten Stellgröße  $Y_S$  möglichst nahezukommen. Insofern beinhalten die  
15 ersten Grenzwertvorgabemittel 12 und die ersten Korrekturmittel 13 einen gemeinsamen Rechner (Rechnermittel), da die korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  in dem gezeigten Ausführungsbeispiel einen ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$  entspricht. Die vom Regler erzeugte Stellgröße  $Y_S$  wird mit der korrigierten Stellgröße  $Y'_S$  überschrieben.

20 Insbesondere dann, wenn die korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  nicht dem ersten Grenzwert entsprechen soll, können die ersten Korrekturmittel 13 und die ersten Grenzwertvorgabemittel 12 vollständig separat, d.h. mit eigenen Rechenmitteln, d.h. in voneinander getrennten Funktionseinheiten realisiert werden. Dies ist selbstverständlich auch für den davor dargelegten Fall möglich, dass die korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  einen ersten Grenzwert  
25 entsprechen soll, wobei in diesem Fall, wie in Fig. 1 gezeigt Grenzwertvorgabemittel 12 und Korrekturmittel 13 miteinander verschmelzen, also eine gemeinsame Rechenroutine aufweisen.

Im Folgenden wird das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 anhand von beispielhaften,  
30 nicht beschränkenden konkreten Ausführungsvarianten beschrieben.

### Erstes Beispiel

Der erste Ist-Betriebsparameter X entspricht der Ist-Regelgröße, in dem gezeigten Ausführungsbeispiel ein Druck, gemessen in bar. Es wird angenommen, dass die Führungsgröße X ein Druck ist und zunächst 20 bar beträgt. Ebenso wird der Ist-Betriebsparameter X als 20 bar gemessen.

5

Nun erfolgt eine Führungsgrößenänderung. Die Führungsgröße X ändert sich beispielsweise durch eine entsprechende Vorgabe von 20 bar auf 10 bar. Hieraus resultiert eine Regelabweichung  $W-X = 10$  bar.

- 10 Der Regler 6 ermittelt eine neue Stellgröße  $Y_S$ , in diesem Fall einen drehzahlproportionalen Spannungswert, der deutlich kleiner ist, als bei einem vorhergehenden Durchlauf bzw. bei einer vorhergehenden Berechnung. Die ersten Grenzwertvorgabemittel 12 berechnen einen minimal zulässigen Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$ . Dieser repräsentiert in dem gezeigten Ausführungsbeispiel eine minimal zulässige Drehzahl. Das Einhalten einer minimal zulässigen Drehzahl ist wünschenswert, um die Gefahr eines Schmiermittelabris-
- 15 ses bei einem Unterschreiten dieser minimal zulässigen Drehzahl zu vermeiden.

Die minimal zulässige Drehzahl, d.h. der minimal zulässige Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$  wird berechnet anhand des folgenden funktionalen Zusammenhangs:

20 
$$Y_{\text{Grenzmin}} = n_{\text{zulässig}} = \left( \frac{X}{k * b * c * v^a} \right)^2$$

In dem funktionalen Zusammenhang entspricht  $Y_{\text{Grenzmax}}$  dem minimal zulässigen Grenzwert. Hierbei handelt es sich um eine minimal zulässige Drehzahl ( $n_{\text{zulässig}}$ ).

- 25 Der erste Ist-Betriebsparameter X ist in dem Fall die gemessene Regelgröße, hier der neue Ist-Druck von 10 bar. Bei dem Faktor  $\cdot^a$  handelt es sich um einen weiteren Betriebsparameter, nämlich um ein Maß für die, insbesondere über eine Temperaturmessung des Förderfluids bestimmte, Betriebsviskosität des Förderfluids bzw. für die Einflussituation der Viskosität auf den maximal zulässigen Druck. Dieser Wert beträgt in
- 30 dem gezeigten Ausführungsbeispiel  $10^{0,32}$  für das bestimmte Medium. Bei der Konstante k handelt es sich um den Korrekturwert für die Schmierfähigkeit des Mediums, dieser beträgt beispielhaft 0,75 für das bestimmte Medium.

Bei der Konstante  $b$  handelt es sich um einen Korrekturwert für die Tribobelastungsfähigkeit des Pumpenlaufgehäuses. Dieser beträgt in dem gezeigten Ausführungsbeispiel 1. Bei dem pumpenspezifischen Kennwert  $c$  handelt es sich um einen Kennwert für den radial belasteten Rotordurchmesser. Dieser beträgt beispielsweise in dem gezeigten Ausführungsbeispiel 0,55.

Der minimal zulässige Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$  wird den ersten Vergleichsmitteln 10 zugeführt, welche die vom Regler 6 ermittelte Stellgröße  $Y_S$  mit diesem vergleichen. In Abhängigkeit des Vergleichs wird entweder die vom Regler ermittelte Stellgröße  $Y_S$  an den Frequenzumrichter übermittelt oder es wird von den ersten Korrekturmitteln eine korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  ermittelt, welche bevorzugt den zuvor berechneten (oder einem neu berechneten) minimal zulässigen Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$  entspricht.

## 15 Zweites Beispiel

Der erste Ist-Betriebsparameter  $X$  entspricht der Ist-Regelgröße, hier einem Druck. Gemessen wird ein Ist-Druck von 20 bar. Aufgrund einer entsprechenden Vorgabe ändert sich der Sollwert der Regelgröße, d.h. die Führungsgröße  $W$  von 20 auf 30 bar. Gleichzeitig findet eine Änderung der Störgröße statt. Es wird angenommen, dass sich der Strömungswiderstand erhöht, in Folge einer kleineren Durchströmfläche, d.h. eines kleineren Durchströmdurchmessers, beispielsweise in Folge eines Werkzeugwechsels.

Dies führt in der Praxis dazu, dass die Ist-Betriebsgröße  $X$ , d.h. der Ist-Druck die Führungsgröße  $W$  deutlich überschreiten wird, bzw. würde, da zunächst noch mit unveränderter Drehzahl gefördert wird und sich aber zwischenzeitlich der Strömungswiderstand aufgrund des Werkzeugwechsels deutlich erhöht hat.

Die daraus entstehende Regelabweichung am Differenzbildnerausgang führt dann zu einer signifikanten Zurücknahme, d.h. Reduzierung der Stellgröße  $Y_S$ . Für den Fall, dass diese unkorrigiert an den Frequenzumrichter 4 als Sollvorgabe übermittelt würde, würde dies zu einer Gefährdung der Pumpe hinsichtlich des zulässigen Drucks bei verringerter niedriger Drehzahl resultieren. Um dies zu verhindern, wird die vorgenannte Stellgröße  $Y_S$  mit dem zu berechnenden minimalen Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$  (erster Grenz-

wert) verglichen, welcher die minimal zulässige Drehzahl repräsentiert. Die Berechnung erfolgt anhand des im ersten Ausführungsbeispiel angegebenen funktionalen Zusammenhangs. Da die Stellgröße  $Y_S$  den minimal zulässigen Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$ , d.h. die minimal zulässige Drehzahl unterschreitet, wird von den ersten Korrekturmitteln 13 eine

5 korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  ausgegeben, die an Stelle der Stellgröße  $Y_S$  an den Frequenzumrichter übermittelt wird.

Bevorzugt entspricht die korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  dem berechneten minimal zulässigen Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$ .

10

### Drittes Beispiel

Die Führungsgröße  $W$  ist ein Volumenstrom gemessen in l/min. Der erste Ist-

15 Betriebsparameter  $X$  ist ein gemessener Volumenstrom. Es wird angenommen, dass sich während des Betriebs die Volumenstromanforderung vergrößert. In dem gezeigten Beispiel soll sich die Führungsgröße verdoppeln und zwar von 1500 l/min auf 3000 l/min. Aus der hieraus resultierenden Regelabweichung  $W-X$  bestimmt der Regler 6 eine Stellgröße  $Y_S$ , hier eine Drehzahl. Diese Stellgröße  $Y_S$ , d.h. die vom Regler 6 vorge-

20 gebene Drehzahl wird von den Vergleichsmitteln 10 verglichen mit einer maximal zulässigen Drehzahl, d.h. einem ersten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$ . Diese maximal zulässige Drehzahl wird bestimmt auf Basis des  $\text{NPSH}_{\text{verfügbar}}$ , d.h. auf Basis des vorhandenen NPSH bzw. der Haltedruckhöhe der Anlage. Diese beträgt in dem gezeigten Ausführungsbeispiel 8 mWs (Meter Wassersäule). Auf Basis des  $\text{NPSH}_{\text{verfügbar}}$  und einem weiteren,

25 gemessenen Ist-Betriebsparameter, hier der Viskosität des Mediums, wird  $Y_{\text{Grenzmax}}$ , d.h. die maximal zulässige Drehzahl bestimmt. Dies erfolgt beispielhaft anhand des in Fig. 4 wiedergegebenen Diagramms oder alternativ über in einem nicht flüchtigen Speicher abgelegte Polynome, die auf der folgenden Berechnungsgrundlage basieren:

$$30 \quad \text{NPSH} = f(\text{Pumpen-Baugröße } (d_a), \text{Spindelsteigungswinkel, Viskosität } \nu, \text{Drehzahl } n)$$

wobei von der Pumpen-Baugröße über den Spindeldurchmesser  $d_a$  und dem Spindelsteigungswinkel auf die für eine bestimmte Baugröße und bestimmten Steigungswinkel gültige Axialgeschwindigkeit des Mediums innerhalb der Pumpe geschlossen werden kann, so dass vereinfacht folgender Zusammenhang besteht:

$$NPSH = f(v_{ax\ BG\ Stgg}, \text{Viskosität } \nu, \text{Drehzahl } n)$$

Folglich ist

$$5 \quad v_{ax\ zul\ BG\ NPSH} = f(\nu, n)$$

so dass über den Zusammenhang

$$10 \quad v_{ax} = S * n \quad \text{bzw.} \quad n = \frac{v_{ax}}{S}$$

schließlich der Zusammenhang

$$Y_{Grenz\ max} = n_{zul\ BG\ NPSH} = \frac{v_{ax\ zul\ BG\ NPSH}}{S}$$

15 hergestellt werden kann.

Es kann also für eine Pumpe mit einer bestimmten Pumpenbaugröße, mit einem bestimmten Spindelsteigungswinkel und einem bestimmten NPSH-Wert eine zulässige Pumpendrehzahl  $n_{zul\ BG\ NPSH}$  berechnet werden.

20 Bei dem Diagramm gemäß Fig. 4 ist auf der linken Hochachse der NPSH in Metern Wassersäule (mWs) angegeben. Auf der rechten Hochachse ist die Drehzahl in Umdrehungen pro Minute angegeben. Auf der Horizontalachse ist die Axialgeschwindigkeit des Fluids in m/s angegeben. Das Diagramm bezieht sich auf eine beispielhafte Pumpe mit einer Baugröße 20 und einem Steigungswinkel der Spindel von 56°. Die linear ansteigende Linie charakterisiert die Axialgeschwindigkeit  $v_{ax}$  des Mediums (Förderfluids) in Abhängigkeit der Drehzahl.

30 Zur Bestimmung des ersten Grenzwertes  $Y_{Grenz\ max}$ , d.h. der maximal zulässigen Drehzahl muss in dem Diagramm ausgehend von einem NPSH von 8 mWs nach rechts vorgefahren werden, bis zu der für die gemessene Viskosität von 500 mm<sup>2</sup>/s charakteristi-

sche Kurve. Am Schnittpunkt mit dieser Kurve muss im Schaubild nach oben verfahren werden bis zu der linearen Linie. Im Schnittpunkt mit dieser Linie kann dann auf der rechten Hochachse die maximal zulässige Drehzahl d.h. der erste Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  abgelesen werden. Dieser beträgt für die gemessene Viskosität, d.h. den weiteren Ist-Betriebsparameter, etwa 3800 Umdrehungen/min.

Wie eingangs erwähnt, verdoppelt sich die Führungsgröße, d.h. der geforderte Volumenstrom, was aufgrund des linearen Zusammenhangs einer Stellgrößenänderung von den angenommenen 1500 1/min auf 3000 1/min beträgt. Da diese Stellgröße  $Y_S$  von 3000 1/min kleiner ist als der erste Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  von etwa 3800 1/min kann die Stellgröße  $Y_S$  an den Frequenzumrichter 4 als Eingangsgröße übermittelt werden.

Würde sich die Führungsgröße nicht nur verdoppeln, sondern beispielsweise verdreifachen, würde hieraus eine Stellgröße von 4500 1/Minute resultieren, welche größer wäre als der erste Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$ , so dass die Korrekturmittel 13 die vom Regler 6 vorgegebene Stellgröße  $Y_S$  durch eine korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  überschreiben würden, welche beispielsweise dem ersten Grenzwert, d.h. in dem vorliegenden Beispiel 3800 1/min entspricht.

Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7 unterscheidet sich von dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 lediglich darin, dass die vom Regler 6 erzeugte Stellgröße  $Y_S$  nicht mit mindestens einem ersten, den Verdrängerpumpenschutz sicherstellenden bzw. repräsentierenden Grenzwert verglichen wird, sondern mit mindestens einem zweiten, die Förderfluidqualität sicherstellenden Grenzwert. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel handelt es sich um einen zweiten Grenzwert. Auch bei Fig. 7 liegen die Steuermittel als von dem Antriebsmodul separates Steuermodul vor.

Der mindestens eine zweite Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$  stellt die Einhaltung der Förderfluidqualität sicher. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird von zweiten Grenzwertvorgabemitteln 15 ausschließlich ein einziger, maximaler zweiter Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax}}$  bereitgestellt, wobei alternativ auf mehrere zweite Grenzwerte, z.B. zusätzlich ein

minimaler Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$ , die die Förderfluidqualität sicherstellen berechnet werden können.

Jedenfalls vergleichen zweite Vergleichsmittel 16, ob die vom Regler 6 erzeugte Stellgröße  $Y_S$  oder eine bereits in einem vorhergehenden, hier nicht umfassten weiteren Korrekturprozedere korrigierte Stellgröße den zweiten Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmin}}$  um ein bestimmtes Maß überschreitet. Ist die Stellgröße  $Y_S$  kleiner als der oder gleich dem maximalen Grenzwert wird die vom Regler 6 erzeugte bzw. die den Vergleichsmitteln 16 zugeführte Stellgröße  $Y_S$  dem Frequenzumrichter 4 als Eingangsgröße bereitgestellt (berechnet).

Ansonsten wird mit Hilfe von neben den zweiten Grenzwertvorgabemitteln 15 in einer zweiten Funktionseinheit 17 umfassten zweiten Korrekturmitteln 18 eine korrigierte Stellgröße  $Y'_S$  bereitgestellt, mit der die Stellgröße  $Y_S$  überschrieben wird. Zur Berechnung des mindestens einen zweiten Grenzwertes  $Y_{\text{Grenzmin}}$  berücksichtigen die zweiten Grenzwertvorgabemittel 15 anhand eines funktionalen Zusammenhangs den ersten Ist-Betriebsparameter  $X$  und mindestens eines weiteren (anderen) Ist-Betriebsparameter, beispielsweise eine Hilfsstellgröße  $Y_H$ , eine Hilfsregelgröße  $X_H$  und/oder eine Hautstellgröße  $Y_{HH}$ . Auch ist es realisierbar, dass bei der Berechnung zusätzlich Geometrieparameter  $GP$  der Verdrängerpumpe und/oder Förderfluidparameter  $FP$ , sowie die Vibration Berücksichtigung finden.

#### Viertes Beispiel

Das vierte Beispiel betrifft den Schutz des Mediums, d. h. der zweite Grenzwert wird so bestimmt, dass aus der Stellgröße keine negative Beeinträchtigung eines Qualitätsparameters des mit der Verdrängerpumpe geförderten Förderfluids (Fördermediums) resultiert.

In dem konkreten Beispiel soll sichergestellt werden, dass das Fördermedium nicht unzulässig geschert wird. In die Berechnung des zweiten Grenzwertes geht daher die maximal zulässige Scherrate des Mediums ein. Es soll wieder eine Drehzahlregelung realisiert werden, so dass der zweite Grenzwert einer maximal zulässigen Drehzahl ent-



spricht. Dies bedeutet, dass der erste Betriebsparameter X ein Volumenstrom der Prozessstrecke ist. Neben der mediumspezifischen Grenze der maximal zulässigen Scher-  
rate gehen in die Bestimmung des zweiten Grenzwertes Funktionsgegebenheiten der  
Pumpe ein, d.h. es finden Geschwindigkeitsverhältnisse Berücksichtigung, nämlich der  
5 Winkelgeschwindigkeitsunterschied der rotierenden Verdränger-Rotoren (Spindeln) ge-  
genüber dem stillstehenden Pumpengehäuse. Die Geschwindigkeitsverhältnisse in den  
Spalten sind direkt proportional abhängig von der Pumpendrehzahl und es besteht ein  
umgekehrt direkt proportionaler Zusammenhang zu der Größe des Funktionsspalt, d.h. zu dem jeweils aktuellen linearen Schergefälle. Dieser Funktionsspalt ist zum Einen  
10 abhängig von pumpenspezifischen Verhältnissen, nämlich von dem vorliegenden Ist-  
Radialspalt, d.h. von dem festgelegten Pumpenrotor-Radialspiel und zudem von aktu-  
ellen Betriebsverhältnissen, nämlich der jeweils aktuellen Druckbelastung des Förderflu-  
ids, sowie der jeweils aktuellen Viskosität des Förderfluids. Letztgenannte beiden weite-  
ren Ist-Betriebsparameter werden gemessen und finden bei der Berechnung des zwei-  
15 ten Grenzwertes  $Y_{\text{Grenzmax}}$ , d.h. bei der Berechnung der maximal zulässigen Drehzahl  
Berücksichtigung.

So wird beispielsweise ein Förderfluid mit einer dynamischen Viskosität  $\eta$  von 5 Pas  
gefördert. Dies entspricht einer kinematischen Viskosität  $\nu$  von  $5000 \text{ mm}^2/\text{s}$ , wobei sich  
20 bei einer angenommenen Dichte  $\rho$  von  $1000 \text{ kg/m}^3$  unter Einhaltung einer maximal zu-  
lässigen Schubspannung  $\tau$  von  $100000 \text{ N/m}^2$  ein maximal zulässiges Schergefälle  $D_{\text{zul}}$   
von  $20000 \text{ 1/sec}$  für das Förderfluid in einer bestimmten Pumpe ergibt. Diese ist charak-  
terisiert durch einen Rotordurchmesser von  $D_a=70\text{mm}$  und durch einen differenzdruck-  
abhängigen Radialspalt  $S = h_0$ , der bei  $\Delta p = 5 \text{ bar}$  einen Wert von  $0,021 \text{ mm}$  ergibt.  
25 Hieraus ergibt sich eine maximal zulässige Drehzahl, d.h. ein zweiter Grenzwert  $Y_{\text{Grenz-}}$   
 $\text{max}$  von  $191 \text{ 1/min}$ . Solange die von dem Regler 6 vorgegebene Stellgröße  $Y_S$  unterhalb  
des vorgenannten Wertes liegt, kann die Stellgröße  $Y_S$  unmittelbar an den Frequenzum-  
richter 4 weitergegeben werden – ansonsten wird die Stellgröße  $Y_S$  durch eine von  
zweiten Korrekturmitteln 18 korrigierte bzw. begrenzte Stellgröße  $Y''_S$  überschrieben.

Das oben beschriebene Beispiel basiert dabei auf den folgenden Berechnungsgrundlagen:

5 Aus

z.B.  $\tau_{zul} = D * \eta$  und  $\eta = \nu * \rho$  für newtonsche Flüssigkeiten

folgt

10

$$D_{zul} = \frac{\tau_{zul}}{\nu * \rho}$$

Des Weiteren gilt

15

$$n_{zul} = \frac{W_{zul}}{D_a * \pi * 60}$$

Mit Einsetzen in

20

$$W_{zul} = D_{zul} * S \quad \text{bzw. in} \quad D_{zul} = \frac{\Delta W_{zul}}{S}$$

kann unter Zusammenfassung aller vorkommenden Konstanten zu k die maximal zulässige Drehzahl berechnet werden:

25

$$D_{zul} = \frac{D_a * \pi * n}{k * S} \quad \longrightarrow \quad n_{zul} = \frac{D_{zul} * k * S}{D_a * \pi}$$

Die maximal zulässige Drehzahl entspricht daher dem Grenzwert  $Y_{\text{Grenzmax.}}$

30

Für den Fall, dass das zu fördernde Förderfluid (Medium) kein newtonsches Verhalten aufweist, müssten beispielsweise für strukturviskose Förderfluide zunächst die Reynoldszahlen im Pumpenfunktionsspal, das Schergefälle und die dadurch sich ergebenden

den repräsentativen Viskositäten gemäß bekannter physikalischer Zusammenhänge berechnet werden. Hierdurch können in gleicher Weise wie im Fall newtonischer Förderfluide die zulässigen Verhältnisse für diese Fluide überwacht und eingehalten werden.

5

Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 vereint die Ausführungsbeispiele gemäß den Fig. 6 und Fig. 7, d.h. die Steuermittel 5 sind derart ausgebildet, dass die von dem Regler 6 ausgegebene Stellgröße  $Y_S$  sowohl mit mindestens einem ersten Grenzwert (Pumpenschutzgrenzwert) als auch mit mindestens einem zweiten Grenzwert (Mediumschutzgrenzwert) verglichen werden kann. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 wird die vom Regler 6 erzeugte Stellgröße  $Y_S$  zunächst mit einem ersten und daraufhin mit einem zweiten Grenzwert verglichen, wobei auch die umgekehrte Anordnung selbstverständlich realisierbar ist, d.h., dass zunächst mit einem zweiten und dann mit einem ersten Grenzwert verglichen wird.

Es ist für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 charakteristisch, dass der Ausgangswert des ersten Vergleiches die Eingangsgröße für den zweiten Vergleich bildet, wobei es sich bei der Ausgangsgröße des ersten Vergleiches um die nicht korrigierte Stellgröße  $Y_S$  handeln kann, wenn nämlich bei dem ersten Vergleich keine Grenzwert Über- oder Unterschreitung vorliegt und  $Y_S$  somit nicht korrigiert wird oder alternativ um eine von den ersten Vergleichsmitteln 10 korrigierte Stellgröße  $Y'_S$ .

25

$Y_S$  oder  $Y'_S$  sind dann die Eingangsgrößen für die zweiten Vergleichsmittel 16. Erfolgt hier keine Korrektur wird der Eingangswert für den zweiten Vergleich  $Y_S$  oder  $Y'_S$  an den Frequenzumrichter 4 geleitet oder im Falle einer Korrektur die korrigierte Stellgröße  $Y''_S$ .

30

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind erste und zweite Entscheidungsmittel 20, 21 vorgesehen, in denen bestimmt wird, ob ein Pumpenschutzvergleich bzw. ein Mediumschutzvergleich durchgeführt werden soll. Die jeweilige Entscheidung kann beispielsweise softwaremäßig vorgegeben werden, so dass der Benutzer alternativ nur ein

Pumpenschutzvergleich oder einen Mediumschutzvergleich realisieren kann, oder beide Vergleichsoperationen.

## 5 Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 10

Dieses Ausführungsbeispiel stellt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel zur Realisierung des Pumpenschutzes dar. Die Stellgröße ist ein Drehzahlsignal für die Pumpe, wobei die Pumpendrehzahl im Diagramm auf der linken Hochachse aufgetragen ist. Als erster Ist-Betriebsparameter fließt der Förderdruck, gemessen am Druckstutzen der Pumpe in die Berechnung des ersten Grenzwertes ein, wobei der Förderfluiddruck auf der rechten Hochachse aufgetragen ist. Die Förderfluidviskosität (Mediumviskosität) fließt als weiterer Ist-Betriebsparameter in die Berechnung des ersten Grenzwertes ein, wobei die Mediumviskosität auf der waagerechten unteren Achse aufgetragen ist. Als Führungsgrößen kommen hier alternativ der Förderfluidvolumenstrom bzw. die Pumpendrehzahl oder der Förderfluiddruck in Betracht. Im konkreten Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass der Förderfluiddruck die Führungsgröße darstellt.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass die Förderfluidviskosität (Mediumviskosität) wegen eines entsprechenden Mediumswechsel von 12mm<sup>2</sup>/s auf 9 mm<sup>2</sup>/s, auf 6 mm<sup>2</sup>/s, auf 4 mm<sup>2</sup>/s und dann (stufenweise) bis auf 2mm<sup>2</sup>/s absinkt. Der Förderfluidvolumenstrom darf schwanken. Die Führungsgröße, d.h. der Prozessdruck (Förderfluiddruck) soll anfänglich auf 10bar gehalten werden, danach auf 20bar, usw., also stufenweise um jeweils 10bar bis auf maximal 50bar steigen.. Anders ausgedrückt verändert sich die Führungsgröße stufenweise von anfänglich 10bar auf 50bar. Der Regler gibt in Abhängigkeit der Führungsgröße (W) eine Stellgröße (Y<sub>S</sub>) aus. Die ersten Grenzwertvorgabemittel berechnen einen ersten Grenzwert, im vorliegenden Fall eine Mindestdrehzahl  $Y_{\text{Grenzmin}}$  in Abhängigkeit des ersten Ist-Betriebsparameters, hier des Förderfluiddrucks und des weiteren Ist-Betriebsparameters, hier der Mediumviskosität, wobei im konkreten Ausführungsbeispiel die Mediumviskosität mittelbar bestimmt wird über die Förderfluidtemperatur. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel hätte ein Unterschreiten des ersten Grenzwertes, also der Mindestdrehzahl einen Defektzustand der Verdrängerpumpe zur Folge. Die Vergleichsmittel vergleichen in dem konkreten Ausführungsbeispiel die vom Regler vorgegebene Stellgröße, d.h. ein Drehzahlsignal

- mit dem von den ersten Grenzwertvorgabemitteln berechneten ersten Grenzwert. Liegt die Stellgröße in dem gezeigten Ausführungsbeispiel oberhalb dieses ersten Grenzwertes, wird die Stellgröße an den Frequenzumrichter als Eingangssignal weitergegeben. Unterschreitet die Stellgröße den ersten Grenzwert wird im dem gezeigten Ausführungsbeispiel eine korrigierte Stellgröße als Eingangssignal ermittelt bzw. bestimmt und an den Frequenzumrichter weitergegeben, wobei als korrigierte Stellgröße in dem gezeigten Ausführungsbeispiel von den ersten Korrekturmitteln der von den Grenzwertvorgabemitteln ermittelte erste Grenzwert weitergegeben wird.
- 5

## Bezugszeichenliste

	1	Verdrängerpumpensystem
	2	Verdrängerpumpe bzw. Verdrängerpumpenmodul
5	3	Verdrängerpumpenmotor
	4	Frequenzumrichter
	5	Steuermittel
	6	Regler
	7	Logikmittel
10	8	Führungsgrößenvorgabemittel, insbesondere Leitwarte
	9	Differenzbilder des Reglers
	10	erste Vergleichsmittel
	11	erste Funktionseinheit
	12	erste Grenzwertvorgabemittel
15	13	erste Korrekturmittel
	14	Prozessregelstrecke
	15	zweite Grenzwertvorgabemittel
	16	zweite Vergleichsmittel
	17	zweite Funktionseinheit
20	18	zweite Korrekturmittel
	19	Speicher
	20	erste Entscheidungsmittel
	21	zweite Entscheidungsmittel
25	202	erstes Steuermodul
	203	zweites Steuermodul
	204	erstes Signalisierungsmittel
	205	Bildschirm
	206	LED-Ampel
30	207	Antriebsmodul
	210	Kupplung
	211	erstes Pumpenmodul
	212	erstes Sensormodul
35	213	Bussystem

- 214    Analogeingänge
- 216    Analogverbindung
- 217    Analogausgang
- 5    218    Digitaleingänge
- 219    Digitalausgänge
- 220    zweite Digitalausgänge
- 221    zweite Digitaleingänge
- 222    zweite Analogeingänge
- 10    223    zweite Analogausgänge
- 224    zweites Antriebsmodul, Sensormodul
- 225    zweite Kupplung
- 226    zweites Pumpenmodul
- 227    zweites Sensormodul
- 15    228    Digitalverbindung
- 229    Computer
- 230    Eingabemittel
- 231    grüne LED
- 232    gelbe LED
- 20    233    Drucksensormodul
- 234    Digitalverbindung bzw. Analogverbindung
- 235    rote LED
- 236    rote LED
- 25     $Y_S$     Stellgröße
- $Y_S'$     korrigierte Stellgröße
- $Y_S''$     korrigierte Stellgröße
- $X$     erster Ist-Betriebsparameter (bevorzugt Ist-Regelgröße)
- $Y_{HH}$     weiterer Ist-Betriebsparameter (Hauptstellgröße)
- 30     $Y_H$     weiterer Ist-Betriebsparameter (Hilfsstellgröße)
- $X_H$     weiterer Ist-Betriebsparameter (Hilfsregelgröße)
- $W$     Führungsgröße
- $GP$     Geometrieparameter der Verdrängerpumpe
- $FP$     Förderfluidparameter

Ansprüche

5 1. Verdrängerpumpen-System, aufweisend:

- ein Verdrängerpumpenmodul (2; 211; 226), bevorzugt eine Schraubenspindel-  
pumpe, und
- 10 • ein separat von dem Verdrängerpumpenmodul (2; 211; 226) austauschbares  
Antriebsmodul (207) mit einem elektrischen Antriebsmotor (3) und einem die-  
sem zugeordneten Frequenzumrichter (4) zum Regeln oder Stellen einer An-  
triebsmotordrehzahl, und
- 15 • Steuermittel (5) mit einem Regler (6) zum Erzeugen einer Stellgröße ( $Y_s$ ) für  
den Frequenzumrichter (4) in Abhängigkeit einer Führungsgröße ( $W$ ) und ei-  
nes ersten Ist-Betriebsparamters ( $X$ ), und mit dem Regler (6) zugeordneten  
Logikmitteln (7)
- Führungsgrößenvorgabemittel (8) zum Bereitstellen der Führungsgröße ( $W$ )  
für die Steuermittel (5),

20 dadurch gekennzeichnet,

- dass die Steuermittel (5) in einem von dem Antriebsmodul (207) separaten  
Steuermodul (202, 203) vorgesehen sind, und
- 25 • dass das Antriebsmodul (207) separat von dem Steuermodul (202, 2033)  
austauschbar ist, und
- dass das Antriebsmodul (207) keinen zum Erzeugen der Stellgröße ( $Y_s$ ) aus-  
gebildeten und/oder angesteuerten Regler aufweist.



2. System nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,

dass die Logikmittel (7) erste Grenzwertvorgabemittel (12) aufweisen, die ausgebildet sind, um mindestens einen ersten Grenzwert ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) in Abhängigkeit des ersten Ist-Betriebsparameters (X), insbesondere des Förderfluiddrucks, und mindestens eines weiteren Ist-Betriebsparameters ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ) zu ermitteln, dessen Über- bzw. Unterschreiten einen Defektzustand der Verdrängerpumpe (2) zur Folge haben könnte, und

die erste Vergleichsmittel (10) aufweisen, die ausgebildet sind, die Stellgröße ( $Y_S$ ) oder eine korrigierte Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ) oder einen gemäß einem funktionalen Zusammenhang aus der Stellgröße ( $Y_S$ ) oder der korrigierten Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ) ermittelten Vergleichswert mit dem mindestens einen Grenzwert ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) zu vergleichen, und

die erste Korrekturmittel (13) aufweisen, die ausgebildet sind, um für den Fall, dass die ersten Vergleichsmittel (10) ein Über- bzw. Unterschreiten des mindestens einen ersten Grenzwertes ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) um ein bestimmtes Maß feststellen eine korrigierte Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ) auszugeben, die vorzugsweise einem von den Grenzwertvorgabemitteln (12) ermittelten Grenzwert ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) entspricht,

und/oder

dass die Logikmittel (7) die zweite Grenzwertvorgabemittel (15) aufweisen, die ausgebildet sind, um mindestens einen zweiten Grenzwert ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) in Abhängigkeit des ersten Ist-Betriebsparameters (X) und mindestens eines weiteren Ist-Betriebsparameters ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ), insbesondere der Förderfluidviskosität, zu ermitteln, dessen Über- bzw. Unterschreiten eine negative Beeinträchtigung eines Qualitätsparameters des mit der Verdrängerpumpe (2) geförderten Förderfluids zur Folge haben könnte, und

die zweite Vergleichsmittel (16) aufweisen, die ausgebildet sind, die Stellgröße ( $Y_S$ ) oder eine korrigierte Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ) oder einen gemäß einem funktionalen Zusammenhang aus der Stellgröße ( $Y_S$ ) oder der korrigierten Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ) ermittelten Vergleichswert mit dem mindestens einen zweiten Grenzwert ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) zu vergleichen, und

die zweite Korrekturmittel (18) aufweist, die ausgebildet sind, um für den Fall, dass die zweiten Vergleichsmittel (16) ein Über- bzw. Unterschreiten des mindestens einen zweiten Grenzwertes ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) um ein bestimmtes Maß feststellen, eine korrigierte Stellgröße ( $Y'_s$ ,  $Y''_s$ ) auszugeben, die vorzugsweise einem von den zweiten Grenzwertvorgabemitteln (15) ermittelten Grenzwert ( $Y_{\text{Grenzmax}}$ ,  $Y_{\text{Grenzmin}}$ ) entspricht.

3. System nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,

dass der erste Ist-Betriebsparameter eine gemessene Ist-Regelgröße (X), insbesondere ein Ist-Druck, eine Ist-Druckdifferenz oder ein Ist-Volumenstrom des Förderfluids ist.

4. System nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet,

dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter eine gemessene Ist-Regelgröße (X), insbesondere ein Ist-Druck, eine Ist-Druckdifferenz oder ein Ist-Volumenstrom des Förderfluids ist, und/oder dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter eine gemessene oder auf Basis Ist-Wertes berechnete Hilfsstellgröße ( $Y_H$ ), insbesondere ein Drehfrequenzsollwert des Frequenzumrichters (4) oder ein Drehmomentsollwert des Frequenzumrichters (4) ist, und/oder dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter eine gemessene oder auf Basis eines Ist-Wertes berechnete Hilfsregelgröße ( $X_H$ ), insbesondere eine Drehzahl des Verdrängerpumpenmotors (3) oder ein Drehmoment des Verdrängerpumpenmotors (3) ist und/oder dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter eine gemessene Temperatur, insbesondere eine Förderfluidtemperatur oder einer Lagertemperatur der Verdrängerpumpe (2) ist und/oder dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter ein gemessener Vibrationswert ist und/oder dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter eine gemessene oder berechnete Förderfluidviskosität ist und/oder dass der mindestens eine weitere Ist-Betriebsparameter eine gemessene Leckagerate ist.

5. System nach einem der Ansprüche 2 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Logikmittel (7) mindestens ein Vergleichswertbestimmungsmittel umfas-  
sen, das ausgebildet ist, um auf Basis eines funktionalen Zusammenhangs aus  
der Stellgröße ( $Y_S$ ) oder aus der korrigierten Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ), und/oder aus  
dem ersten und dem mindestens einen weiteren Ist-Betriebsparameter ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  
 $Y_{HH}$ ) den Vergleichswert zu bestimmen
6. System nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Vergleichswertbestimmungsmittel derart ausgebildet sind, dass diese  
zur Bestimmung des Vergleichswertes im Rahmen des funktionellen Zusammen-  
hangs mindestens einen, in einem Speicher (19) abgelegten, für die den Steu-  
ermitteln (5) zugeordnete Verdrängerpumpe (2) spezifischen Geometrieparamete-  
r (GP), vorzugsweise eine Spaltbreite oder ein Spindeldurchmesser, und/oder  
aus einem in einem Speicher (19) abgelegten Förderfluidparameter (FP), insbe-  
sondere das Scherverhalten des Förderfluids, berücksichtigen.
7. System nach einem der Ansprüche 2 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die ersten und/oder die zweiten Grenzwertvorgabemittel den ersten bzw.  
zweiten Grenzwertes als Funktion mindestens eines in einem Speicher (19) ab-  
gelegten, für die den Steuermitteln (5) zugeordnete Verdrängerpumpe (2) spezi-  
fischen Geometrieparameter (GP), vorzugsweise eine Spaltbreite, oder einen  
Spindeldurchmesser, und/oder als Funktion eines in einem Speicher (19) abge-  
legten Förderfluidparameters (FP), insbesondere des Scherverhaltens des För-  
derfluids, bestimmend ausgebildet sind, und/oder dass die ersten und/oder die  
zweiten Korrekturmittel die korrigierte Stellgröße ( $Y'_S$ ,  $Y''_S$ ) als Funktion mindes-  
tens eines in einem Speicher (19) abgelegten, für die den Steuermitteln (5) zu-  
geordnete Verdrängerpumpe (2) spezifischen Geometrieparameter (GP), vor-  
zugsweise eine Spaltbreite, oder einen Spindeldurchmesser, und/oder als Funk-  
tion eines in einem Speicher (19) abgelegten Förderfluidparameters (FP), insbe-  
sondere des Scherverhaltens des Förderfluids, bestimmend ausgebildet sind.

8. System nach einem der Ansprüche 2 bis 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die ersten und/oder die zweiten Grenzwertvorgabemittel den ersten bzw.  
5 zweiten Grenzwert als Funktion eines minimalen oder maximalen, in einem  
Speicher (19) abgelegten für die den Steuermitteln (5) zugeordnete Verdränger-  
pumpe (2) spezifischen Schergefälles in der Verdrängerpumpe (2) und/oder als  
Funktion des Ist-Schergefälles bestimmend ausgebildet sind, und/oder dass die  
10 ersten und/oder die zweiten Korrekturmittel die korrigierte Stellgröße ( $Y'_s$ ,  $Y''_s$ )  
als Funktion mindestens eines in einem Speicher (19) abgelegten, für die den  
Steuermitteln (5) zugeordnete Verdrängerpumpe (2) spezifischen Schergefälles  
in der Verdrängerpumpe (2) und/oder als Funktion des Ist-Schergefälles be-  
stimmend ausgebildet sind.
- 15 9. System nach einem der Ansprüche 2 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die ersten und/oder die zweiten Vergleichsmittel ausgebildet sind, um den  
ersten Ist-Betriebsparameter (X) und/oder den mindestens einen weiteren Ist-  
Betriebsparameter ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ) und/oder einen gemäß einem funktionalen Zu-  
20 sammenhang aus dem ersten Ist-Betriebsparameter (X) und/oder aus dem min-  
destens einen weiteren Ist-Betriebsparameter ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ) berechneten Wert,  
oder eine Stellgröße ( $Y_s$ ) des Reglers (6) oder eine korrigierte Stellegröße oder  
einen auf Basis der Stellgröße ( $Y_s$ ) oder der korrigierten Stellgröße ( $Y'_s$ ,  $Y''_s$ ) be-  
rechneten Vergleichswert mit mindestens einem in einem Speicher (19) der Lo-  
25 gikmittel (7) abgelegten Grenzwert zu vergleichen und dass die ersten bzw.  
zweiten Korrekturmittel, ausgebildet sind, um für den Fall, dass die ersten Ver-  
gleichsmittel ein Über bzw. Unterschreiten des mindestens einen festgelegten  
Grenzwertes feststellen eine korrigierte Stellgröße ( $Y'_s$ ,  $Y''_s$ ) auszugeben.
- 30 10. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in einem nicht flüchtigen Speicher (19), insbesondere einem EEPROM, der  
Steuermittel (5) unterschiedliche Systemparameterdatensätze für verschiedene  
Verdrängerpumpen (2), und/oder unterschiedliche Förderfluidparameter (FP),

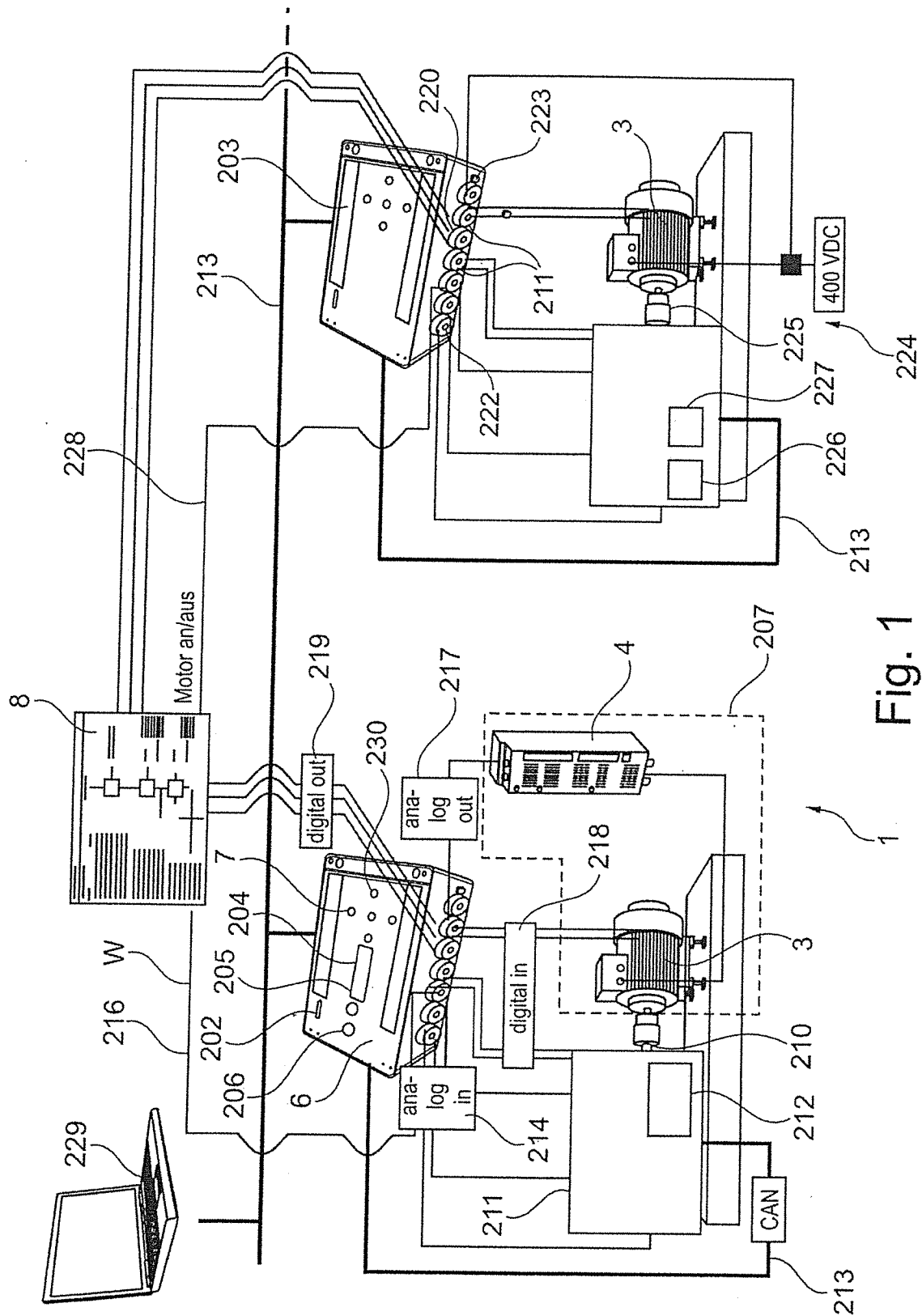
bevorzugt manuell, insbesondere über ein Auswahlmenü, auswählbar, abgelegt sind.

11. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Logikmittel (7) zum Ermitteln und/oder Signalisieren einer Wartungsfähigkeit der Verdrängerpumpe (2) in Abhängigkeit des ersten Ist-Betriebsparameters (X) und/oder mindestens eines weiteren Ist-Betriebsparameters ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ) und/oder eines für die den Steuermitteln (5) zugeordneten Verdrängerpumpe (2) spezifischen Parameters ausgebildet sind.  
10
12. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Steuermittel (5) zum Kommunizieren über ein Bussystem, insbesondere  
15 ein CAN-Bussystem, ausgebildet sind und eine entsprechende Schnittstelle umfassen.
13. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 dass die Steuermittel (5) Speichermittel aufweisen, die ausgebildet und angesteuert sind, um die ersten Ist-Betriebsparameter (X) und/oder die mindestens einen weiteren Betriebsparameter ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ) und/oder die Führungsgrößen (W) und/oder die Vergleichswerte und/oder die Grenzwerte, vorzugsweise jeweils mit einem Zeitstempel, speichern.  
25
14. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass Eingabemittel, insbesondere in Form mindestens einer Taste, zur Konfiguration der Steuermittel (5) vorgesehen sind.

15. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass an dem Steuermodul (202) Signalisierungsmittel, insbesondere ein Display  
5 und/oder oder mindestens eine LED, insbesondere eine LED-Ampel vorgesehen  
sind.
16. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 dass die Führungsgrößenvorgabemittel (8) als Prozessleitwarte ausgebildet sind,  
die zum Überwachen und/oder Ansteuern und/oder Regeln einer Vielzahl von  
Systemaggregaten, insbesondere Verdrängerpumpen (2), ausgebildet ist.
17. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Steuermittel (5) mit der Prozessleitwarte und/oder mehrere Steuermittel  
(5) untereinander über ein Bussystem, insbesondere ein CAN-Bussystem kom-  
munizierend ausgebildet sind.
- 20 18. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Steuermittel (5) signalleitend mit mindestens einem Sensor zum Emp-  
fangen des ersten Ist-Betriebsparameters (X) und/oder des zumindest einen wei-  
teren gemessenen Ist-Betriebsparameters ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ) verbunden ist und/oder  
25 dass die Steuermittel (5) signalleitend mit dem Frequenzumrichter (4) zum Emp-  
fangen des ersten Ist-Betriebsparameters (X) und/oder des zumindest einen wei-  
teren gemessenen Ist-Betriebsparameters ( $X_H$ ,  $Y_H$ ,  $Y_{HH}$ ), insbesondere einer  
Verdrängerpumpenmotordrehzahl und/oder eines Drehfrequenzsollwertes des  
Frequenzumrichters (4) und/oder eines Drehmomentsollwert des Frequenzum-  
30 richters (4), verbunden ist.
19. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,

dass der Regler (6) des Steuermoduls (202), als PI-Regler oder als PID-Regler ausgebildet ist.

20. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet,  
dass mehrere an das Bussystem (213) angeschlossene Steuermodule (202, 203) vorgesehen sind, die jeweils einem Antriebsmodul (207) und einem Pumpenmodul (2, 211, 226) zugeordnet sind.
- 10 21. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Daten empfangende und speichernde Steuermodul (202, 203) Signalisierungsmittel, insbesondere Visualisierungsmittel, zur Signalisierung einer Störung und/oder einer notwendigen Wartung und/oder sonstiger Informationen  
15 aufweist.





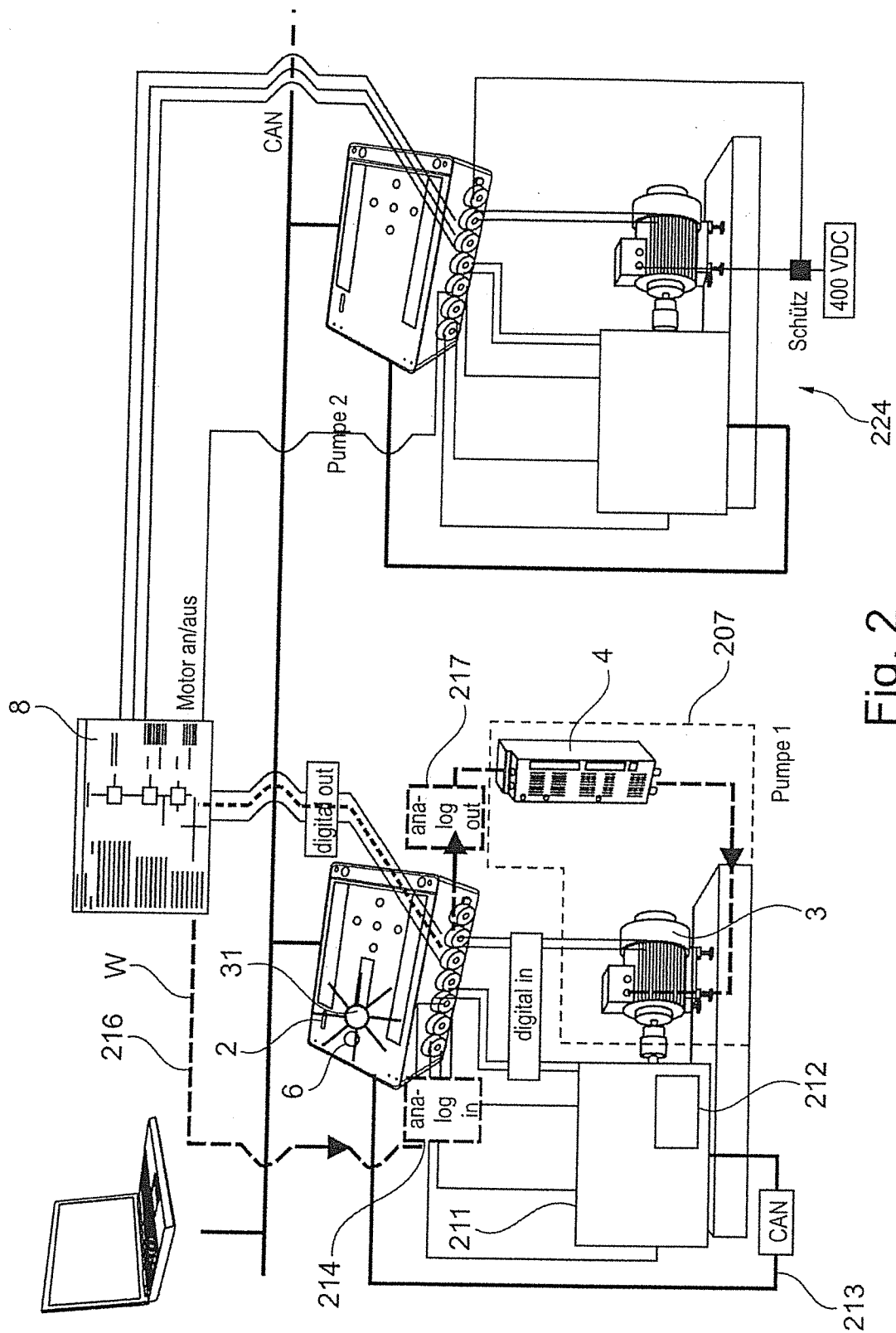


Fig. 2

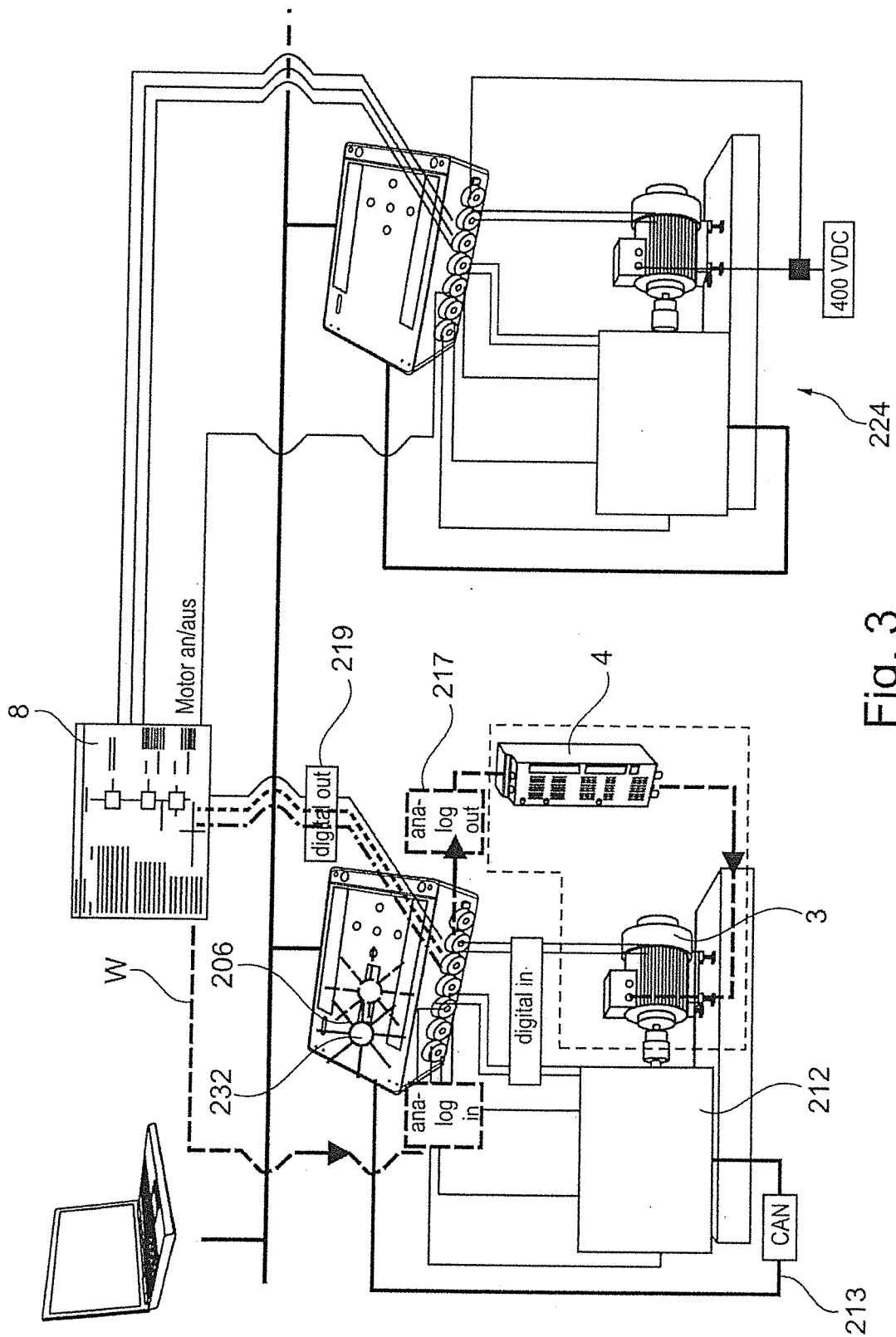


Fig. 3

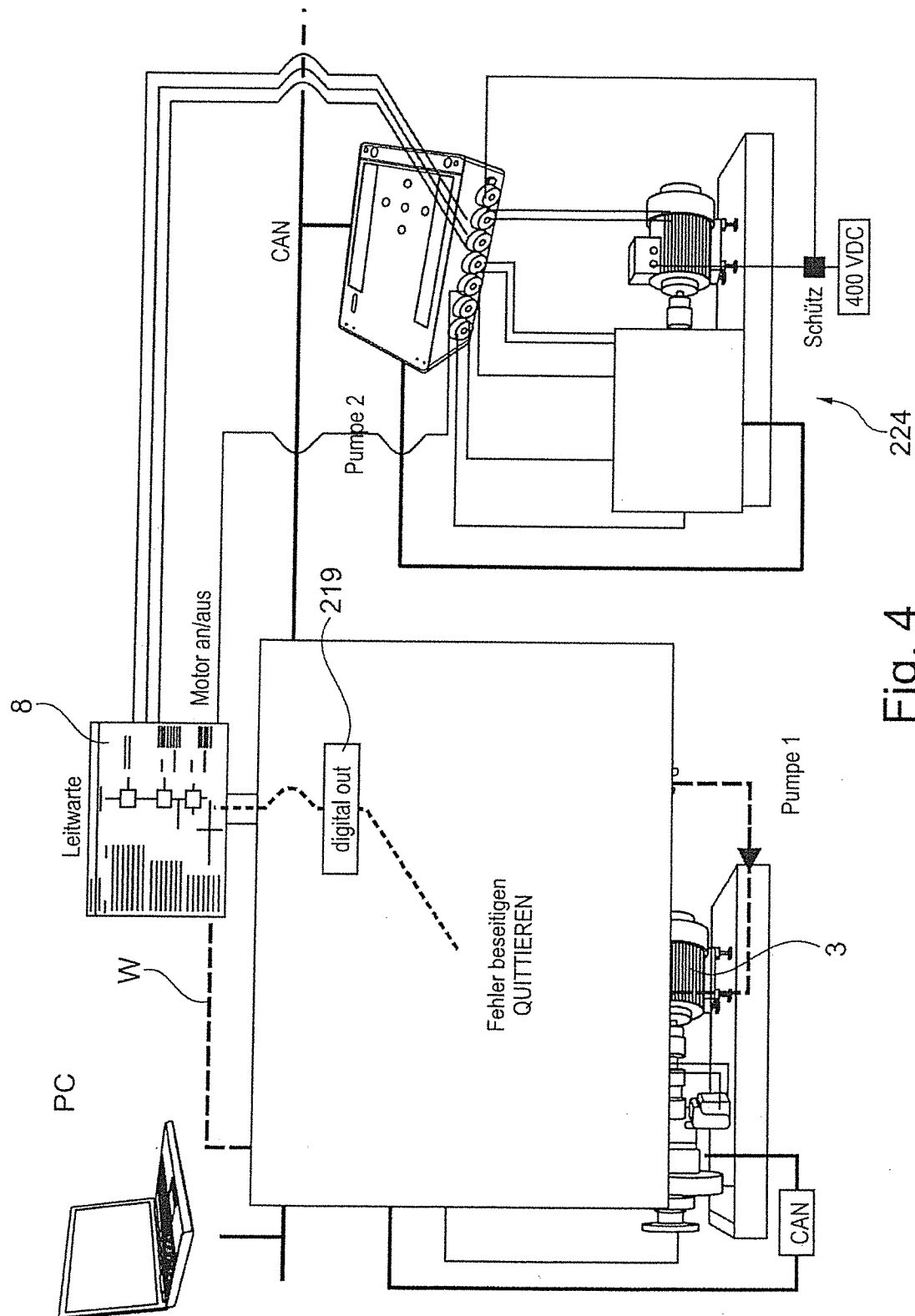


Fig. 4

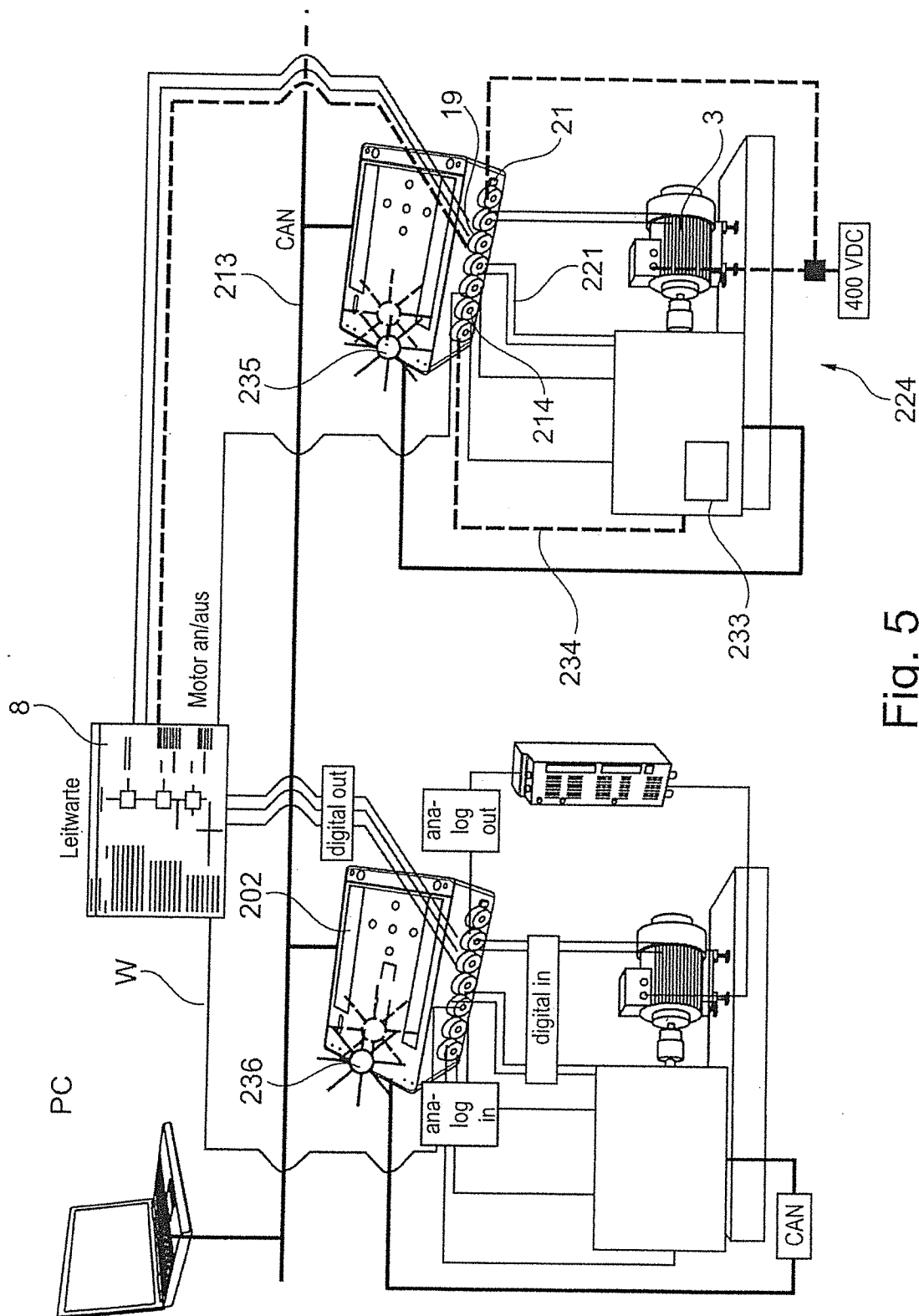


Fig. 5

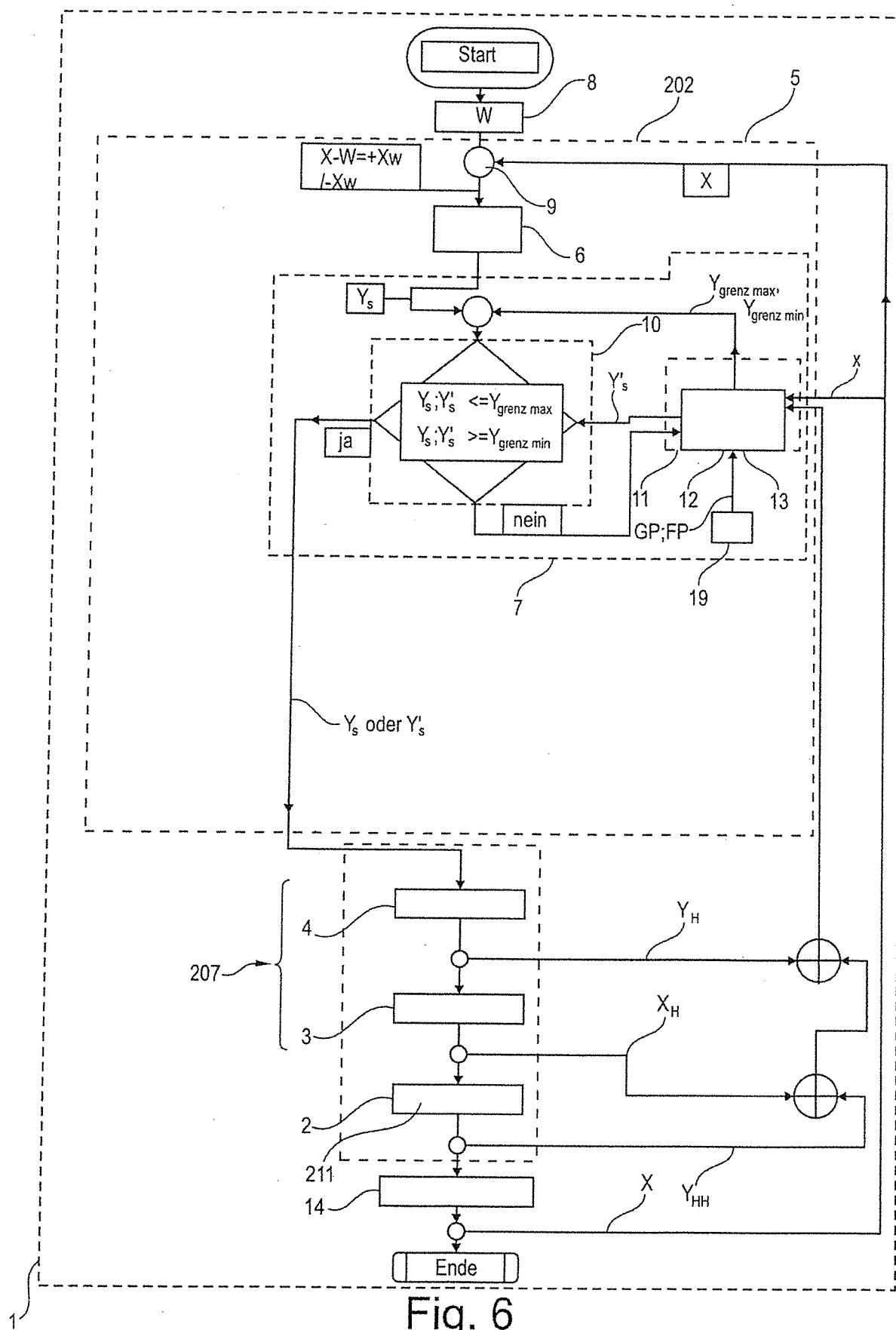


Fig. 6

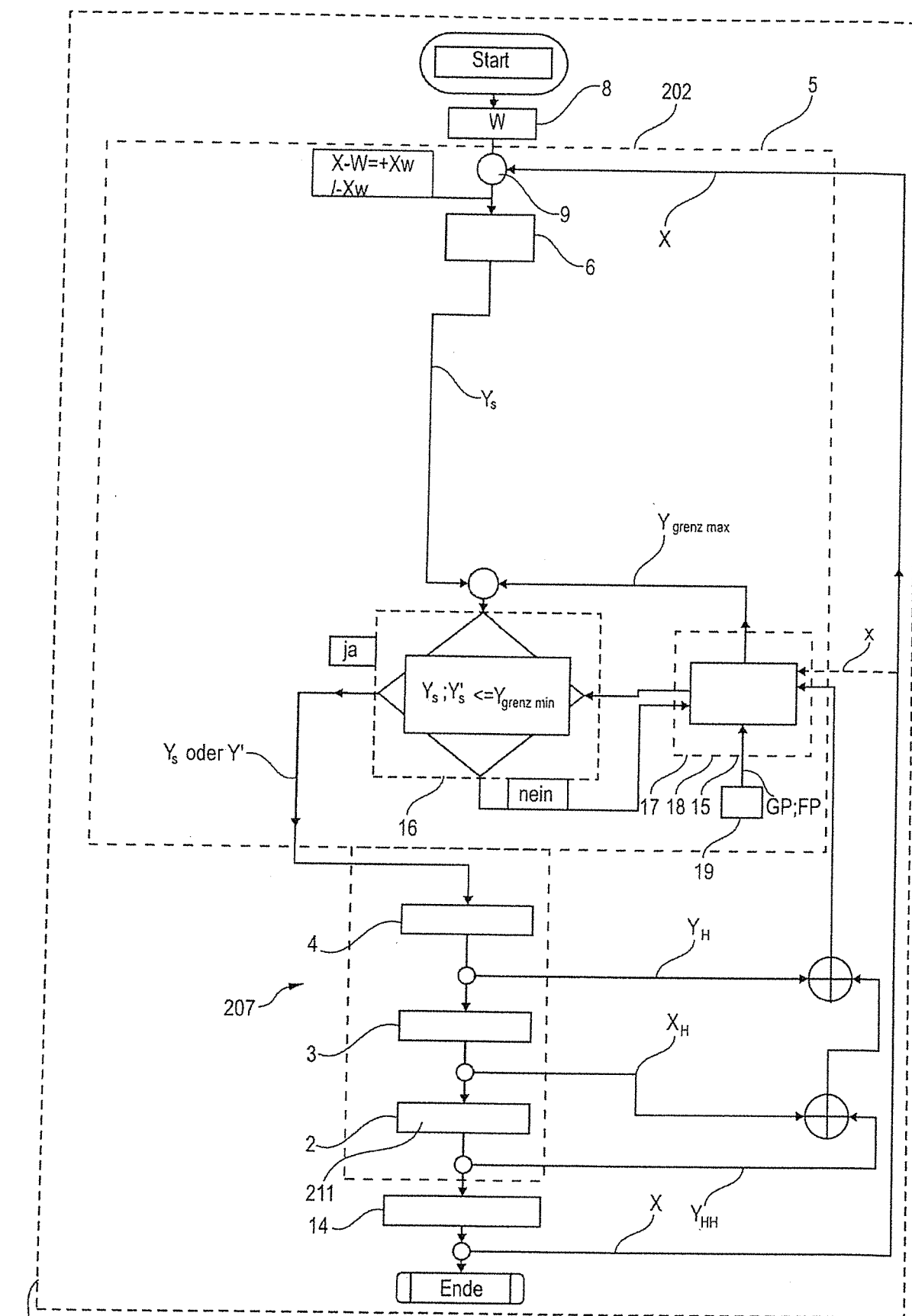


Fig. 7

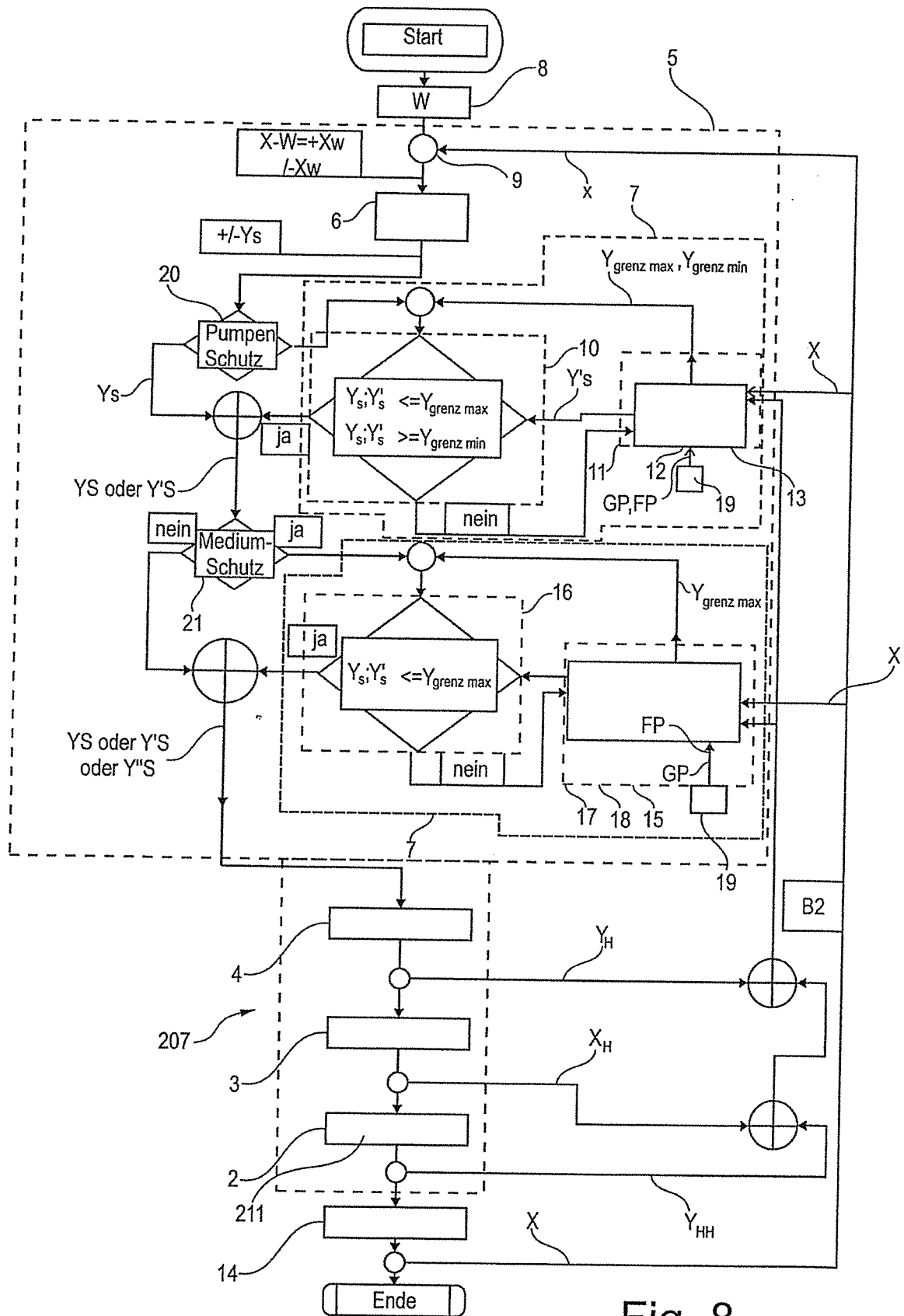


Fig. 8

NPSH EMT - A  
STG 56°

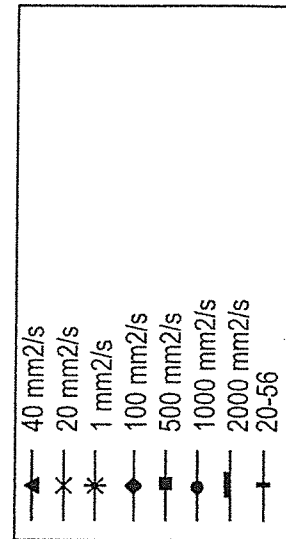
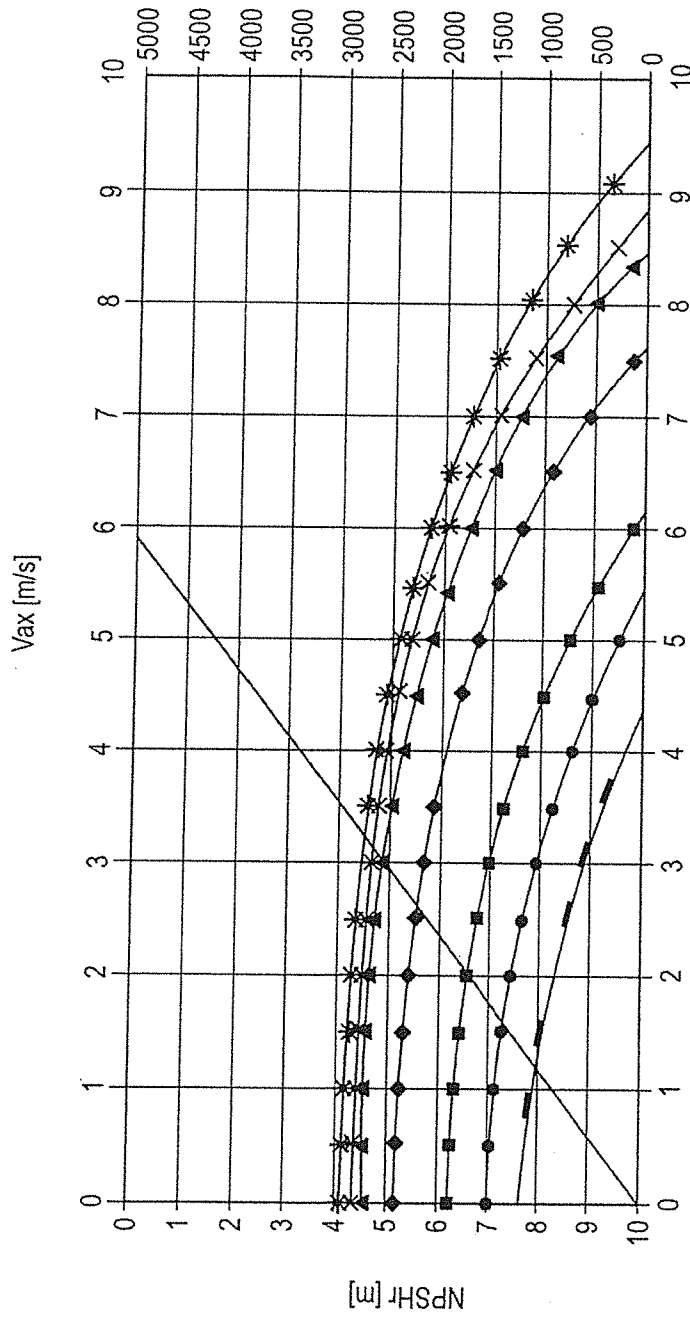


Fig. 9



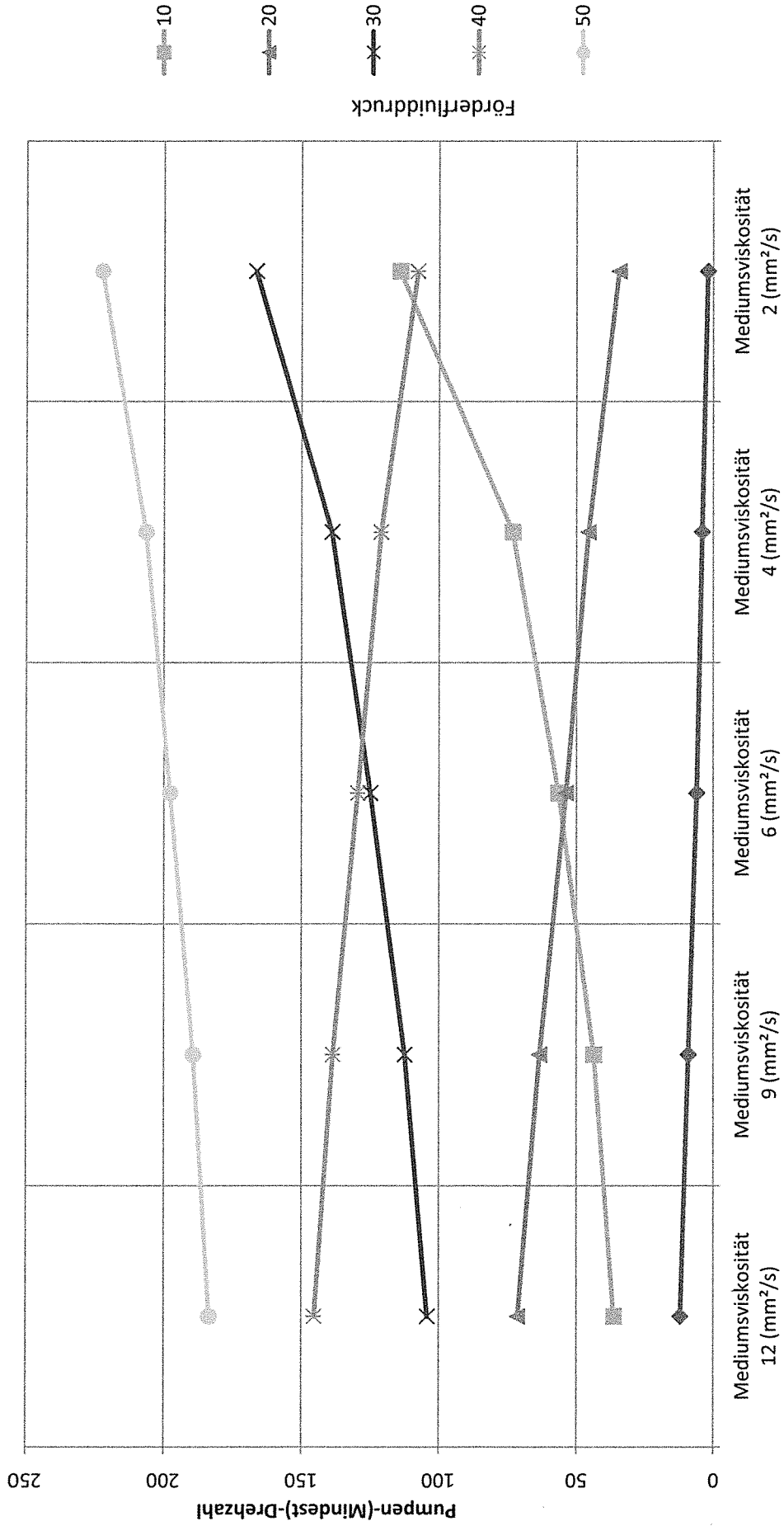


FIG.10