

(19)



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU103048

(12)

**BREVET D'INVENTION****B1**

(21)

N° de dépôt: LU103048

(51)

Int. Cl.:  
B60G 17/08

(22)

Date de dépôt: 07/12/2022

(30)

Priorité:

(43)

Date de mise à disposition du public: 07/06/2024

(47)

Date de délivrance: 07/06/2024

(73)

Titulaire(s):  
THYSSENKRUPP AG – 45143 Essen (Allemagne),  
THYSSENKRUPP BILSTEIN GMBH –  
58256 Ennepetal (Allemagne)

(72)

Inventeur(s):  
SCHMIDT Klaus – Allemagne, GESENHUES Ludger –  
Allemagne, GÖTZ Ole – Allemagne, KILLERT Vitali –  
Allemagne

(74)

Mandataire(s):  
THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –  
45143 Essen (Allemagne)

(54)

**Verfahren zum Einstellen einer Dämpfungskraft und ein Dämpfungssystem für ein Kraftfahrzeug.**

(57)

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einstellen einer Dämpfungskraft eines Dämpfungssystems (10) für ein Kraftfahrzeug, wobei das Dämpfungssystem (10) aufweist: einen zumindest teilweise mit Hydraulikfluid gefüllten Arbeitszylinder (14) und eine Druckeinstellungsanordnung (24) aufweisend eine Pumpe (28), einen Hydraulikspeicher (26), ein erstes Ventil (44) und ein zweites Ventil (46), die jeweils über Hydraulikleitungen (32-39) mit dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum (20, 22) verbunden sind und wobei die Ventilstellung der Ventile (44, 46), insbesondere stufenlos, einstellbar ist, wobei die Ventilstellung der Ventile (44, 46) und/ oder der Volumenstrom und/oder die Drehzahl der Pumpe (28) in Abhängigkeit eines vorgebbaren und auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraftsollwertes (Fsoll) gesteuert/ geregelt wird.

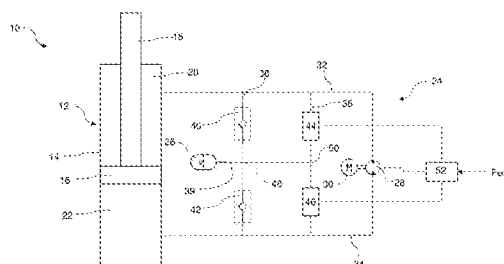


Fig. 1

## **Verfahren zum Einstellen einer Dämpfungskraft und ein Dämpfungssystem für ein Kraftfahrzeug**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einstellen einer Dämpfungskraft eines  
5 Dämpfungssystems für ein Kraftfahrzeug, sowie ein Dämpfungssystem für ein Kraftfahrzeug.

Aus der DE102019115492B4 ist ein aktives Dämpfungssystem bekannt. Bei einem  
aktiven Dämpfungssystem handelt es sich beispielsweise um ein Dämpfungssystem mit  
10 einer Pumpe mittels welcher der Druck in den Zylinderkammern aktiv beeinflussbar ist.  
Aus dem Stand der Technik bekannte aktive Dämpfungssysteme weisen häufig eine  
Vielzahl von Hydraulikkomponenten und Sensoren auf, um eine gezielte Einstellung des  
Drucks und der gewünschten Dämpfwirkung zur ermöglichen. Damit sind meist hohe  
Herstellungs- und Wartungskosten verbunden.

15 Davon ausgehend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Dämpfungssystem  
bereitzustellen, das eine aktive Dämpfung ermöglicht und kostengünstig und einfach  
herstellbar ist.

20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des  
unabhängigen Verfahrensanspruchs 1 und durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen  
des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs 8 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen  
ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

25 Nach einem ersten Aspekt umfasst die Erfindung ein Verfahren zum Einstellen einer  
Dämpfungskraft eines Dämpfungssystems für ein Kraftfahrzeug, wobei das  
Dämpfungssystem aufweist:

einen zumindest teilweise mit Hydraulikfluid gefüllten Arbeitszylinder und einen innerhalb  
des Arbeitszylinders angeordneten und axial bewegbaren Arbeitskolben mit einer  
30 Kolbenstange, wobei der Arbeitskolben den Arbeitszylinder in einen ersten Arbeitsraum  
und einen zweiten Arbeitsraum teilt, und

eine Druckeinstellungsanordnung zur Einstellung des Drucks in dem ersten und dem  
zweiten Arbeitsraum, wobei die Druckeinstellungsanordnung eine Pumpe, einen

Hydraulikspeicher, ein erstes Ventil und ein zweites Ventil umfasst, die jeweils über Hydraulikleitungen mit dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum verbunden sind und wobei die Ventilstellung der Ventile, insbesondere stufenlos, einstellbar ist,

- Das Verfahren umfasst das Steuern/ Regeln der Ventilstellung der Ventile und/ oder des
- 5 Volumenstroms und/oder der Drehzahl der Pumpe in Abhängigkeit eines vorgebbaren und auf die Kolbenstange wirkenden Kraftsollwertes  $F_{\text{soll}}$ .

- Das Dämpfungssystem umfasst vorzugsweise einen Schwingungsdämpfer mit dem Arbeitszylinder und dem Arbeitskolben. Bei dem Schwingungsdämpfer handelt es sich
- 10 beispielsweise um einen Einrohrschwingungsdämpfer oder einen Mehrrohrschwingungsdämpfer. Ein Schwingungsdämpfer, insbesondere ein Mehrrohrschwingungsdämpfer, für ein Fahrzeug umfasst beispielsweise ein Außenrohr und ein koaxial zu diesem angeordnetes Innenrohr, insbesondere der Arbeitszylinder, wobei zwischen dem Außenrohr und dem Innenrohr ein Ausgleichsraum zur Aufnahme
- 15 von Hydraulikfluid ausgebildet ist, und einen mit einer Kolbenstange verbundener Arbeitskolben, der innerhalb des Innenrohrs hin und her bewegbar angeordnet ist, wobei der Innenraum des Innenrohrs durch den Arbeitskolben in einen ersten Arbeitsraum und einen zweiten Arbeitsraum unterteilt wird.

- Bei dem Schwingungsdämpfer handelt es sich beispielsweise um einen
- 20 Mehrrohrschwingungsdämpfer, wobei der Ausgleichsraum teilweise, insbesondere an dem oberen Ende, mit einem Gas gefüllt ist. Innerhalb des Ausgleichsraums ist vorzugsweise ein Mittelrohr koaxial zu dem Innenrohr und dem Außenrohr angebracht und insbesondere an dem Innenrohr angebracht. Der Ausgleichsraum ist insbesondere
- 25 als Ringraum ausgebildet und wird von dem Außenrohr und dem Mittelrohr oder dem Innenrohr begrenzt. Das Außenrohr bildet vorzugsweise zumindest teilweise das Gehäuse des Schwingungsdämpfers aus. Die Innenfläche des Innenrohrs ist vorzugsweise als Führung des Arbeitskolbens ausgebildet. Der Arbeitskolben weist vorzugsweise eine Ventileinrichtung auf, durch welche der erste und der zweite
- 30 Arbeitsraum miteinander verbunden sind. Optional ist der Mehrrohrschwingungsdämpfer ohne Mittelrohr und mit einem externem Gasraum ausgebildet.

Der Schwingungsdämpfer weist insbesondere ein Verschlusspaket auf, das dazu ausgebildet und angeordnet ist, den Innenraum des Außenrohrs kolbenstangenseitig fluidtechnisch abzudichten. Das kolbenstangenseitige Ende des Innenrohrs ist vorzugsweise an dem Verschlusspaket befestigt. Gegenüberliegend zu dem Verschlusspaket, an dem kolbenstangenfernen Ende, ist der Innenraum des Außenrohrs vorzugsweise mittels eines Bodenstücks fluidtechnisch abgedichtet. An dem Bodenstück ist optional ein Bodenventil angeordnet, das insbesondere an dem kolbenstangenfernen Ende des Innenrohrs angebracht ist. Der zweite Arbeitsraum ist vorzugsweise über das Bodenventil mit dem Ausgleichsraum fluidtechnisch verbunden. Bei dem Bodenventil handelt es sich vorzugsweise um ein Rückschlagventil, das in beide oder nur eine Richtung durchströmbar ist. Beispielsweise ist das Bodenventil in Zugrichtung, bei einer Kolbenbewegung in Richtung aus dem Innenrohr hinaus, als Rückschlagventil ausgebildet und in Druckrichtung, bei einer Kolbenbewegung in das Innenrohr hinein, als ein kennungserzeugendes Ventil ausgebildet.

Die Druckeinstellungsanordnung ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie den Druck innerhalb der Arbeitsräume, insbesondere die auf den Arbeitskolben wirkende Kraft, einstellt. Insbesondere ist die Druckeinstellungsanordnung zur Einstellung der Dämpfungskraft des Dämpfungssystems ausgebildet.

Bei der Pumpe handelt es sich vorzugsweise um eine bidirektionale Hydropumpe mit zumindest zwei Anschlüssen zur jeweiligen Verbindung mit einer Hydraulikleitung, wobei die Anschlüsse jeweils als Einlass oder als Auslass der Hydropumpe betreibbar sind. Vorzugsweise ist die Rotationsrichtung der Pumpe umkehrbar, sodass sie in beide Richtungen jeweils im Saug- oder Druckmodus betreibbar ist. Bei dem Hydraulikspeicher handelt es sich beispielsweise um einen insbesondere druckbeaufschlagten und mit Hydraulikfluid und Gas gefüllten Speicher. Die Pumpe ist vorzugsweisen mit einem Motor, insbesondere mit einem Elektromotor, zum Antrieb der Pumpe verbunden.

Bei den Ventilen handelt es sich vorzugsweise um stufenlos verstellbare Ventile, insbesondere Magnetventile. Vorzugsweise ist der hydraulische Widerstand der Ventile einstellbar. Unter der Ventilstellung ist insbesondere die Stellung eines Stellschiebers des Ventils zu verstehen, der einen Strömungskanal freigibt oder verschließt, sodass sich der

hydraulische Widerstand mit unterschiedlichen Ventilstellungen ändert. Vorzugsweise weisen die Ventile jeweils eine Magnetspule auf, die mit Strom beaufschlagbar ist und die Stellung des Stellschiebers und somit die Ventilstellung beeinflusst.

- 5 Bei dem Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  handelt es sich um einen manuell oder automatisch vorgebbaren Kraftwert, der die auf die Kolbenstange wirkende Sollkraft, insbesondere die Dämpfungskraft, darstellt. Beispielsweise wird der Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  aus vorgegebenen Daten, wie beispielsweise der Druck innerhalb der Arbeitsräume, berechnet. Der Kraftsollwert wird beispielsweise in Abhängigkeit von über Sensoren ermittelten und/ oder  
10 vorgegebenen Fahrzeugdaten berechnet. Bei den Fahrzeugdaten handelt es sich beispielsweise Beschleunigung oder Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

- Eine Einstellung der Ventilstellung der Ventile und/ oder des Volumenstroms und/ oder der Drehzahl der Pumpe in Abhängigkeit des vorgebbaren Kraftsollwertes  $F_{\text{soll}}$  bietet den  
15 Vorteil einer einfachen, insbesondere modellbasierten, Einstellung der Ventile und der Pumpe, wobei auf die Messung des Drucks durch Drucksensoren, insbesondere in den Zu- und Ableitungen der Pumpe, verzichtet werden kann.

- Die Druckeinstellungsanordnung umfasst vorzugsweise eine Mehrzahl von  
20 Hydraulikleitungen zur Verbindung der Pumpe und des Hydraulikspeichers mit den Ventilen und dem ersten Arbeitsraum und dem zweiten Arbeitsraum des Schwingungsdämpfers. Die Druckeinstellungsanordnung umfasst vorzugsweise zumindest zwei Rückschlagventile. Die Rückschlagventile sind beispielsweise in Reihe zueinander und parallel zu den Ventilen, der Pumpe und/ oder dem Hydraulikspeicher  
25 geschaltet.

- Die Pumpe ist vorzugsweise über eine Hydraulikleitung mit dem ersten Arbeitsraum des Schwingungsdämpfers und insbesondere über eine weitere Hydraulikleitung mit dem zweiten Arbeitsraum des Schwingungsdämpfers verbunden. Die Ventile sind  
30 insbesondere in Reihe zueinander geschaltet und über eine Hydraulikleitung mit der Pumpe verbunden, wobei die Ventile insbesondere parallel zu der Pumpe geschaltet sind. Beispielsweise sind die Ventile derart ausgebildet, dass sie jeweils ausschließlich in einer Richtung durchströmbar sind. Vorzugsweise ist ein Ventil in der Druckstufe und

das andere Ventil in der Zugstufe durchströmbar. In diesem Fall sind die Ventile vorzugsweis in Reihe mit jeweils einem der Rückschlagventile geschaltet.

Der Hydraulikspeicher ist vorzugsweise über eine Hydraulikleitung mit den beiden Rückschlagventilen derart verbunden, dass der Verbindungsknoten der Hydraulikleitungen zwischen den beiden Rückschlagventilen angeordnet ist. Der Hydraulikspeicher ist vorzugsweise über die Hydraulikleitung zusätzlich mit den beiden Ventilen derart verbunden, dass der Verbindungsknoten der Hydraulikleitungen zwischen den beiden Ventilen angeordnet ist.

Die Druckeinstellungsanordnung ist vorzugsweise zur Beeinflussung der Dämpfungskennlinie des Schwingungsdämpfers ausgebildet und mit diesem verbunden. Die Druckeinstellungsanordnung ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie eine aktive oder eine passive Dämpfung des Schwingungsdämpfers ermöglicht. Bei einer passiven Dämpfung wird vorzugsweise kein zusätzlicher Druck über die Pumpe und/ oder den Hydraulikspeicher in den Schwingungsdämpfer aufgegeben, wobei bei einer aktiven Dämpfung eine Druckerhöhung in zumindest einem Arbeitsraum über die Pumpe und/ oder den Hydraulikspeicher erfolgt.

Bei dem Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  handelt es sich um einen Sollwert für die auf die Kolbenstange wirkende Kraft, insbesondere die mittels des Hydraulikdrucks auf die Kolbenstange wirkende Kraft. Der Kraftsollwert ist daher der Kraftwert, der auf die Kolbenstange wirken soll, insbesondere gewünscht ist.

Gemäß einer ersten Ausführungsform wird die tatsächlich auf die Kolbenstange wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  ermittelt. Anschließend wird vorzugsweise eine Kraftabweichung  $\Delta F$  zwischen dem Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  und der tatsächlichen Kraft  $F_{\text{ist}}$  ermittelt und die Ventilstellung der Ventile und/ oder der Volumenstrom und/ oder die Drehzahl der Pumpe wird in Abhängigkeit der ermittelten Kraftabweichung  $\Delta F$  eingestellt, insbesondere gesteuert/ geregelt. Die Ermittlung der tatsächlich auf die Kolbenstange wirkenden Kraft  $F_{\text{ist}}$  erfolgt vorzugsweise modellbasiert, vorzugsweise mittels eines vorabbestimmten Modells. Aus der Kraftabweichung  $\Delta F$  wird dazu vorzugsweise ein erforderlicher Druck in den jeweiligen Arbeitsräumen ermittelt und die Ventilstellungen der Ventile und/ oder die

Drehzahl oder der Volumenstrom der Pumpe wird derart eingestellt, dass der jeweils erforderliche Druck erreicht wird. Beispielsweise wird der Volumenstrom oder die Drehzahl der Pumpe und/ oder der Strom oder die Spannung an der Pumpe und/ oder den Ventilen in Abhängigkeit der Kraftabweichung  $\Delta F$  erhöht oder verringert.

- 5 Vorzugsweise wird der Volumenstrom oder die Drehzahl der Pumpe erhöht, wenn der Kraft Sollwert  $F_{\text{soll}}$  größer ist als der Kraft Istwert  $F_{\text{ist}}$ .

- 10 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Ventilstellung und/ oder die an den Ventilen anliegenden Spannung und/ oder Stromstärke beispielsweise mittels eines Sensors SV ermittelt oder vorgegeben und daraus die tatsächliche auf die Kolbenstange wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  ermittelt. Die Ventilstellung und/ oder die an den Ventilen anliegenden Spannung und/ oder Stromstärke wird beispielsweise manuell oder automatisch über eine Steuerung/Regelung vorgegeben. Die Ermittlung der Kraft  $F_{\text{ist}}$  erfolgt vorzugsweise modellbasiert. Die Kraft  $F_{\text{ist}}$  wird vorzugsweise nicht mittels aus einem Drucksensor erhaltenen Druckwerten berechnet. Der Sensor SV ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass er die Ventilstellung misst oder aus Messwerten, wie beispielsweise Stromstärke oder Spannung, ermittelt. Der Sensor SV ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass dieser die Stromstärke und/ oder die Spannung an den Ventilen ermittelt und optional daraus eine Ventilstellung berechnet. Unter einem Sensor ist im Sinne dieser Anmeldung
- 15 auch eine Vorrichtung zur indirekten Ermittlung der Spannung, Stromstärke und/oder der Ventilstellung zu verstehen.
- 20

- Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die an der Pumpe anliegenden Spannung, Stromstärke, Volumenstrom und/ oder Drehzahl der Pumpe mittels eines Sensors SP und daraus die tatsächliche auf die Kolbenstange wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  ermittelt. Die Ermittlung der Kraft  $F_{\text{ist}}$  erfolgt vorzugsweise modellbasiert. Unter einem Sensor ist im Sinne dieser Anmeldung auch eine Vorrichtung zur indirekten Bestimmung Spannung, Stromstärke, Volumenstrom und/ oder Drehzahl der Pumpe zu verstehen.
- 25

- 30 Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt die Ermittlung der tatsächlich auf die Kolbenstange wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  modellbasiert mittels eines vorab bestimmten Pumpenmodells, das den Pumpendruck über den Arbeitsbereich der Pumpe umfasst, erfolgt. Insbesondere wird dazu ein mathematisches Pumpenmodell vorab bestimmt und

in der Dämpfungseinrichtung, vorzugsweise einer Steuerungs-/Regelungseinrichtung, hinterlegt. Das Pumpenmodell ordnet vorzugsweise den mittels der Sensoren SV oder SP ermittelten Werten einen bestimmten Pumpendruck und/ oder auf eine auf die Kolbenstange wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  zu. Bei dem mathematischen Pumpenmodell handelt es

5 sich vorzugsweise um ein mittels an einem Prüfstand durchgeführter Versuchsreihen und anschließender Validierung erhaltenes mathematisches Modell zur Abbildung der Leistung und des Arbeitsbereichs der Pumpe. Dazu werden beispielsweise der Pumpendruck, der Volumenstrom, die Drehzahl, die Spannung, die Stromaufnahme der Pumpe und/ oder die an der Kolbenstange anliegende Kraft über entsprechende

10 Sensoren über den Arbeitsbereich der Pumpe gemessen und daraus ein mathematisches Modell erstellt, das den über die Sensoren SV und SP ermittelbaren Werten einen entsprechenden Pumpendruck oder Kraftwert  $F_{\text{ist}}$  zugeordnet. Bei dem Pumpenmodell handelt es sich vorzugsweise um ein dynamisches Pumpenmodell, das im Betrieb des Dämpfungssystems anpassbar ist.

15

Durch die Erstellung eines Pumpenmodells kann auf Drucksensoren zur Ermittlung des Pumpendrucks mittels Drucksensoren verzichtet werden, wodurch das Dämpfungssystem insgesamt kostengünstiger herstellbar und wartungsärmer ist.

20 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Pumpenmodell kontinuierlich überwacht und korrigiert. Vorzugsweise wird im Betrieb des Dämpfungssystems ein Korrekturfaktor ermittelt. Insbesondere wird der Korrekturfaktor im Betrieb des Dämpfungssystems auf das Pumpenmodell angewandt zur Anpassung des Pumpenmodells an beispielsweise unterschiedliche Umgebungsbedingungen und

25 insbesondere zum Ausgleich von Abweichungen zwischen dem Modell und der Realität. Vorzugsweise wird der Korrekturfaktor bei der Ermittlung des Kraftwertes  $F_{\text{ist}}$  mittels des Pumpenmodells berücksichtigt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird mittels eines Sensors SF die

30 Beschleunigung und/ oder der Höhenstand des Schwingungsdämpfers und/ oder die absolute Beschleunigung des Fahrzeugs und/oder die Radbeschleunigung oder Daten der IMU (inertial Measurement Unit) ermittelt und der Korrekturfaktor  $\mu$  zur Korrektur des Pumpenmodells aus den mittels des Sensors SF ermittelten Werten berechnet. Der

Sensor SF ist beispielsweise an der Karosserie eines Kraftfahrzeugs und/oder einem Fahrzeuggrad, insbesondere der Achse, angebracht. Vorzugsweise wird aus dem ermittelten Kraftistwert  $F_{\text{ist}}$  ein Wert für die Beschleunigung und/ oder den Höhenstand des Schwingungsdämpfers und/ oder die absolute Beschleunigung des Fahrzeugs ermittelt. Insbesondere wird anschließend die berechnete Beschleunigung und/ oder der Höhenstand und/ oder die absolute Beschleunigung des Fahrzeugs und mit der mittels des Sensors SF gemessenen Daten verglichen und beispielsweise eine jeweilige Abweichung berechnet. Vorzugsweise wird aus der jeweiligen Abweichung ein Korrekturfaktor  $\mu$  zur Korrektur des Pumpenmodells bestimmt. Der Korrekturfaktor wird an das Pumpenmodell übermittelt, wobei das Pumpenmodell vorzugsweise mittels des Korrekturfaktors korrigiert wird. Anschließend wird insbesondere ein Kraftistwert  $F_{\text{ist}}$  berechnet, der den ermittelten Korrekturfaktor des Pumpenmodells berücksichtigt.

Die Erfindung umfasst auch ein Dämpfungssystem für ein Kraftfahrzeug aufweisend einen zumindest teilweise mit Hydraulikfluid gefüllten Arbeitszylinder, einen innerhalb des Arbeitszylinders angeordneten und axial bewegbaren Arbeitskolben mit einer Kolbenstange, wobei der Arbeitskolben den Arbeitszylinder in einen ersten Arbeitsraum und einen zweiten Arbeitsraum teilt, und eine Druckeinstellungsanordnung zur Einstellung des Drucks in dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum, wobei die Druckeinstellungsanordnung eine Pumpe, einen Hydraulikspeicher, ein erstes Ventil und ein zweites Ventil umfasst, die jeweils über Hydraulikleitungen mit dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum verbunden sind und wobei die Ventile derart ausgebildet sind, dass die Ventilstellung, insbesondere stufenlos, einstellbar ist. Das Dämpfungssystem weist eine Steuerungs-/ Regelungseinrichtung auf, die mit der Pumpe und den Ventilen verbunden ist und derart ausgebildet ist, dass sie die Ventilstellung der Ventile und/ oder den Volumenstrom und/ oder die Drehzahl der Pumpe in Abhängigkeit eines vorgebbaren und auf die Kolbenstange wirkenden Kraftsollwertes  $F_{\text{soll}}$  einstellt, insbesondere steuert/ regelt.

Die vorangehend mit Bezug auf das Verfahren beschriebenen Ausführungsformen, Merkmale und Vorteile treffen in vorrichtungsgemäßer Entsprechung ebenfalls auf das Dämpfungssystem zu.

Die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung ist vorzugsweise zur Steuerung/ Regelung und zur Übermittlung von Daten mit der Pumpe, insbesondere dem Motor, und dem ersten und dem zweiten Ventil verbunden. Insbesondere ist die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung zur Übermittlung von Daten mit den Sensoren SF, SV und SP verbunden.

Gemäß einer Ausführungsform ist die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung zur Ermittlung der tatsächlichen auf die Kolbenstange wirkenden Kraft  $F_{\text{ist}}$  ausgebildet, wobei die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung dazu ausgebildet ist eine Kraftabweichung  $\Delta F$  zwischen dem Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  und der Kraft  $F_{\text{ist}}$  zu ermitteln und die Ventilstellung der Ventile und/ oder den Volumenstrom und/ oder die Drehzahl der Pumpe in Abhängigkeit der ermittelten Kraftabweichung  $\Delta F$  zu steuern/ regeln.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Druckeinstellungsanordnung zumindest einen Sensor SV zur Ermittlung oder eine Steuerung zur Vorgabe der Ventilstellung und/ oder der an den Ventilen anliegenden Spannung und/ oder Stromstärke auf, wobei der Sensor SV oder die Steuerung mit der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung verbunden ist und diese dazu ausgebildet ist, die tatsächlich auf die Kolbenstange wirkenden Kraft  $F_{\text{ist}}$  aus den mittels des Sensors SV ermittelten oder der Steuerung vorgegebenen Daten zu ermitteln.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Druckeinstellungsanordnung einen Sensor SP zur Ermittlung der an der Pumpe anliegenden Spannung, Stromstärke, Volumenstrom und/ oder Drehzahl der Pumpe auf und wobei der Sensor SP mit der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung verbunden ist und diese dazu ausgebildet ist, die tatsächlich auf die Kolbenstange wirkenden Kraft  $F_{\text{ist}}$  aus den mittels des Sensors SP ermittelten Daten zu ermitteln.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung ein Pumpenmodell auf, das den Pumpendruck über den Arbeitsbereich der Pumpe umfasst und wobei die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung derart ausgebildet ist, die tatsächlich auf die Kolbenstange wirkenden Kraft  $F_{\text{ist}}$  aus dem Pumpenmodell zu ermitteln.

Vorzugsweise ist das vorabbestimmte Pumpenmodell in der Steuerungs-/Regelungseinrichtung hinterlegt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Druckeinstellungsanordnung einen Sensor SF zur Ermittlung der Beschleunigung und/ oder des Höhenstands des Schwingungsdämpfers auf, der mit der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung verbunden ist und wobei die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung derart ausgebildet ist, dass sie einen Korrekturfaktor zur Korrektur des Pumpenmodells aus den mittels des Sensors SF ermittelten Werten berechnet.

Die Erfindung umfasst auch ein Kraftfahrzeug mit einem Fahrwerk und einem daran angebrachten Dämpfungssystem wie vorangehend beschrieben. Vorzugsweise sind die Sensoren SF zur Ermittlung der Beschleunigung und/oder des Höhenstands des Schwingungsdämpfers und/ oder der Radbeschleunigung und/oder IMU Datensensoren, wie beispielsweise Navigationsdatensensoren, an dem Fahrwerk des Kraftfahrzeugs angebracht.

Die Erfindung umfasst auch ein Computerprogrammprodukt zur Steuerung des vorangehend beschriebenen Verfahrens zum Einstellen einer Dämpfungskraft eines Dämpfungssystems für ein Kraftfahrzeug.

## **Beschreibung der Zeichnungen**

Die Erfindung ist nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beiliegenden Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Dämpfungssystems gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Steuerungs-/Regelungseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Steuerungs-/Regelungseinrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

- Fig. 1 zeigt eine Dämpfungssystem 10 für ein Kraftfahrzeug. Insbesondere ist ein solches
- 5 Dämpfungssystem an einem Fahrwerk eines hier nicht dargestellten Kraftfahrzeugs angebracht. Das Dämpfungssystem 10 umfasst beispielhaft einen Schwingungsdämpfer 12, insbesondere einen Einrohrschwingungsdämpfer, mit einem Arbeitszylinder 12. Innerhalb des Arbeitszylinders 12 ist ein Arbeitskolben 16 angeordnet, der vorzugsweise in axialer Richtung des Arbeitszylinders 14 bewegbar angebracht ist. An dem
- 10 Arbeitskolben 16 ist eine Kolbenstange 18 angebracht, die sich in axialer Richtung mittig durch den Arbeitszylinder 14 und aus diesem heraus erstreckt. Der Arbeitskolben 16 ist vorzugsweise hydraulisch abdichtend innerhalb des Arbeitszylinders 14 geführt und teilt den Arbeitszylinder 14 in einen ersten kolbenstangenseitigen Arbeitsraum 20 und einen zweiten kolbenstangenfernen Arbeitsraum 22. Der Arbeitskolben 16 umfasst
- 15 vorzugsweise eine Ventilanordnung, insbesondere zur Begrenzung einer maximalen Druckdifferenz zwischen den beiden Arbeitsräumen 20, 22. Bei dem Schwingungsdämpfer kann es sich auch um einen Mehrrohrschwingungsdämpfer handeln.
- 20 Das Dämpfungssystem 10 umfasst des Weiteren eine Druckeinstellungsanordnung 24 zur Einstellung der auf die Kolbenstange wirkenden Dämpferkraft, insbesondere zur Einstellung des Drucks innerhalb des ersten Arbeitsraums 20 und des zweiten Arbeitsraums 22. Die Druckeinstellungsanordnung 24 umfasst beispielhaft einen Hydraulikspeicher 26 und eine Pumpe 28. Die Pumpe 28 ist vorzugsweise mit einem
- 25 Motor 30, insbesondere mit einem Elektromotor, verbunden. Bei der Pumpe 28 handelt es sich vorzugsweise um eine bidirektionale Hydropumpe mit zumindest zwei Anschlüssen zur Verbindung mit einer jeweiligen Hydraulikleitung, wobei die Anschlüsse jeweils als Einlass oder als Auslass der Hydropumpe betreibbar sind. Die Druckeinstellungsanordnung 24 umfasst eine Mehrzahl von Hydraulikleitungen 32 bis 38
- 30 zur Verbindung der Pumpe 28 und des Hydraulikspeichers 26 mit dem ersten Arbeitsraum 22 und dem zweiten Arbeitsraum 24 des Schwingungsdämpfers 20. Die Druckeinstellungsanordnung 24 umfasst vorzugsweise zumindest zwei Rückschlagventile 40, 42. Des Weiteren umfasst die Druckeinstellungsanordnung 24

insbesondere zumindest zwei Ventile, ein erstes Ventil 44 und ein zweites Ventil 46, wobei der hydraulische Widerstand der Ventile 44, 46, insbesondere stufenlos, einstellbar ist. Optional sind die Ventile 44, 46 jeweils ausschließlich in einer Richtung durchströmbar ausgebildet. Beispielsweise handelt es sich bei den Ventilen 44, 46 um in einer Richtung durchströmbare Magnetventile. Insbesondere ist das erste Ventil 44 ausschließlich in der Zugstufe und das zweite Ventil 46 ausschließlich in der Druckstufe durchströmbar.

Die Pumpe 28 ist beispielhaft über eine erste Hydraulikleitung 32 mit dem ersten Arbeitsraum 20 des Schwingungsdämpfers 12 und insbesondere über eine zweite Hydraulikleitung 34 mit dem zweiten Arbeitsraum 22 des Schwingungsdämpfers 12 verbunden. Die Ventile 44, 46 sind in Reihe zueinander geschaltet und über eine dritte Hydraulikleitung 36 mit der ersten und der zweiten Hydraulikleitung 32, 34 verbunden, wobei die Ventile 44, 46 parallel zu der Pumpe 28 geschaltet sind. Die Rückschlagventile 40, 42 sind in Reihe zueinander geschaltet und über eine vierte Hydraulikleitung 38 mit der ersten und der zweiten Hydraulikleitung 32, 34 verbunden, wobei die Rückschlagventile 40, 42 parallel zu den Ventilen 44, 46 und der Pumpe 28 geschaltet sind.

Der Hydraulikspeicher 26 ist über eine fünfte Hydraulikleitung 39 mit der dritten und der vierten Hydraulikleitung 36, 38 verbunden, wobei der erste hydraulische Verbindungsknoten 48 zur Verbindung der fünften Hydraulikleitung 39 mit der vierten Hydraulikleitung 38 zwischen den beiden Rückschlagventilen 40, 42 angeordnet ist. Der zweite Verbindungsknoten 50 zur Verbindung der fünften Hydraulikleitung 39 mit der dritten Hydraulikleitung 36 ist beispielhaft zwischen den beiden Ventilen 44, 46 angeordnet, sodass der Hydraulikspeicher 26 insbesondere über den ersten und den zweiten Verbindungsknoten 48, 50 mit den Ventilen 44, 46 verbunden ist. Bei den Ventilen 44, 46 handelt es sich beispielsweise um stufenlos einstellbare Ventile, wie beispielsweise Magnetventile.

Die Druckeinstellungsanordnung 24 ist vorzugsweise zur Beeinflussung der Dämpfungskennlinie des Schwingungsdämpfers 12 mit diesem verbunden. Die Druckeinstellungsanordnung 24 ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie eine aktive, eine semi-aktive oder eine passive Dämpfung des Schwingungsdämpfers 12 ermöglicht.

Bei einer passiven Dämpfung wird vorzugsweise kein zusätzlicher Druck über die Pumpe 28 und/ oder den Hydraulikspeicher 26 in den Schwingungsdämpfer 12 aufgegeben. Des Weiteren weisen die Ventile 44, 46 bei einer passiven Dämpfung vorzugsweise eine konstante, unveränderbarer Ventilstellung auf. Bei einer semi-aktiven Dämpfung wird vorzugsweise kein zusätzlicher Druck über die Pumpe 28 und/ oder den Hydraulikspeicher 26 in den Schwingungsdämpfer 12 aufgegeben, wobei die Ventilstellung der Ventile 44, 46 veränderbar ist. Bei einer aktiven Dämpfung wird eine Druckerhöhung in zumindest einem Arbeitsraum 20, 22 über die Pumpe 28 und/ oder den Hydraulikspeicher 26 erreicht wird, wobei die Ventilstellungen der Ventile 44, 46 einstellbar ist.

Eine passive oder semi-aktive Dämpfung erfolgt mit dem Dämpfungssystem 10 der Fig. 1 beispielsweise bei einer Einfahrbewegung des Arbeitskolbens (Druckstufe) derart, dass der zweite Arbeitsraum 22 über die Ventile 44, 46 und das Rückschlagventil 40 mit dem ersten Arbeitsraum 20 hydraulisch verbunden ist. Vorzugsweise strömt das Hydraulikfluid von dem zweiten Arbeitsraum 22 in die zweite Hydraulikleitung 34 und anschließend in die dritte Hydraulikleitung 36 über die Ventile 44, 46. Im Anschluss an die Ventile strömt das Hydraulikfluid in die erste Hydraulikleitung 32 und in den ersten Arbeitsraum 20. Ein Teilstrom wird über den zweiten Verbindungsknoten 50 zwischen den beiden Ventilen 44, 46 abgezweigt und strömt über die fünfte Hydraulikleitung 39 und den ersten Verbindungsknoten 48 und das Rückschlagventil 40 in die erste Hydraulikleitung 32. Eine Einstellung der Dämpfungskennlinie erfolgt bei der passiven oder semi-aktiven Dämpfung vorzugsweise über die Einstellung des Strömungswiderstandes der Ventile 44, 46.

Bei einer passiven Dämpfung und einer Ausfahrbewegung des Arbeitskolbens (Zugstufe) ist der erste Arbeitsraum 20 über die Ventile 44, 46 und das Rückschlagventil 42 mit dem zweiten Arbeitsraum 22 hydraulisch verbunden. Vorzugsweise strömt das Hydraulikfluid von dem ersten Arbeitsraum 20 in die erste Hydraulikleitung 32 und anschließend in die dritte Hydraulikleitung 36 über die Ventile 44, 46. Im Anschluss an die Ventile strömt das Hydraulikfluid in die zweite Hydraulikleitung 34 und in den zweiten Arbeitsraum 22. Ein Teilstrom wird über den zweiten Verbindungsknoten 50 zwischen den beiden Ventilen 44, 46 abgezweigt und strömt über die fünfte Hydraulikleitung 39 und den ersten Verbindungsknoten 48 und das Rückschlagventil 42 in die zweite Hydraulikleitung 34.

Bei einer aktiven Dämpfung erfolgt beispielsweise eine Druckerhöhung in einem der Arbeitsräume 20, 22 insbesondere ohne eine Bewegung des Arbeitskolbens 16 innerhalb des Arbeitszylinders 14. Vorzugsweise erfolgt bei einer aktiven Dämpfung oder  
5 Aktivierung des Dämpfers zusätzlich zu der durch die Bewegung des Arbeitskolbens 16 bedingten Druckerhöhung in den Arbeitsräumen 20, 22 eine weitere Druckerhöhung mittels der Pumpe 28 und dem Hydraulikspeicher 26. Die Pumpe 28 ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie in Richtung der ersten Hydraulikleitung 32 oder der zweiten Hydraulikleitung 34 betreibbar ist. Bei einem Betrieb in Richtung der ersten  
10 Hydraulikleitung 32 ist diese mit dem Fluidauslass der Pumpe 28 verbunden. Insbesondere bei einer Änderung der Rotationsrichtung der Pumpe, ist diese in die andere Richtung, beispielsweise in Richtung der zweiten Hydraulikleitung 34 betreibbar, sodass die erste Hydraulikleitung 32 mit dem Fluideinlass und die zweite Hydraulikleitung 34 mit dem Fluidauslass der Pumpe 28 verbunden ist.

15

Eine aktive Dämpfung zur Erhöhung des Drucks innerhalb des ersten Arbeitsraums 20 erfolgt vorzugsweise bei einem Betrieb der Pumpe 28 in Richtung der ersten Hydraulikleitung 32. Zusätzlich ist vorzugsweise der Hydraulikspeicher 26 mit der Pumpe 28 verbunden, wobei das Hydraulikfluid aus dem Hydraulikspeicher 26 in die vierte  
20 Hydraulikleitung 38 über das Rückschlagventil 42 in die zweite Hydraulikleitung 34 strömt. Von der zweiten Hydraulikleitung 34 strömt das Hydraulikfluid vorzugsweise in den Fluideinlass der Pumpe 28 und anschließend in die erste Hydraulikleitung 32. Das über den Hydraulikspeicher 26 zusätzlich über die Pumpe 28 in die erste Hydraulikleitung 32 eingeleitete Hydraulikfluid sorgt für eine Druckerhöhung innerhalb der ersten  
25 Hydraulikleitung 32. Ein Teilstrom wird aus der ersten Hydraulikleitung 32 über die dritte Hydraulikleitung 36 und das erste Ventil 44 in den Hydraulikspeicher 26 zurückgeführt, wobei der übrige Teilstrom über die erste Hydraulikleitung 32 dem ersten Arbeitsraum 20 zugeführt wird und eine Druckerhöhung erzeugt.

30

Eine aktive Dämpfung zur Erhöhung des Drucks innerhalb des zweiten Arbeitsraums 22 erfolgt vorzugsweise bei einem Betrieb der Pumpe 28 in Richtung der zweiten Hydraulikleitung 34. Zusätzlich ist vorzugsweise der Hydraulikspeicher 26 mit der Pumpe 28 verbunden, wobei das Hydraulikfluid aus dem Hydraulikspeicher 26 in die vierte

Hydraulikleitung 38 über das Rückschlagventil 40 in die erste Hydraulikleitung 32 strömt. Von der ersten Hydraulikleitung 32 strömt das Hydraulikfluid vorzugsweise in den Fluideinlass der Pumpe 28 und anschließend in die zweite Hydraulikleitung 34. Das über den Hydraulikspeicher 26 zusätzlich über die Pumpe 28 in die zweite Hydraulikleitung 34 eingeleitete Hydraulikfluid sorgt für eine Druckerhöhung innerhalb der zweiten Hydraulikleitung 34. Ein Teilstrom wird aus der zweiten Hydraulikleitung 34 über die dritte Hydraulikleitung 36 und das zweite Ventil 46 in den Hydraulikspeicher 26 zurückgeführt, wobei der übrige Teilstrom über die zweite Hydraulikleitung 34 dem zweiten Arbeitsraum 22 zugeführt wird und eine Druckerhöhung erzeugt.

Das Dämpfungssystem 10 umfasst vorzugsweise eine Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52. Die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 ist beispielhaft zur Steuerung/Regelung und zur Übermittlung von Daten mit der Pumpe 28, insbesondere dem Motor 30, und dem ersten und dem zweiten Ventil 44, 46 verbunden.

Die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 ist insbesondere derart ausgebildet und eingerichtet, dass sie die Ventilstellung der Ventile 44, 46 und/oder den Volumenstrom der Pumpe 28 in Abhängigkeit eines vorgebbaren und auf die Kolbenstange 18 wirkenden Kraftsollwertes steuert/regelt.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 zur Einstellung einer Dämpfungskraft insbesondere einer Dämpfungscharakteristik des Dämpfungssystems der Fig. 1. Beispielhaft ist die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 Die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 umfasst beispielhaft eine erste Berechnungseinrichtung 54 zur Berechnung eines Istwertes für die an der Kolbenstange 18 und/oder dem Arbeitskolben 16 anliegenden Kraft. Des Weiteren umfasst die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 vorzugsweise eine zweite Berechnungseinrichtung 56 zur Berechnung der erforderlichen Ventilstellung der Ventile 44, 46 und/oder des erforderlichen Volumenstroms der Pumpe 28 in Abhängigkeit eines manuell oder automatisch aufgegebenen Kraftsollwertes  $F_{\text{Soll}}$ . Insbesondere ist die zweite Berechnungseinrichtung 56 derart ausgebildet, dass sie den erforderlichen an den Ventilen und/oder der Pumpe anliegenden Strom oder die Spannung und/oder den

erforderlichen Volumenstrom oder die Drehzahl der Pumpe 28 in Abhängigkeit eines manuell oder automatisch aufgegebenen Kraftsollwertes  $F_{\text{Soll}}$  ermittelt.

- Vorzugsweise weist das Dämpfungssystem 10, insbesondere die
- 5 Druckeinstellungsanordnung 24 Sensoren SV, SP zur Ermittlung, insbesondere Messung, der Ventilstellungen und/ oder der an den Ventilen 44, 46 und/ oder der Pumpe anliegenden Spannung und/ oder Stromstärke und/ oder des Volumenstroms der Pumpe 28. Insbesondere ist der Sensor SV zur Ermittlung/ Messung der Ventilstellungen und/ oder der an den Ventilen anliegenden Spannung und/ oder Stromstärke ausgebildet,
- 10 wobei der Sensor SP zur Ermittlung der an der Pumpe 28 anliegenden Spannung, Stromstärke, Volumenstrom und/ oder der Drehzahl der Pumpe 28 ausgebildet ist. Die Sensoren SV, SP sind vorzugsweise mit der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung 52 zur Übermittlung von Daten verbunden. Es ist ebenfalls denkbar, dass die Ventilstellungen und/ oder die an den Ventilen anliegende Spannung und/ oder Stromstärke nicht über
- 15 einen Sensor SV gemessen, sondern beispielsweise über eine Steuerung vorgegeben werden. Die mittels der Steuerung vorgegebenen Werte werden vorzugsweise an die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung 52, insbesondere die erste Berechnungseinrichtung 54, übermittelt.
- 20 Die über die Sensoren SV, SP ermittelten Werte, wie beispielsweise die Drehzahl, der Volumenstrom, der Strom und/ oder die Spannung der Pumpe oder die Ventilstellungen, die Spannung und/ oder Stromstärke der Ventile 44, 46, werden an die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung 52, insbesondere die erste Berechnungseinrichtung 54 übermittelt.
- 25 Die erste Berechnungseinrichtung 54 ist vorzugsweise derart ausgebildet und eingerichtet, dass sie aus den mittels der Sensoren SV, SP ermittelten oder der Steuerung vorgegebenen Werte den mittels der Pumpe 28 erzeugten Druck und/ oder die tatsächlich auf die Kolbenstange 18 wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  ermittelt/ berechnet. Insbesondere ist dazu in der Berechnungseinrichtung 54 ein mathematisches
- 30 Pumpenmodell hinterlegt, das den mittels der Sensoren ermittelten Werten einen bestimmten Pumpendruck und/ oder auf die Kolbenstange 28 wirkende Kraft  $F_{\text{ist}}$  zuordnet. Bei dem mathematischen Pumpenmodell handelt es sich vorzugsweise um ein mittels an einem Prüfstand durchgeführter Versuchsreihen und anschließender

Validierung erhaltenes mathematisches Modell zur Abbildung der Leistung und des Arbeitsbereichs der Pumpe 28. Dazu werden beispielsweise der Pumpendruck und/ oder die an der Kolbenstange 18 anliegende Kraft über entsprechende Sensoren über den Arbeitsbereich der Pumpe gemessen und über ein mathematisches Modell mit den über  
5 die Sensoren SV und SP ermittelbaren Werten einander zugeordnet.

Die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung 52, insbesondere die zweite Berechnungseinrichtung 56, ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass ein Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  für die auf die Kolbenstange 18 wirkende Kraft in die zweite Berechnungseinrichtung  
10 56 aufgebbar ist. Vorzugsweise ist die zweite Berechnungseinrichtung 56 derart ausgebildet und eingerichtet, dass sie den Volumenstrom oder die Drehzahl der Pumpe 28 und/ oder den Strom oder die Spannung an der Pumpe und/ oder den Ventilen 44, 46 in Abhängigkeit des Kraftsollwerts  $F_{\text{soll}}$  erhöht oder verringert. Insbesondere ist die zweite  
15 Berechnungseinrichtung 56 derart ausgebildet und eingerichtet, dass sie den Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  und den mittels der ersten Berechnungseinrichtung 54 ermittelte Kraftistwert  $F_{\text{ist}}$  vergleicht und daraus beispielsweise eine Kraftabweichung  $\Delta F$  ermittelt. Beispielsweise ist die zweite Berechnungseinrichtung 56 derart ausgebildet und  
eingerichtet, dass sie den Volumenstrom oder die Drehzahl der Pumpe 28 und/ oder den Strom oder die Spannung an der Pumpe und/ oder den Ventilen 44, 46 in Abhängigkeit  
20 der ermittelten Kraftabweichung  $\Delta F$  erhöht oder verringert. Vorzugsweise wird der Volumenstrom oder die Drehzahl der Pumpe 28 erhöht, wenn der Kraftsollwert  $F_{\text{soll}}$  größer ist als der Kraftistwert  $F_{\text{ist}}$ .

Vorzugsweise ist die zweite Berechnungseinrichtung 56 derart ausgebildet und  
25 eingerichtet, dass sie die Ventilstellung der Ventile 44, 46 in Abhängigkeit der ermittelten Kraftabweichung  $\Delta F$  einstellt. Aus der Kraftabweichung  $\Delta F$  wird dazu vorzugsweise mit der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung 52 ein erforderlicher Druck in den jeweiligen Arbeitsräumen 20, 22 der Fig. 1 ermittelt und die Ventilstellungen der Ventile 44, 46 und/ oder die Drehzahl oder Volumenstrom der Pumpe 28 wird mittels der Steuerungs-/  
30 Regelungseinrichtung 52 derart eingestellt, dass der jeweils erforderliche Druck erreicht wird.

Das Dämpfungssystem 10, insbesondere die Druckeinstellungsanordnung 24, weist vorzugsweise keinen Drucksensor zum Messen des Pumpendrucks auf.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer der Steuerungs-/  
5 Regelungseinrichtung 52 zur Einstellung einer Dämpfungskraft insbesondere einer Dämpfungscharakteristik des Dämpfungssystems der Fig. 1. Die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 der Fig. 3 entspricht zum größten Teil der Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 der Fig. 2 mit dem Unterschied, dass die Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52 der Fig. 3 zusätzlich eine dritte Berechnungseinrichtung 58  
10 aufweist. Die Dämpfungseinrichtung 10, insbesondere die Druckeinstellungsanordnung 24 umfasst vorzugsweise einen Sensor SF zur Ermittlung von beispielsweise der Beschleunigung und/ oder des Höhenstands des Schwingungsdämpfers 12. Der Sensor SF ist beispielsweise an der Karosserie eines Kraftfahrzeugs angebracht. Die dritte Berechnungseinrichtung 58 ist vorzugsweise zur Übermittlung von Daten mit der ersten  
15 und/ oder der zweiten Berechnungseinrichtung 54, 56 verbunden. Die zweite Berechnungseinrichtung 56 übermittelt insbesondere den ermittelten Kraftistwert  $F_{ist}$  an die dritte Berechnungseinrichtung 58, die vorzugsweise derart ausgebildet ist, dass sie aus dem Kraftistwert  $F_{ist}$  einen Wert für die Beschleunigung und/ oder den Höhenstand des Schwingungsdämpfers 12 ermittelt.

20 Vorzugsweise ist die dritte Berechnungseinrichtung 58 derart ausgebildet, dass sie die ermittelte Beschleunigung und/ oder den ermittelten Höhenstand und mit der mittels des Sensors SF gemessenen Beschleunigung und dem Höhenstand vergleicht und beispielsweise eine jeweilige Abweichung berechnet. Vorzugsweise wird mittels der  
25 Berechnungseinrichtung 58 aus der jeweiligen Abweichung ein Korrekturfaktor  $\mu$  zur Korrektur des Pumpenmodells bestimmt. Der Korrekturfaktor wird an die erste Berechnungseinrichtung 54, insbesondere das Pumpenmodell, übermittelt, wobei die erste Berechnungseinrichtung 54 derart ausgebildet ist, das Pumpenmodell mittels des Korrekturfaktors zu korrigieren, insbesondere anzupassen. Mittels der ersten  
30 Berechnungseinrichtung 54 wird anschließend ein Kraftistwert  $F_{ist\mu}$  berechnet, der den ermittelten Korrekturfaktor  $\mu$  des Pumpenmodells berücksichtigt.

Der Korrekturfaktor berücksichtigt eine Abweichung des Pumpenmodells von der Realität durch beispielsweise äußere Einflüsse wie Umgebungsbedingungen, Temperatur oder Verschleiß. Das Pumpenmodell wird vorzugsweise mittels der Steuerungs-/Regelungseinrichtung 52, insbesondere der ersten und dritten Berechnungseinrichtung

5 54, 58, kontinuierlich überwacht und korrigiert.

**Bezugszeichenliste**

|    |       |                                   |
|----|-------|-----------------------------------|
|    | 10    | Dämpfungssystem                   |
|    | 12    | Schwingungsdämpfer                |
|    | 14    | Arbeitszylinder                   |
| 5  | 16    | Arbeitskolben                     |
|    | 18    | Kolbenstange                      |
|    | 20    | erster Arbeitsraum                |
|    | 22    | zweiter Arbeitsraum               |
|    | 24    | Druckeinstellungsanordnung        |
| 10 | 26    | Hydraulikspeicher                 |
|    | 28    | Pumpe                             |
|    | 30    | Motor                             |
|    | 32    | erste Hydraulikleitung            |
|    | 34    | zweite Hydraulikleitung           |
| 15 | 36    | dritte Hydraulikleitung           |
|    | 38    | vierte Hydraulikleitung           |
|    | 39    | fünfte Hydraulikleitung           |
|    | 40    | Rückschlagventil                  |
|    | 42    | Rückschlagventil                  |
| 20 | 44    | erstes Ventil                     |
|    | 46    | zweites Ventil                    |
|    | 48    | erster Verbindungsknoten          |
|    | 50    | zweiter Verbindungsknoten         |
|    | 52    | Steuerungs-/ Regelungseinrichtung |
| 25 | 54    | erste Berechnungseinrichtung      |
|    | 56    | zweiten Berechnungseinrichtung    |
|    | 58    | dritte Berechnungseinrichtung     |
|    | SV    | Sensor (Ventil)                   |
| 30 | SP    | Sensor (Pumpe)                    |
|    | SF    | Sensor (Fahrzeug)                 |
|    | $\mu$ | Korrekturfaktor                   |

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Einstellen einer Dämpfungskraft eines Dämpfungssystems (10) für ein Kraftfahrzeug, wobei das Dämpfungssystem (10) aufweist:  
5 einen zumindest teilweise mit Hydraulikfluid gefüllten Arbeitszylinder (14),  
einen innerhalb des Arbeitszylinders (14) angeordneten und axial bewegbaren Arbeitskolben (16) mit einer Kolbenstange (18), wobei der Arbeitskolben (16) den Arbeitszylinder (14) in einen ersten Arbeitsraum (20) und einen zweiten Arbeitsraum (22) teilt, und  
10 eine Druckeinstellungsanordnung (24) zur Einstellung des Drucks in dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum (20, 22),  
wobei die Druckeinstellungsanordnung eine Pumpe (28), einen Hydraulikspeicher (26), ein erstes Ventil (44) und ein zweites Ventil (46) umfasst, die jeweils über Hydraulikleitungen (32-39) mit dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum (20, 22)  
15 verbunden sind und  
wobei die Ventilstellung der Ventile (44, 46), insbesondere stufenlos, einstellbar ist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Ventilstellung der Ventile (44, 46) und/ oder der Volumenstrom und/oder die  
20 Drehzahl der Pumpe (28) in Abhängigkeit eines vorgebbaren und auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraftsollwertes ( $F_{\text{soll}}$ ) gesteuert/ geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die tatsächlich auf die auf die Kolbenstange (18) wirkende Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) ermittelt wird und anschließend eine Kraftabweichung ( $\Delta F$ ) zwischen dem Kraftsollwert ( $F_{\text{soll}}$ ) und der Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) ermittelt wird und wobei  
25 die Ventilstellung der Ventile (44, 46) und/ oder den Volumenstrom und/oder die Drehzahl der Pumpe (28) in Abhängigkeit der ermittelten Kraftabweichung ( $\Delta F$ ) gesteuert/ geregelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Ventilstellung und/ oder die an den Ventilen (44,46) anliegenden Spannung und/ oder Stromstärke mittels eines Sensors (SV) ermittelt oder vorgegeben wird und daraus die tatsächliche auf die Kolbenstange (18) wirkende Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) ermittelt wird.  
30

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die an der Pumpe (28) anliegenden Spannung, Stromstärke, Volumenstrom und/ oder Drehzahl der Pumpe (28) mittels zumindest eines Sensors (SP) und daraus die tatsächliche auf die Kolbenstange (18) wirkende Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die Ermittlung der tatsächlich auf die Kolbenstange (18) wirkende Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) modellbasiert mittels eines vorab bestimmten Pumpenmodells, das den Pumpendruck über den Arbeitsbereich der Pumpe (28) umfasst, erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Pumpenmodell kontinuierlich überwacht und korrigiert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei mittels eines Sensors (SF) die Beschleunigung und/ oder der Höhenstand des Schwingungsdämpfers (12) ermittelt wird und ein Korrekturfaktor ( $\mu$ ) zur Korrektur des Pumpenmodells aus den mittels des Sensors (SF) ermittelten Werten berechnet wird.
8. Dämpfungssystem (10) für ein Kraftfahrzeug aufweisend einen zumindest teilweise mit Hydraulikfluid gefüllten Arbeitszylinder (14), einen innerhalb des Arbeitszylinders (14) angeordneten und axial bewegbaren Arbeitskolben (16) mit einer Kolbenstange (18), wobei der Arbeitskolben (16) den Arbeitszylinder (14) in einen ersten Arbeitsraum (20) und einen zweiten Arbeitsraum (22) teilt, und eine Druckeinstellungsanordnung (24) zur Einstellung des Drucks in dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum (20, 22), wobei die Druckeinstellungsanordnung (24) eine Pumpe (28), einen Hydraulikspeicher (26), ein erstes Ventil (44) und ein zweites Ventil (46) umfasst, die jeweils über Hydraulikleitungen (32-29) mit dem ersten und dem zweiten Arbeitsraum (20,22) verbunden sind und wobei die Ventile (44, 46) derart ausgebildet sind, dass die Ventilstellung, insbesondere stufenlos, einstellbar ist,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Dämpfungssystem (10) eine Steuerungs-/ Regelungseinrichtung (52) aufweist, die mit der Pumpe (28) und den Ventilen (44, 46) verbunden ist und derart ausgebildet ist, dass sie die Ventilstellung der Ventile (44, 46) und/ oder den  
5 Volumenstrom und/ oder die Drehzahl der Pumpe (28) in Abhängigkeit eines vorgebbaren und auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraftsollwertes ( $F_{\text{soll}}$ ) steuert/ regelt.

9. Dämpfungssystem (10) nach Anspruch 8, wobei die Steuerungs-/  
10 Regelungseinrichtung (52) zur Ermittlung der tatsächlichen auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) ausgebildet ist und wobei die Steuerungs-/  
Regelungseinrichtung (52) dazu ausgebildet ist eine Kraftabweichung ( $\Delta F$ ) zwischen dem Kraftsollwert ( $F_{\text{soll}}$ ) und der Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) zu ermitteln und die  
15 Ventilstellung der Ventile (44, 46) und/ oder den Volumenstrom und/ oder die  
Drehzahl der Pumpe (28) in Abhängigkeit der ermittelten Kraftabweichung ( $\Delta F$ ) zu steuern/ regeln.

10. Dämpfungssystem (10) nach Anspruch 9, wobei die Druckeinstellungsanordnung  
(24) zumindest einen Sensor (SV) zur Ermittlung oder eine Steuerung zur Vorgabe  
20 der Ventilstellung und/ oder der an den Ventilen (44, 46) anliegenden Spannung  
und/ oder Stromstärke aufweist und wobei der Sensor (SV) oder die Steuerung mit  
der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung (52) verbunden ist und diese dazu  
ausgebildet ist, die tatsächlichen auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraft ( $F_{\text{ist}}$ )  
aus den mittels des Sensors (SV) oder der Steuerung übermittelten Daten zu  
25 ermitteln.

11. Dämpfungssystem (10) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei die  
Druckeinstellungsanordnung (24) einen Sensor (SP) zur Ermittlung der an der  
Pumpe (28) anliegenden Spannung, Stromstärke, Volumenstrom und/ oder  
30 Drehzahl der Pumpe (28) aufweist und wobei der Sensor (SP) mit der Steuerungs-/  
Regelungseinrichtung (52) verbunden ist und diese dazu ausgebildet ist, die  
tatsächlichen auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraft ( $F_{\text{ist}}$ ) aus den mittels des  
Sensors (SP) ermittelten Daten zu ermitteln.

12. Dämpfungssystem (10) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung (52) ein Pumpenmodell aufweist, das den Pumpendruck über den Arbeitsbereich der Pumpe (28) umfasst und wobei die
- 5 Steuerungs-/ Regelungseinrichtung (52) derart ausgebildet ist, die tatsächlich auf die Kolbenstange (18) wirkenden Kraft ( $F_{ist}$ ) aus dem Pumpenmodell zu ermitteln.
13. Dämpfungssystem (10) nach Anspruch 12, wobei die Druckeinstellungsanordnung
- 10 (24) einen Sensor (SF) zur Ermittlung der Beschleunigung und/ oder des Höhenstands des Schwingungsdämpfers aufweist, der mit der Steuerungs-/ Regelungseinrichtung (52) verbunden ist und wobei die Steuerungs-/ Regelungseinrichtung (52) derart ausgebildet ist, dass sie einen Korrekturfaktor ( $\mu$ ) zur Korrektur des Pumpenmodells aus den mittels des Sensors (SF) ermittelten
- 15 Werten berechnet.
14. Kraftfahrzeug aufweisend ein Fahrwerk und ein daran angebrachtes Dämpfungssystem (10) nach einem der Ansprüche 8 bis 13.
- 20 15. Computerprogrammprodukt zur Steuerung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

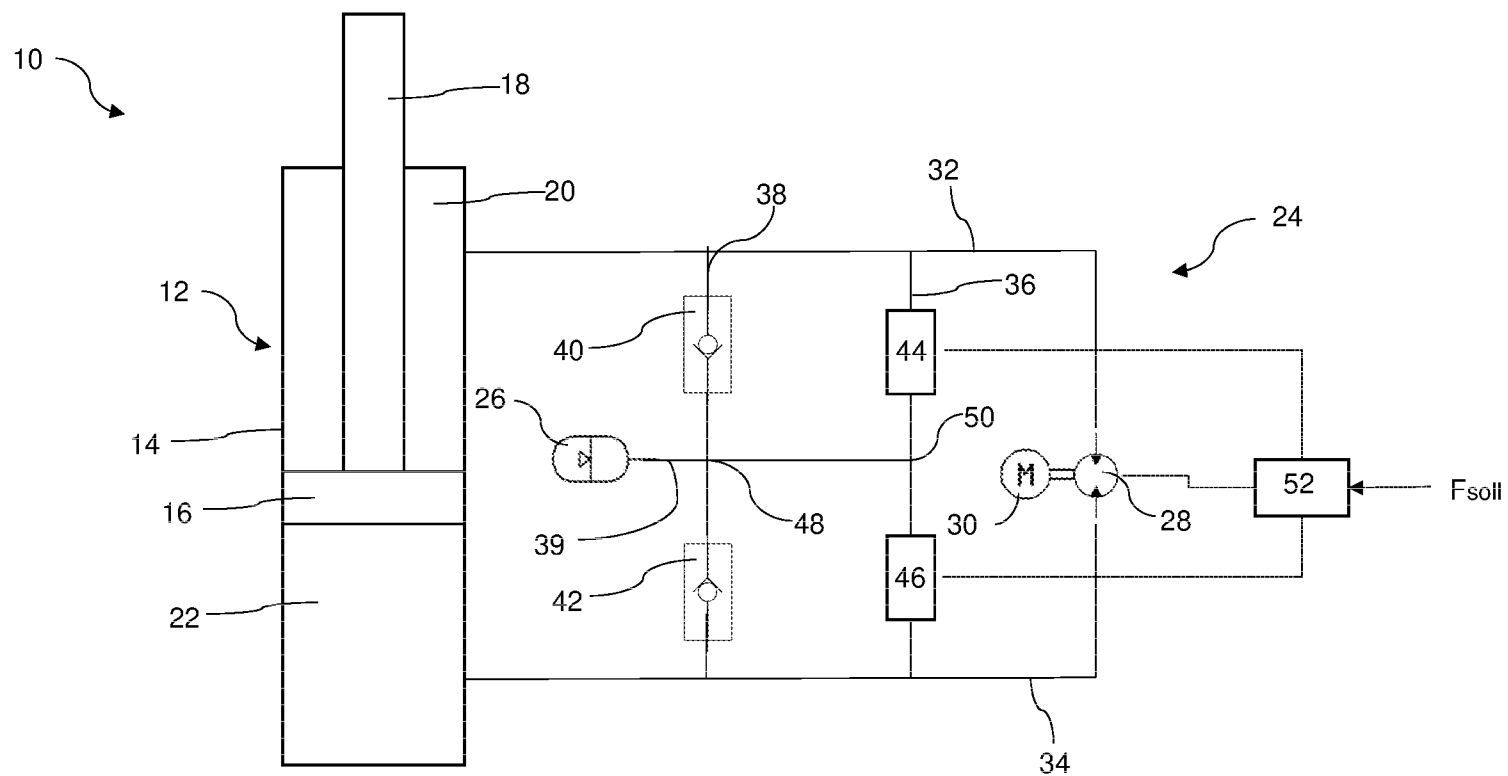


Fig. 1

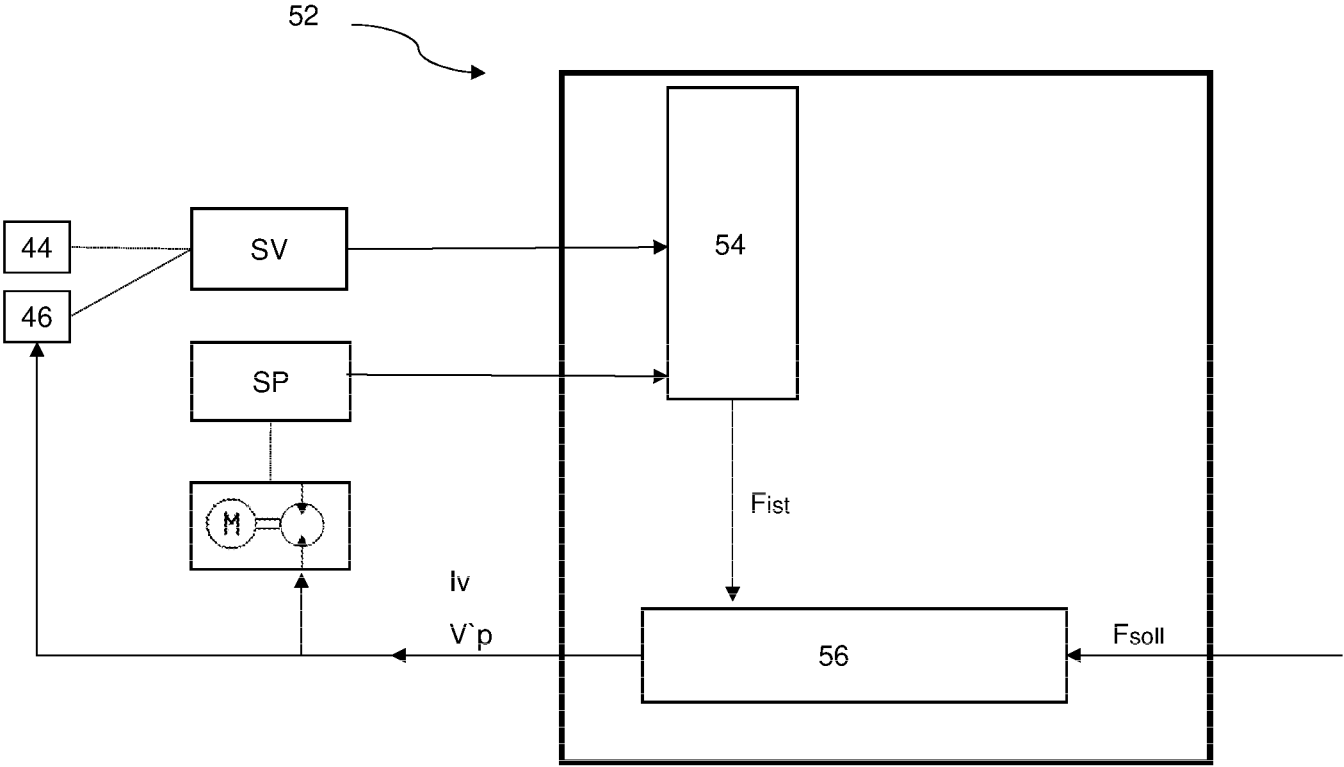


Fig. 2

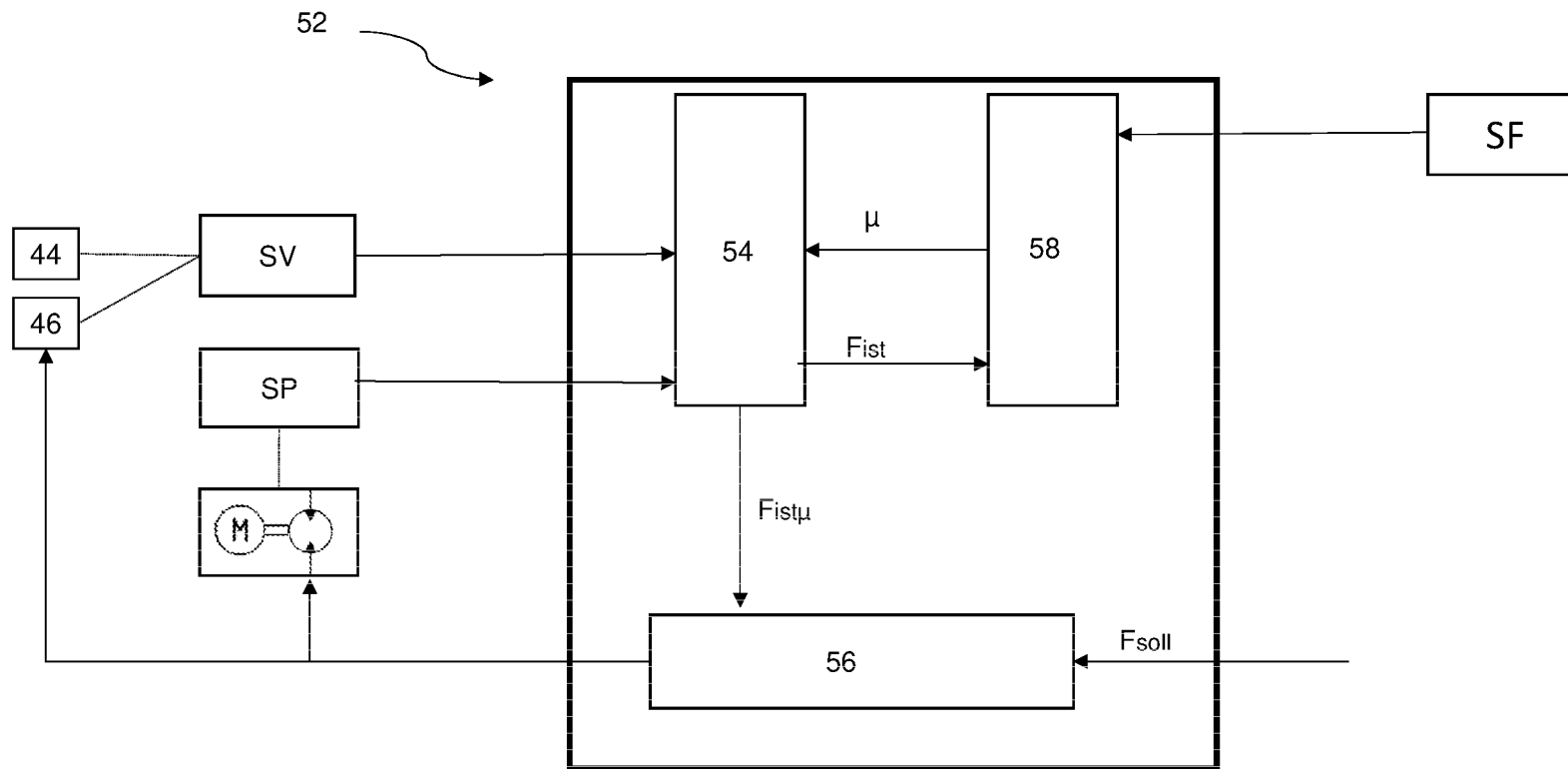


Fig. 3