



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteiner Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑪ **CH 654 074 A5**

⑤① Int. Cl. 4: **F 04 B 49/06**  
**F 04 B 1/04**  
**G 01 N 30/24**

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 6111/81

㉔ Anmeldungsdatum: 22.09.1981

㉓ Priorität(en): 23.09.1980 DE 3035770

㉔ Patent erteilt: 31.01.1986

④⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 31.01.1986

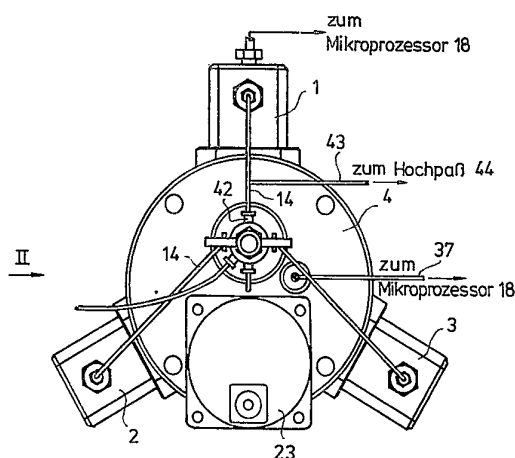
⑦③ Inhaber:  
Bruker-Analytische Messtechnik GmbH,  
Rheinstetten-Forchheim (DE)

⑦② Erfinder:  
Koch, Dieter, Dr., Ettlingen 1 (DE)  
Gianotti, Tonio, Weinheim (DE)

⑦④ Vertreter:  
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

⑤④ **Mehrfach-Kolbenpumpe mit konstanter Förderleistung.**

⑤⑦ Die Mehrfach-Kolbenpumpe mit konstanter Förderleistung für chromatographische Flüssigkeits-Analysengeräte weist mindestens drei Kolben-Zylinder-Einheiten (1, 2, 3) auf, deren Kolben (7) von einem Motor (23) mit einer gegenseitigen Phasenverschiebung von  $360^\circ/n$  angetrieben werden, wenn n die Anzahl der Kolben-Zylinder-Einheiten bedeutet. Ein Regelsystem verändert die Drehzahl des Motors (23) während jeder Periode der Kolbenbewegung in solcher Weise, dass der Druck der geförderten Flüssigkeit während jeder Periode wenigstens annähernd konstant bleibt. Der Motor (23) kann als Schrittmotor ausgebildet sein, der mit Stromimpulsen gespeist wird, deren Frequenz die Drehzahl des Motors bestimmt.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Mehrfach-Kolbenpumpe mit konstanter Förderleistung für chromatographische Flüssigkeits-Analysengeräte, deren Antrieb einen Motor und ein auf den Druck der geförderten Flüssigkeit ansprechendes Regelsystem zur Veränderung der Drehzahl des Motors und infolgedessen der Förderleistung in Abhängigkeit von dem Flüssigkeitsdruck umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens drei Kolben-Zylinder-Einheiten (1, 2, 3) aufweist, deren Kolben (7) von dem Motor (23) mit einer gegenseitigen Phasenverschiebung von  $360^\circ/n$  angetrieben werden, wenn  $n$  die Anzahl der Kolben-Zylinder-Einheiten bedeutet und das Regelsystem zur Variation der Drehzahl des Motors (23) während jeder Periode der Kolbenbewegung eingerichtet ist, derart, dass der Druck der geförderten Flüssigkeit während jeder Periode wenigstens annähernd konstant bleibt.

2. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Regelsystem eine druckunabhängige Einrichtung (57, 71, 72, 73) zum Überwachen und Konstanthalten der mittleren Drehzahl des Motors (23) umfasst.

3. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Regelsystem eine Einrichtung (16, 18) zum Verändern der Drehzahl des Motors (23) in Abhängigkeit vom mittleren Druck der geförderten Flüssigkeit umfasst, derart, dass die Fördermenge durch Kompensation der druckabhängigen Kompression der Flüssigkeit konstant bleibt.

4. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum Verändern der Drehzahl einen auf den innerhalb wenigstens einer Kolben-Zylinder-Einheit (1) herrschenden Druck ansprechenden Sensor (16) umfasst und die Drehzahl des Motors (23) in Abhängigkeit von dem Weg verändert, den der Kolben (7) von seinem unteren Totpunkt bis zum Aufbau des Betriebsdruckes durchläuft.

5. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Motor (23) zum Antrieb der Kolbenpumpe (54) als Schrittmotor ausgebildet ist, der mit Stromimpulsen gespeist wird, deren Frequenz die Drehzahl des Motors bestimmt, und dass das Regelsystem die Frequenz 40 der Stromimpulse beeinflusst.

6. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromimpulse für den Motor (23) von einem auf Steuerimpulse ansprechenden Treiber (60) erzeugt werden und eine Impulsquelle (51) vorhanden ist, welche die Steuerimpulse mit einer Frequenz  $f$  liefert, die höher ist als die Frequenz, welche der Solldrehzahl des Motors (23) entspricht, und zwischen die Impulsquelle (51) und den Treiber (60) ein steuerbarer Frequenzteiler (57) geschaltet ist, dem ein druckabhängiges Steuersignal zugeführt wird, welches das Teilverhältnis des Frequenzteilers (57) auf solche Werte einstellt, dass die dem Treiber (60) zugeführten Steuerimpulse Frequenzen aufweisen, die abwechselnd grösser und kleiner sind als die der Solldrehzahl entsprechende Frequenz.

7. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die der Solldrehzahl entsprechende Frequenz zwei Drittel der Frequenz der von der Impulsquelle gelieferten Steuerimpulse beträgt und der Frequenzteiler (57) auf die Teilverhältnisse 1:1 und 1:2 einstellbar ist.

8. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den steuerbaren Frequenzteiler (57) und den Treiber (60) ein weiterer Frequenzteiler (59) mit festem Teilverhältnis geschaltet ist.

9. Mehrfach-Kolbenpumpe nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Regelsystem einen auf den Druck der geförderten Flüssigkeit ansprechenden, elektrischen Druckwandler (42) aufweist, dessen Ausgangs-

signal über ein Hochpassfilter (44) und eine Summierstufe (61), in der das Ausgangssignal einer Bezugs-Gleichspannung überlagert wird, einem Schwellenwert-Diskriminator (62) zugeführt wird, dessen Ausgangssignal die Einstellung 5 des Frequenzteilers (57) steuert.

10. Mehrfach-Kolbenpumpe nach den Ansprüchen 2 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Bezugs-Gleichspannung eine von der Drehzahl des Motors (23) abgeleitete Steuer- spannung ist.

11. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerspannung für die Differenz zwischen der der Solldrehzahl entsprechenden Frequenz und der mittleren Frequenz der dem Treiber (60) zugeführten Steuerimpulse charakteristisch ist und eine Verminderung 15 dieser Differenz bewirkt.

12. Mehrfach-Kolbenpumpe nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein für die der Solldrehzahl entsprechenden Frequenz charakteristisches erstes Impulssignal dem einen Eingang und ein für die augenblickliche Frequenz der 20 dem Treiber (60) zugeführten Steuerimpulse charakteristisches zweites Impulssignal dem anderen Eingang eines Vorwärts-Zählers (72) zugeführt wird, so dass der Zählerstand stets der Differenz zwischen den von beiden Impulssignalen zugeführten Impulsen gleich ist, und dass die 25 Bezugs-Gleichspannung eine von dem jeweiligen Zählerzustand abgeleitete Analogspannung ist.

13. Mehrfach-Kolbenpumpe nach den Ansprüchen 7 und 12, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Impulssignal von einer gleichförmigen Impulsstufe gebildet wird, deren Fre- 30 quenz gleich einem Drittel der Frequenz der von der Impulsquelle (51) gelieferten Steuerimpulse ist, und der Frequenzteiler (57) bei Einstellung auf das Teilverhältnis 1:2 jeden zweiten der Steuerimpulse anstatt dem Treiber (60) dem Zähler (72) als zweites Impulssignal zuführt.

14. Mehrfach-Kolbenpumpe nach den Ansprüchen 3 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum Verändern der Drehzahl eine druckabhängige Veränderung der Frequenz der von der Impulsquelle (51) gelieferten Steuerim- 35 pulse bewirkt.

Die Erfindung betrifft eine Mehrfach-Kolbenpumpe mit 45 konstanter Förderleistung für chromatographische Flüssigkeits-Analysengeräte, deren Antrieb einen Motor und ein auf den Druck der geförderten Flüssigkeit ansprechendes Regelsystem zur Veränderung der Drehzahl des Motors und infolgedessen der Förderleistung in Abhängigkeit von dem Flüssigkeitsdruck umfasst.

Für die Flüssigkeits-Chromatographie ist es erforderlich, einen Flüssigkeitsstrom zu erzeugen, der unter hohem Druck mit grösstmöglicher Stetigkeit die chromatographische Säule durchfließt. Die dabei aufzuwendenden Drücke liegen in der 55 Grössenordnung von einigen hundert Bar bei einer Förderleistung bis zu 10 ml/min. Bei einem Druck in der Grössenordnung von einigen hundert Bar tritt schon eine merkliche Kompression der Flüssigkeit ein.

Aus der DE-AS 2 311 016 ist eine Mehrfach-Kolbenpumpe 60 der eingangs genannten Art bekannt, die zwei Kolben-Zylinder-Einheiten aufweist, die von einem Motor unter Zwischenschaltung eines elliptisch ausgebildete und exzentrisch angeordnete Zahnräder umfassenden Getriebes derart angetrieben werden, dass die Summe der jeweiligen Kolbenver- schiebungen beider Zylinder in Druckrichtung eine Konstante ist, so dass die Kolbenpumpe aufgrund ihres mechanischen Aufbaus eine konstante Förderleistung besitzt. Das auf den Druck der geförderten Flüssigkeit ansprechende Regel-

system dient dazu, die Motordrehzahl bei einer Druckänderung derart zu verändern, dass die durch die Kompression der Flüssigkeit bedingten Änderungen der Fördermenge kompensiert werden und die Fördermenge auch bei Druckänderungen konstant bleibt.

Wie erwähnt, hängt bei der bekannten Kolbenpumpe die konstante Förderleistung von deren mechanischen Aufbau ab. Dieser Aufbau muss mit extrem hoher Genauigkeit erfolgen, um bei den geringen Förderleistungen eine Konstanz der Förderleistung zu gewährleisten. Ausserdem ist die Herstellung und die Montage elliptischer und exzentrischer Zahnräder mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Mehrfach-Kolbenpumpe mit konstanter Förderleistung zu schaffen, die einen bedeutend vereinfachten mechanischen Aufbau hat und insbesondere keiner Getriebe mit elliptischen und exzentrischen Zahnrädern bedarf.

Diese Aufgabe wird nach der Erfindung dadurch gelöst, dass die Kolbenpumpe mindestens drei Kolben-Zylinder-Einheiten aufweist, deren Kolben von dem Motor mit einer gegenseitigen Phasenverschiebung von  $360^\circ/n$  angetrieben werden, wenn  $n$  die Anzahl der Kolben-Zylinder-Einheiten bedeutet und das Regelsystem zur Variation der Drehzahl des Motors während jeder Periode der Kolbenbewegung eingerichtet ist, derart, dass der Druck der geförderten Flüssigkeit während jeder Periode wenigstens annähernd konstant bleibt.

Anders als bei der bekannten Kolbenpumpe wird also hier eine konstante Förderleistung nicht aufgrund des mechanischen Aufbaus erzielt, sondern durch eine Regelung der Drehzahl des Antriebsmotors der Kolbenpumpe. Bei der Verwendung von drei Kolben-Zylinder-Einheiten, die mit einer Phasenverschiebung von  $360^\circ/3 = 120^\circ$  zueinander betrieben werden, addieren sich die von den drei Kolben-Zylinder-Einheiten geförderten Flüssigkeitsströme zu einem Gesamtstrom, dessen Schwankungen ohne zusätzliche Massnahmen etwa 13% betragen. Da bei einem Flüssigkeits-Analysengerät gegen einen hohen Strömungswiderstand gearbeitet wird, der den hohen Förderdruck erfordert, äussern sich diese Schwankungen der Förderleistung in einer entsprechenden Schwankung des Druckes der geförderten Flüssigkeit, die erfindungsgemäss dazu benutzt wird, die Drehzahl des Motors während jeder Periode der Kolbenbewegung so zu variieren, dass die Schwankungen der Förderleistung, die bei gleichbleibender Drehzahl des Motors auftreten würden, kompensiert werden. Demnach macht es die Erfindung möglich, unter Anwendung einfacher Regelvorgänge eine Mehrfach-Kolbenpumpe mit konstanter Förderleistung zu schaffen, ohne dass hierzu komplizierte und kostspielige mechanische Massnahmen erforderlich wären.

Es versteht sich, dass eine Mehrfach-Kolbenpumpe nach der Erfindung auch mit mehr als drei Kolben-Zylinder-Einheiten aufgebaut werden könnte. Da jedoch durch die Anwendung zusätzlicher Kolben-Zylinder-Einheiten der Aufbau einer Regelschleife nicht nennenswert beeinflusst wird und jede zusätzliche Kolben-Zylinder-Einheit Kosten verursacht, wird gegenwärtig eine Pumpe mit drei Kolben-Zylinder-Einheiten als optimal angesehen.

Wie vorstehend dargelegt, findet bei der erfindungsgemässen Mehrfach-Kolbenpumpe eine Drehzahlregelung des Motors in solcher Weise statt, dass der Druck der geförderten Flüssigkeit konstant bleibt. Der Druck der geförderten Flüssigkeit ist jedoch nicht nur von der Förderleistung, sondern auch von der Viskosität der geförderten Flüssigkeit abhängig. Nimmt die Viskosität der geförderten Flüssigkeit zu, so steigt bei konstanter Förderleistung der Druck in der geförderten Flüssigkeit an. Eine Veränderung der Viskosität der geförderten Flüssigkeit hat demnach, wenn der Druck konstant

gehalten wird, eine Veränderung der Förderleistung zur Folge. In der Flüssigkeits-Chromatographie wird jedoch häufig mit Lösungsmittel-Gemischen gearbeitet, deren Zusammensetzung im Verlauf einer Analyse geändert wird, so dass sich auch die Viskosität der geförderten Flüssigkeit im Verlauf einer Analyse ändert. Um auch in diesem Fall die Förderleistung konstant zu halten, ist in weiterer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass das Regelsystem eine druckunabhängige Einrichtung zum Überwachen und Konstanthalten der mittleren Drehzahl des Motors umfasst. Da die Drehzahl des Motors bei Kolbenpumpen ein direktes Mass für die Förderleistung ist, so bleibt die Förderleistung auch konstant, wenn die mittlere Drehzahl konstant gehalten wird. Die druckabhängige Regelung hat dann nur den Zweck, die Variation der Drehzahl des Motors zu bestimmen, die bei der Überwachung der mittleren Drehzahl ausgemittelt wird.

Wie oben erwähnt, ist die Förderleistung in einem gewissen Mass von der Kompression abhängig, welche die Flüssigkeit bei dem herrschenden Förderdruck erleidet. Deshalb kann auch bei der erfindungsgemässen Kolbenpumpe das Regelsystem eine Einrichtung zum Verändern der Drehzahl des Motors in Abhängigkeit vom mittleren Druck der geförderten Flüssigkeit umfassen, derart, dass die Fördermenge durch Kompensation der druckabhängigen Kompression der Flüssigkeit konstant bleibt.

Diese Einrichtung zum Verändern der Drehzahl kann grundsätzlich ebenso ausgebildet sein, wie es in der obengenannten DE-AS 2 311 016 beschrieben ist. Vorteilhafter ist es jedoch, wenn die Einrichtung zum Verändern der Drehzahl einen auf den innerhalb wenigstens einer der Kolben-Zylinder-Einheiten herrschenden Druck ansprechenden Sensor umfasst und die Drehzahl des Motors in Abhängigkeit von dem Weg verändert, den der Kolben von seinem unteren Totpunkt bis zum Aufbau des Betriebsdruckes durchläuft. Der Druck in der Kolben-Zylinder-Einheit muss sich vom Druck des zufließenden Mediums bis auf den Förderdruck aufbauen und wird dann bis zum Ende des Kompressionshubes konstant bleiben. Der Übergang von dem Druckanstieg zum konstanten Druck lässt sich messtechnisch erfassen, so dass auf diese Weise der Weg des Kolbens bis zum Aufbau des Betriebsdruckes ermittelt und in Abhängigkeit davon die Förderleistung der Pumpe kompensiert werden kann, ohne dass Daten über die Kompressibilität unterschiedlicher Flüssigkeiten als Funktion des Betriebsdruckes vorzuliegen brauchen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Motor zum Antrieb der Kolbenpumpe als Schrittmotor ausgebildet, der mit Stromimpulsen gespeist wird, deren Frequenz die Drehzahl des Motors bestimmt. Das Regelsystem ist dann dazu ausgebildet, die Frequenz der Stromimpulse zu beeinflussen. Bei Schrittmotoren ist eine Umdrehung des Motors in eine sehr grosse Anzahl von Schritten unterteilt, so dass durch die Variation der Pulsfrequenz und damit der zeitlichen Folge der einzelnen Schritte eine sehr feine Regelung der Drehzahl des Motors während jeder Periode der Kolbenbewegung möglich ist. Die Beeinflussung der Frequenz der Stromimpulse wird dann besonders einfach, wenn die Stromimpulse für den Motor von einem auf Steuerimpulse ansprechenden Treiber erzeugt werden und eine Impulsquelle vorhanden ist, die Steuerimpulse mit einer Frequenz liefert, die höher ist als die Frequenz, welche der Solldrehzahl des Motors entspricht, und zwischen die Impulsquelle und den Treiber ein steuerbarer Frequenzteiler geschaltet ist, dem ein druckabhängiges Steuersignal zugeführt wird, welches das Teilerverhältnis des Frequenzteilers auf solche Werte einstellt, dass die dem Treiber zugeführten Steuerimpulse Fre-

quenzen aufweisen, die abwechselnd grösser und kleiner sind als die der Solldrehzahl entsprechende Frequenz. Es versteht sich, dass diese Frequenzabweichungen beliebig und verschieden gross und auch zeitlich wechselnd sein können. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beträgt die der Solldrehzahl entsprechende Frequenz zwei Drittel der Frequenz der von der Impulsquelle gelieferten Steuerimpulse, und es ist der Frequenzteiler auf die Teilverhältnisse 1:1 und 1:2 einstellbar. Ein unter solchen Bedingungen arbeitendes Regelsystem ist mit äusserst geringem Aufwand erstellbar.

Bei unmittelbarer Zufuhr der vom Frequenzteiler gelieferten Steuerimpulse zum Treiber würde auch die Frequenz der vom Treiber gelieferten Stromimpulse und infolgedessen das Drehverhältnis des Schrittmotors im Verhältnis 1:2 schwanken. Eine Glättung dieser Schwankungen kann dadurch erreicht werden, dass zwischen den steuerbaren Frequenzteiler und den Treiber ein weiterer Frequenzteiler mit festem Unteretzungsverhältnis geschaltet wird. Für die Praxis hat sich ein weiterer Frequenzteiler mit dem Teilverhältnis 1:8 als besonders zweckmässig erwiesen. Es versteht sich, dass im Fall der Anwendung eines solchen weiteren Frequenzteilers die Frequenzen der Steuerimpulse um das Teilverhältnis dieses Frequenzteilers höher gewählt werden müssen, als es erforderlich wäre, wenn die Steuerimpulse vom Frequenzteiler dem Treiber unmittelbar zugeführt würden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Regelsystem einen auf den Druck der geförderten Flüssigkeit ansprechenden elektrischen Druckwandler auf, dessen Ausgangssignal über ein Hochpassfilter und eine Summierstufe, in der das Ausgangssignal einer Bezugs-Gleichspannung überlagert wird, einem Schwellenwert-Diskriminator zugeführt wird, dessen Ausgangssignal die Einstellung des Frequenzteilers steuert. In diesem Fall bestimmt die Bezugs-Gleichspannung die mittlere Drehzahl des Motors, während von dem Signal, welches der elektrische Druckwandler liefert, infolge der Anwendung eines Hochpassfilters nur diejenigen Komponenten berücksichtigt werden, die auf zeitlich schnelle Druckschwankungen zurückgehen und daher zur Variation der Drehzahl des Motors während jeder Periode der Kolbenbewegung dienen. Diese Anordnung hat den besonderen Vorteil, dass die Bezugs-Gleichspannung eine von der Drehzahl des Motors abgeleitete Steuerspannung sein kann. Diese Steuerspannung kann in besonders einfacher Weise für die Differenz zwischen der der Solldrehzahl entsprechenden Frequenz und der mittleren Frequenz der dem Treiber zugeführten Steuerimpulse charakteristisch sein und eine Verminderung dieser Differenz bewirken.

Um diese Steuerspannung zu bilden, kann in besonders einfacher Weise ein für die der Solldrehzahl entsprechenden Frequenz charakteristisches erstes Impulssignal dem einen Eingang und ein der augenblicklichen Frequenz der dem Treiber zugeführten Steuerimpulse charakteristisches zweites Impulssignal dem anderen Eingang eines Vor-Rückwärts-Zählers zugeführt werden, so dass der Zählerstand stets gleich der Differenz zwischen den von beiden Impulssignalen zugeführten Impulsen gleich ist. Die als Bezugs-Gleichspannung verwendete Steuerspannung kann dann eine von dem jeweiligen Zählerstand abgeleitete Analogspannung sein.

Wenn, wie oben angegeben, die der Solldrehzahl entsprechende Frequenz zwei Drittel der Frequenz der von der Impulsquelle gelieferten Steuerimpulse beträgt und der Frequenzteiler auf die Teilverhältnisse 1:1 und 1:2 einstellbar ist, dann kann vorteilhaft das erste Impulssignal von einer gleichförmigen Impulsfolge gebildet werden, deren Frequenz gleich einem Drittel der Frequenz der von der Impulsquelle

gelieferten Steuerimpulse ist, und der Frequenzteiler bei Einstellung auf das Teilverhältnis 1:2 jeden zweiten der Steuerimpulse anstatt dem Treiber dem Zähler als zweites Impuls-signal zuführt.

Die oben erwähnte Einrichtung zum verändern der Drehzahl in Abhängigkeit vom Mediumdruck, die zu einem Ausgleich der Kompression der Flüssigkeit dient, kann in besonders einfacher Weise eine druckabhängige Veränderung der Frequenz der von der Impulsquelle gelieferten Steuerimpulse bewirken.

Weitere Einzelheiten und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung des in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels. Die der Beschreibung und der Zeichnung zu entnehmenden Merkmale können bei anderen Ausführungsformen der Erfindung einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination Anwendung finden. Es zeigen:

Fig. 1 die Ansicht einer Mehrfach-Kolbenpumpe nach der Erfindung,

Fig. 2 eine Ansicht der Pumpe nach Fig. 1 in Richtung des Pfeiles II,

Fig. 3 einen schematischen Schnitt längs der Linie III - III durch die Pumpe nach Fig. 2 und

Fig. 4 das Blockschaltbild des Regelsystems der als Ausführungsbeispiel dargestellten Pumpe.

Die in den Fig. 1-3 dargestellte Kolbenpumpe weist drei Kolben-Zylinder-Einheiten 1 bis 3 auf, die an die Mantelfläche eines zylindrischen Gehäuses angeflanscht sind. Die drei Kolben-Zylinder-Einheiten 1 bis 3 haben den gleichen Aufbau und bestehen jeweils, wie in Fig. 3 für die Kolben-Zylinder-Einheit 1 näher dargestellt, aus jeweils einem Zylinderblock 5 und einem Stössel 6, dessen vorderes, im Durchmesser vermindertes Ende den Kolben 7 bildet. Der Kolben 7 ragt in eine dünne Zylinderbohrung 8 des Zylinderblockes 5 hinein und ist an seinem hinteren Ende gegenüber dem Zylinderblock durch eine nur schematisch angedeutete Dichtung 9 abgedichtet. In die Zylinderbohrung 8 mündet eine Radialbohrung 10, mit der eine Zulaufleitung 11 in Verbindung steht. Zwischen der Zulaufleitung 11 und der Radialbohrung 10 befindet sich ein Rückschlagventil 12, das die Zulaufleitung 11 während des Förderhubes des Kolbens sperrt. An eine zweite Radialbohrung 13 ist die das geförderte Medium führende Leitung 14 angeschlossen. Auch hier befindet sich zwischen der Radialbohrung 13 und der Abflussleitung 14 ein Rückschlagventil 15, welches die Leitung 14 beim Saughub der Pumpe sperrt. Am Ende der Zylinderbohrung 8 befindet sich ein Sensor 16, der ein dem im Zylinder herrschenden Druck proportionales elektrisches Signal erzeugt und auf einer Leitung 17 dem Mikroprozessor 18 des Regelsystems zuführt (Fig. 4).

Zum Antrieb des Stössels 6 der Kolben-Zylinder-Einheit 1 sowie auch der Stössel 21 und 22 der Kolben-Zylinder-Einheiten 2 und 3 dient ein Schrittmotor 23, der an einer Stirnwand des Gehäuses 4 befestigt ist. Seine Antriebswelle 24 ragt in das Gehäuse 4 hinein und trägt ein Zahnrad 25, welches mit einem im Gehäuse 4 gelagerten Zahnrad 26 grösseren Durchmessers in Eingriff steht. Auf der gleichen Welle 27 wie dieses Zahnrad 26 ist eine Nockenscheibe 28 exzentrisch befestigt, auf deren Umfang die Stössel 6, 21 und 22 mit ihren Enden aufsitzen. Zur Verminderung der Reibung kann zwischen der Nockenscheibe 28 und den Enden der Stössel 6, 21 und 22 ein auf dem Umfang der Nockenscheibe 28 drehbar gelagerter Ring 29 angeordnet sein. Die Stössel 6, 21 und 22 sind jeweils von einer Schraubendruckfeder 30, 31, 32 beaufschlagt, die sich einerseits am Mantel des Gehäuses 4 und andererseits an einem am Stössel angebrachten Flansch oder

Bund 33 bzw. 34 bzw. 35 abstützt. Da die drei Stössel 6, 21 und 22 radial zu der die Nockenscheibe 28 tragenden Welle 27 im Winkel um  $120^\circ$  gegeneinander versetzt angeordnet sind und mit der gleichen Nockenscheibe 28 zusammenwirken, führen sie ihre von der Nockenscheibe 28 gesteuerten Bewegungen mit einer Phasenverschiebung von  $120^\circ$  gegeneinander aus. Bei dieser Anordnung ist ferner die Stellung der Kolben eine direkte Funktion der Stellung des die Nockenscheibe 28 antreibenden Zahnrades 26. Infolgedessen kann die Zahnung des Zahnrades zugleich als digitaler Geber zur Ermittlung von dessen Winkelstellung und damit zur Bestimmung der Kolbenstellungen benutzt werden. Die Zahnung kann durch geeignete optische oder elektrische Mittel abgetastet werden, beispielsweise mittels eines induktiven Fühlers 36, wie er in Fig. 3 schematisch angedeutet ist. Die von dem Fühler 36 erzeugten Signale werden mittels einer aus dem Gehäuse 4 herausgeführten Leitung 37 ebenfalls dem Mikroprozessor 18 (Fig. 4) zugeführt. Die Zuführleitungen 11 der drei Zylinder-Kolben-Einheiten 1 bis 3 führen zu einem Verteiler 38, von dem aus eine Leitung 39 zu dem zu fördernden Medium führt. Ähnlich sind auch die Abflussleitungen 14 an einen Verteiler 40 angeschlossen, von dem aus eine gemeinsame Hochdruckleitung 41 zu der Säule eines Flüssigkeits-Chromatographen führt. An diesen Verteiler 40 ist auch ein Druckwandler 42 angeschlossen, dessen für den herrschenden Druck charakteristisches Signal über eine Leitung 43 einem Hochpass 44 des Regelsystems zugeführt wird. Bei dem Druckwandler 42 kann es sich ebenso wie bei dem Sensor 16 um ein piezoelektrisches Bauelement handeln. Der Druckwandler 42 liefert jedoch nicht wie der Sensor 16 ein Signal, das für den wechselnden Druck in einem einzelnen Zylinder charakteristisch ist, sondern ein Signal, das für den Druck im Gesamtstrom charakteristisch ist, der sich aus der Addition der von den drei Kolben-Zylinder-Einheiten geförderten Ströme im Verteiler 40 ergibt. Dieser Druck ist im wesentlichen der augenblicklichen Gesamt-Fördermenge der Flüssigkeit proportional, die der einen sehr hohen Stömungswiderstand aufweisenden chromatographischen Säule des Analysegerätes zugeführt wird. Bei der Überlagerung der Flüssigkeitsmengen, die von drei mit einer Phasenverschiebung von  $120^\circ$  gegeneinander arbeitenden Kolben-Zylinder-Einheiten geliefert werden, ergibt sich ein Strom, in dem die Förderleistung um etwa 13% schwankt. Diese Schwankung wird bei der erfindungsgemässen Pumpe mittels eines Regelsystems ausgeglichen, das auf die Druckschwankungen anspricht, welche sich aus den Schwankungen der Förderleistung ergeben und demgemäss die Drehzahl des Schrittmotors während jeder Periode der Kolbenbewegung variiert.

Die Drehzahl des Schrittmotors 23 wird von der Frequenz der Stromimpulse bestimmt, mit dem er gespeist wird, weil der Rotor des Schrittmotors durch jeden Stromimpuls um einen bestimmten Winkelbetrag schrittweise gedreht wird. Beispielsweise kann eine Umdrehung des Motors in 500 Schritte unterteilt sein.

Die zum Betrieb des Schrittmotors benötigten Stromimpulse werden bei dem durch das Blockschaltbild nach Fig. 4 veranschaulichten Ausführungsbeispiel von einem Treiber 60 erzeugt, der auf Steuerimpulse anspricht und neben den notwendigen Leistungsverstärkern einen nicht näher dargestellten Decodierer oder Festspeicher umfasst, der jeweils bei Eintreffen eines Steuerimpulses einen zum Antrieb des Schrittmotors erforderlichen Satz von beispielsweise fünf phasenverschobenen Stromimpulsen auslöst. Die Steuerimpulse werden von einer Impulsquelle 51 geliefert, die einen Oszillator 52 und einen Teiler 53 umfasst, dessen Teilverhältnis 1:n in kleinen Schritten veränderbar ist. Das Teilverhältnis wird vom Ausgangssignal eines Mikroprozessors 18 bestimmt, in den eine gewünschte Drehzahl des Schrittmotors

23 bzw. eine gewünschte Förderleistung der Pumpe 54, die in dem Blockschaltbild nach Fig. 4 durch den Kasten 54 veranschaulicht ist, mit Hilfe eines Einstellers 55 eingegeben werden kann. Der Mikroprozessor bestimmt dann anhand von gespeicherten Daten das Teilverhältnis 1:n des Teilers 53, der wiederum die Frequenz der Steuerimpulse bestimmt, welche dem Treiber 60 zugeführt werden.

Die von der Impulsquelle 51 demgemäss gelieferten Steuerimpulse der Frequenz  $f$  werden auf der Leitung 56 einem Teiler 57 zugeführt, der mittels eines Schaltgliedes 58 auf die Untersetzungsverhältnisse 1:1 und 1:2 einstellbar ist. Das Ausgangssignal des Teilers 57 wird einem weiteren Teiler 59 zugeführt, der die Frequenz der Steuerimpulse nochmals im Verhältnis 1:8 untersetzt, bevor sie dem Treiber 60 zugeführt werden, der den Schrittmotor 23 speist.

Die Frequenz  $f$  der von der Impulsquelle 51 gelieferten Steuerimpulse ist so gewählt, dass der Schrittmotor 23 mit der gewünschten Drehzahl laufe und die Pumpe 54 die gewünschte Förderleistung hätte, wenn die Frequenz der Steuerimpulse  $2f/3$  betrüge. Daher läuft der Schrittmotor 23 zu schnell, wenn der Teiler 57 die Frequenz  $f$  der Steuerimpulse nicht untersetzt (Teilverhältnis 1:1), und zu langsam, wenn der Teiler 57 die Steuerimpulse mit der Frequenz  $f/2$  liefert. Infolgedessen entsteht in der von der Pumpe 54 geförderten Flüssigkeit ein Druckanstieg oder ein Druckabfall, auf den der Druckwandler 42 anspricht und ein elektrisches Signal liefert, das über die Leitung 43 dem Hochpass 44 zugeführt wird. Die Anwendung des Hochpasses 44 hat zur Folge, dass das Ausgangssignal des Hochpasses nur für die zeitlichen Schwankungen des Druckes charakteristisch ist und keine für den mittleren Druck charakteristische Komponente aufweist. Es kann daher das Ausgangssignal des Hochpasses in einer folgenden Summierstufe 61 einer Bezugs-Gleichspannung überlagert werden, welche auf die Ansprechschwelle eines Schmitt-Triggers 62 derart abgestimmt ist, dass der Schmitt-Trigger im Bereich positiver Abschnitte des vom Hochpass zugeführten Signales ausgelöst wird. Während der Zeit, während der das vom Hochpass 44 zugeführte Regelsignal den Schmitt-Trigger 62 auslöst, bewirkt das Ausgangssignal des Schaltgliedes 58 ein Umschalten des Teilers 57 auf das Verhältnis 1:2, so dass die Drehzahl des Schrittmotors 23 und demnach auch die Förderleistung der Pumpe 54 vermindert wird. Das Arbeiten der Pumpe mit verminderter Förderleistung dauert an, bis das vom Druckwandler 42 gelieferte Signal den Schwellenwert des Schmitt-Triggers wieder unterschreitet, wonach sich das Ausgangssignal des Schmitt-Triggers 62 entsprechend verändert und das Schaltglied 58 veranlasst, den Teiler 57 auf das Verhältnis 1:1 zurückzuschalten.

Danach läuft der Schrittmotor 23 wieder mit erhöhter Geschwindigkeit, so dass die Förderleistung der Pumpe 54 und demgemäss auch der Druck in der geförderten Flüssigkeit wieder ansteigt, bis es bei Überschreiten des Schwellenwertes des Schmitt-Triggers 62 wiederum ein Zurückschalten des Teilers 57 zur Folge hat.

Die beschriebene Regelschleife hat einen sehr einfachen Aufbau, weil lediglich ein Teiler vom Teilverhältnis 1:1 auf das Teilverhältnis 1:2 umgeschaltet werden muss. Am einfachsten ist eine solche Anordnung zu realisieren, indem im Teiler wahlweise jeder zweite Impuls der Steuerimpulse unterdrückt wird. Durch die Verwendung eines solchen Teilers sind allerdings die Drehzahlsprünge sehr gross. Die Anwendung des weiteren Teilers 1:8 bewirkt jedoch eine Mitteilung, insbesondere wenn ein Wechsel des Untersetzungsverhältnisses häufig erfolgt, so dass die tatsächlichen Drehzahländerungen nicht im Verhältnis 1:2 oder 2:1, sondern im Verhältnis  $(8+k_1):(8+k_2)$  erfolgen, wenn  $k_1$  und  $k_2$  jeweils eine ganze Zahl von 0 bis 8 bedeutet, welche angibt,

wie viele der Steuerimpulse der Frequenz  $f$  vom Teiler 57 in aufeinanderfolgenden Zahlintervallen des Teilers 59 infolge der Umschaltung auf das Teilverhältnis 1:2 unterdrückt worden sind.

Wenn der Summierstufe 61 eine Bezugs-Gleichspannung nur von einer Spannungsquelle 63 zugeführt wird, repräsentiert die Bezugsspannung einen bestimmten, mittleren Druck in der von der Pumpe 54 geförderten Flüssigkeit. Das Einhalten eines solchen Druckes kann durchaus zweckmässig sein, solange die zu fördernde Flüssigkeit eine gleichbleibende Viskosität aufweist. Wenn sich jedoch die Viskosität der geförderten Flüssigkeit infolge von Langzeit-Temperaturänderungen oder aber infolge einer Änderung in der Zusammensetzung der geförderten Flüssigkeit ändert, so ist mit dieser Viskositätsänderung bei gleichbleibender Förderleistung eine Änderung des Förderdruckes verbunden. Eine Erhöhung der Viskosität hat bei gleichbleibender Förderleistung auch eine Erhöhung des Druckes zur Folge und umgekehrt. Wird demnach der Druck trotz solcher Viskositätsänderungen konstant gehalten, kann dies nur durch eine entsprechende Änderung der Förderleistung erfolgen, die aber unerwünscht ist. Daher umfasst das in Fig. 4 dargestellte Regelsystem auch Glieder zum Konstanthalten der Förderleistung. Diese Glieder umfassen einen an die Impulsquelle 51 angeschlossenen Teiler 71, der die Steuerimpulse mit der Frequenz  $f$  im Verhältnis 1:3 untersetzt, und einen Vor-Rückwärts-Zähler 72, dem als ein erstes Impulssignal das Ausgangssignal des Teilers 71 und als zweites Impulssignal vom Teiler 57 diejenigen Impulse zugeführt werden, die bei der Einstellung dieses Teilers auf das Teilverhältnis 1:2 unterdrückt werden. Das Ausgangssignal des 1:3-Teilers wird dem Rückwärts-Eingang und das Ausgangssignal des 1:2-Teilers 57 dem Vor-Eingang des Zählers 72 zugeführt. Wenn der Schrittmotor 23 mit der gewünschten Drehzahl läuft, muss die mittlere Frequenz der vom Teiler 57 gelieferten Steuerimpulse  $2f/3$  betragen. Dies ist dann der Fall, wenn im Mittel vom Teiler 57 jeder dritte Impuls der Steuerimpulse mit der Frequenz  $f$  unterdrückt wird, so dass diese unterdrückten Impulse eine Impulsfolge mit der mittleren Frequenz  $f/3$  bilden. Das zweite Impulssignal hat demnach ebenfalls die Frequenz  $f/3$ , und es bleibt der Zähler 72 auf einem vorgegebenen Stand stehen, wenn der Teiler 57 dem Treiber 60 Steuerimpulse zuführt, deren Frequenz die gewünschte Drehzahl des Schrittmotors zur Folge hat. Weichen dagegen die vom Teiler 57 gelieferten Steuerimpulse in ihrer mittleren Frequenz vom Wert  $2f/3$  und infolgedessen das zweite Impulssignal von der mittleren Frequenz  $f/3$  ab, weil der Druckwandler 42 eine gleichsinnige Druckänderung meldet, so wird der Stand des Zählers 72 verändert. Von dem Stand des Zählers 72 wird mittels eines Digital-Analog-Umsetzers 73 eine Gleichspannung abgeleitet, die der Summierstufe 61 zugeführt wird und die eine solche Verschiebung des vom Hochpass 44 gelieferten Signales gegenüber der Schwelle des Schmitt-Triggers 62 bewirkt, dass die vom Zähler 72 registrierte Abweichung vom Sollwert vermindert wird. Auf diese Weise ist es möglich, mittels der den Druckwandler 42 enthaltenden Regelschleife die schnellen Druckschwankungen im geförderten Flüssigkeitsstrom und damit die kurzzeitigen Schwankungen in der Förderleistung auszugleichen und

zugleich die mittlere Drehzahl des Schrittmotors 23 und damit die mittlere Förderleistung der Pumpe 54 ungeachtet von langzeitigen Druckschwankungen, wie sie insbesondere durch Viskositätsänderungen bedingt sein können, konstant zu halten.

Eine genaue Proportionalität zwischen der Drehzahl des Schrittmotors 23 und der Förderleistung der Pumpe 54 besteht nur so lange, wie die geförderte Flüssigkeit als nicht-kompressibel betrachtet werden kann. Förderpumpen für chromatographische Analysegeräte arbeiten jedoch unter Drücken, die 300 bar und mehr betragen können. Bei solchen Drücken sind auch Flüssigkeiten schon mehr oder weniger kompressibel, so dass eine strenge Proportionalität zwischen der Drehzahl des Schrittmotors 23 und der Förderleistung der Pumpe 54 nicht mehr besteht. Um trotz einer Kompression der geförderten Flüssigkeit zu gewährleisten, dass die gewünschte Förderleistung erzielt wird, wird mittels des Sensors 16 der im Pumpenzylinder herrschende Druck gemessen. Dieser Druck steigt von dem Druck der angesaugten Flüssigkeit, im allgemeinen also dem Atmosphärendruck, zu Beginn des Förderhubes bis auf den in der geförderten Flüssigkeit herrschenden Druck an, bevor die Flüssigkeit unter Überwindung des vor der Ausgangsleitung angeordneten Rückschlagventiles aus dem Zylinder ausgestossen werden kann. Wenn der Förderdruck erreicht ist, bleibt der Druck im Zylinder konstant. Das Ausgangssignal des Sensors 16 wird einem Mikroprozessor 18 zugeführt, der auf den Zeitpunkt anspricht, in dem der Druck vom ansteigenden Teil in den konstanten Teil übergeht, und anhand des vom Fühler 36 auf der Leitung 37 gelieferten Signales feststellt, wie gross der Hub des Kolbens bis zum Erreichen des Förderdruckes war.

Aufgrund dieser Daten veranlasst der Mikroprozessor 18 eine Änderung des Teilverhältnisses  $n$  des Teilers 53, um so die Frequenz  $f$  der von der Impulsquelle 51 gelieferten Steuerimpulse um soviel zu erhöhen, dass das infolge der Kompression verminderte Fördervolumen durch eine Erhöhung der Drehzahl des Schrittmotors 23 kompensiert wird.

Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf das dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt ist, sondern Abweichungen davon möglich sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Solche Abweichungen können sowohl den mechanischen Aufbau der Pumpe betreffen, insbesondere die Anzahl der verwendeten Zylinder, obwohl eine Erhöhung der Zylinderzahl nicht zweckmässig erscheint, weil einerseits jeder zusätzliche Zylinder einen erhöhten mechanischen Aufwand bedeutet, der ohne Einfluss auf den Aufbau des Regelsystems bleibt, und andererseits eine Erhöhung der Zylinderzahl entweder eine Verminderung des Hubvolumens pro Zylinder und/oder eine Verminderung der Motordrehzahl zur Folge haben muss, wenn die gleiche Förderleistung erzielt werden soll. Beides erscheint jedoch ungünstig. Ebenso versteht es sich, dass das Regelsystem selbst in abweichender Weise ausgebildet sein kann, beispielsweise durch die verstärkte Anwendung analoger oder digitaler Bauelemente, sowie auch beispielsweise durch den Verzicht auf die Kompensation der Flüssigkeits-Kompression bei hohen Drücken. In dem Fall könnte auch der Mikroprozessor 18 völlig entfallen und der Einsteller 55 unmittelbar mit dem 1 :  $n$ -Teiler 53 gekoppelt sein.

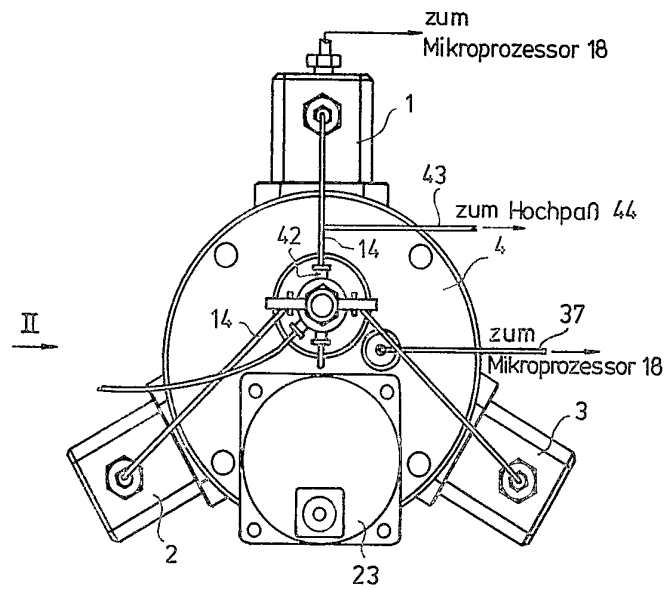


Fig. 1

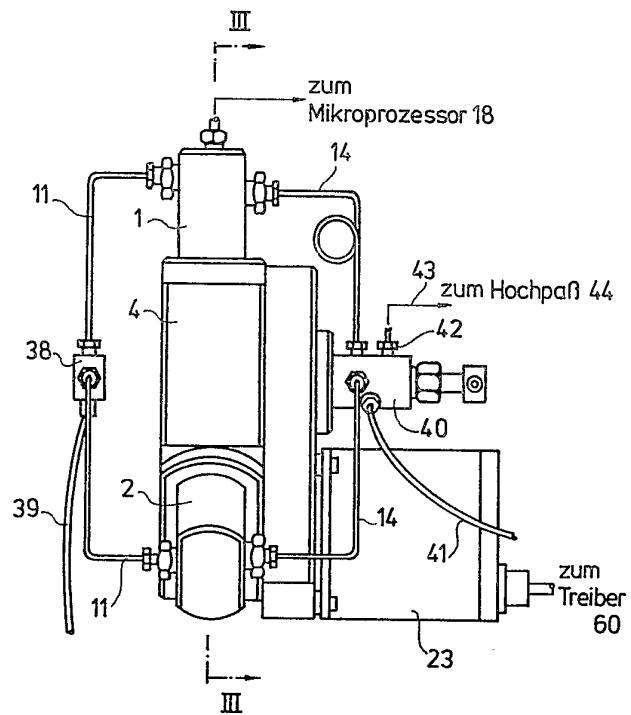


Fig. 2

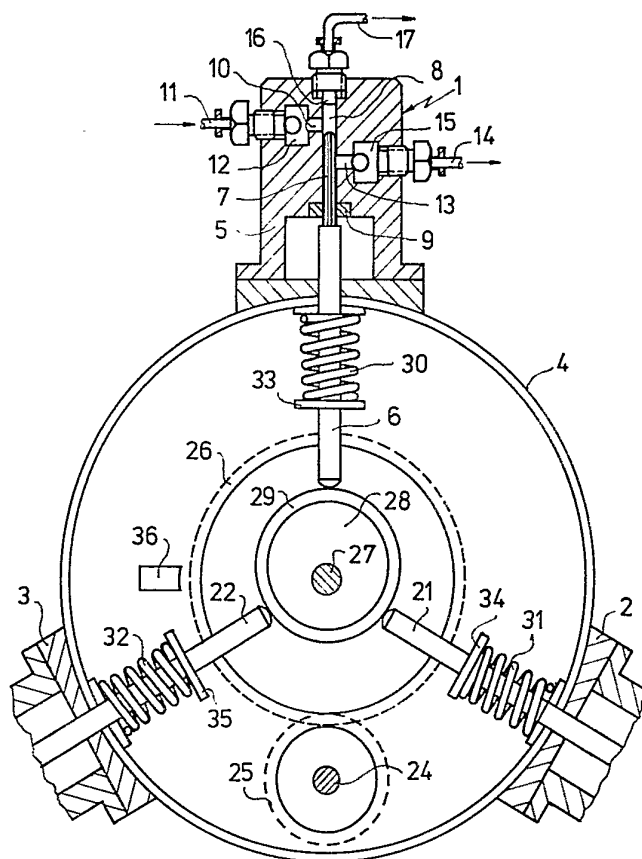


Fig. 3

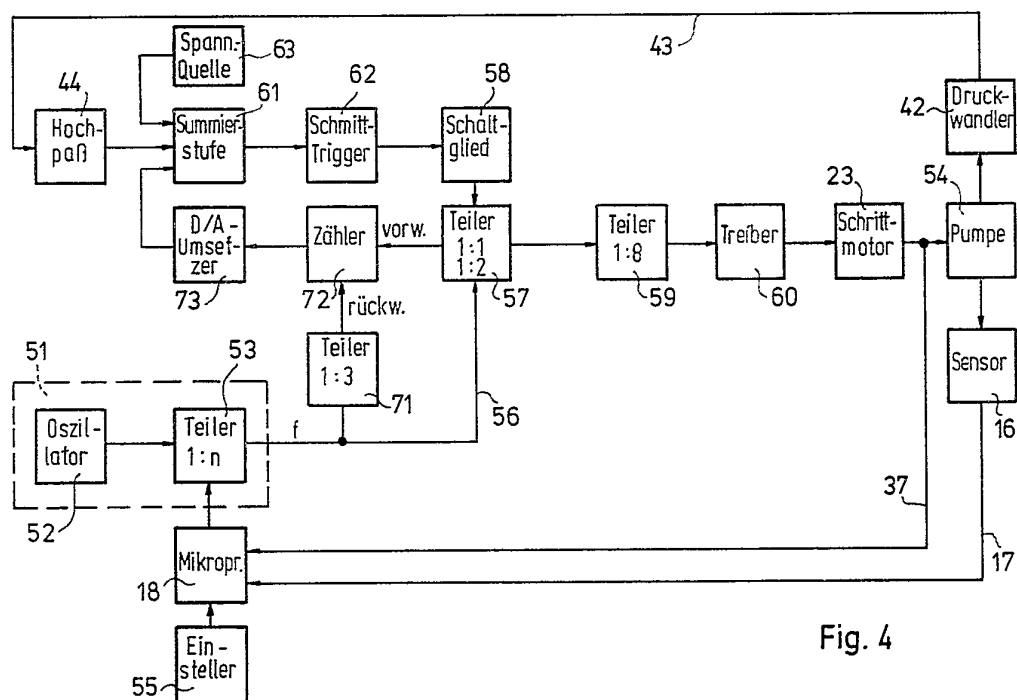


Fig. 4