



(10) **DE 10 2013 015 702 B3** 2014.12.24

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 015 702.1**  
(22) Anmeldetag: **20.09.2013**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **24.12.2014**

(51) Int Cl.: **F16F 15/12 (2006.01)**  
**G01P 3/16 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**AUDI AG, 85045 Ingolstadt, DE**

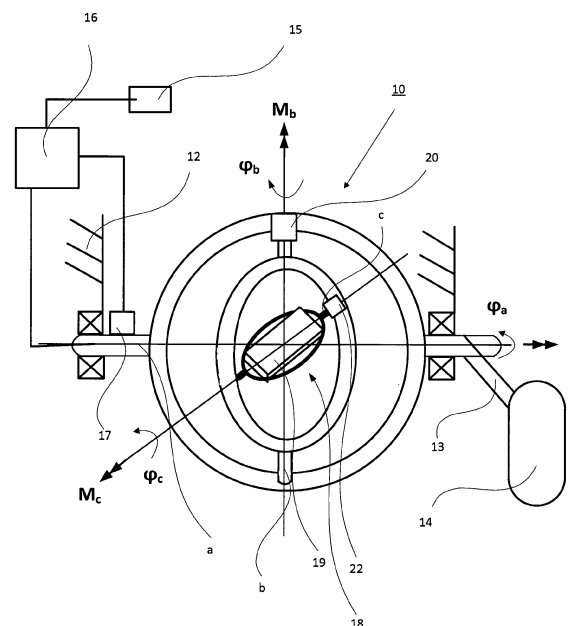
(72) Erfinder:  
**Koch, Tilo, Dr., 85055 Ingolstadt, DE; Gauterin,  
Frank, Prof. Dr., 76829 Leinsweiler, DE;  
Scheurich, Bastian, 74206 Bad Wimpfen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE 10 2011 101 350</b>	<b>A1</b>
<b>DE 10 2011 101 701</b>	<b>A1</b>
<b>DE 602 00 864</b>	<b>T2</b>
<b>US 2004 / 0 244 513</b>	<b>A1</b>
<b>EP 0 650 890</b>	<b>B1</b>
<b>WO 2011/ 100 796</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Rotationsdämpfer für ein Kraftfahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Rotationsdämpfer für ein Kraftfahrzeug, umfassend ein, Kreiselement umfassend eine erste Welle (a), die gegenüber einem ersten Bauteil (12) drehbar gelagert ist, und mit einem zweiten Bauteil (14), verbunden ist, welches eine Relativbewegung gegenüber dem ersten Bauteil (12) ausführt, wobei die erste Welle (a) einen Rahmen aufweist, in welchem eine zweite Welle (b) orthogonal liegt und drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle (b) einen Rahmen aufweist, in welchem eine dritte Welle (c) orthogonal zur zweiten Welle (b) und im zweiten Rahmen drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle (b) und die dritte Welle (c) je mit einem Wellenantrieb (20, 22) verbunden sind, und ferner die dritte Welle (c) eine Schwungmasse (19) aufweist, wobei eine Drehung der zweiten Welle (b) durch den zweiten Wellenantrieb (20) eine Änderung der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_a$ ) oder des Moments ( $M_a$ ) der mit dem zweiten Bauteil (14) verbundenen ersten Welle (a) bewirkt, wobei ein erster Sensor (17) zur Bestimmung der Drehung der ersten Welle (a) vorgesehen ist und ferner eine Reglereinheit (16) wenigstens zur Beeinflussung des zweiten Wellenmotors (20) zur Einstellung der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_b$ ) und/oder der Moments  $M_b$  der zweiten Welle (b) vorgesehen ist, wobei ein vom ersten Sensor (17) unterschiedlicher Sensor (15) zur Bestimmung der Lageänderung des ersten Bauteils (12) vorgesehen ist, der mit der Reglereinheit (16) verbunden ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Rotationsdämpfer und ein Verfahren zur Regelung einer Dämpferanordnung sowie die Verwendung eines Kreiselements für ein Kraftfahrzeug, insbesondere zur Dämpfung einer Relativbewegung einer nicht gefederten Masse gegenüber einer gefederten Masse nach den Ansprüchen 1, 7 bzw. 9.

**[0002]** Das Fahrwerk dient der Kopplung des Fahrzeugaufbaus mit der Straße. Neben der Übertragung der für das Fahren relevanten Kräfte, ermöglicht ein vertikaler Freiheitsgrad die Anpassung des Komfortverhaltens und der Fahrsicherheit. Das Schwingungsverhalten zwischen Fahrzeugaufbau und dem Rad, mit seinen Rad führenden Elementen, wird durch ein Feder- und ein Dämpferelement bestimmt. Das Federelement dient dem statischen Halten des Aufbaus. Veränderungen im Hub der Feder werden als Federenergie gespeichert und entsprechend wieder freigegeben. Das Dämpferelement dient dem Abbau von Schwingungsenergie des Aufbaus, der gefederten Masse, als auch des Rades mit Radträger, der ungefederten Masse. Dabei verbindet der Schwingungsdämpfer direkt die gefederte und die ungefederte Masse. Der relativen Geschwindigkeit zwischen gefederter und ungefederter Masse wird nach dem Stand der Technik allgemein durch die Drosselwirkung von Hydraulikflüssigkeit eine Kraft entgegen gebracht.

**[0003]** Außerdem sind im Stand der Technik bspw. die DE 10 2011 101 350 A1 bekannt oder die DE 10 2011 101 701 DE, die zur Krafterzeugung elektrische oder magnetische Kräfte verwenden. Stets gemeinsam ist die Tatsache, dass gefederte und ungefederte Massen über das Dämpferelement verbunden sind und eine gegenseitige Abstützung, zwischen beiden, stattfindet. Neben der Tatsache, dass der gyroskopische Effekt im Bereich Fahrwerk bei einem Automobil genutzt werden soll, liegt eine Neuerung zum Stand der Technik in der gezielten Regelung und dem aufbringen von Momenten in alle Richtungen, zu jedem beliebigen Zeitpunkt, der Achse des Präzessionsmomentes vor.

**[0004]** Aus dem Stand der Technik, DE60200864T2, US20040244513A1 und WO2011/100796A1, sind Gyrostabilisatoren für das Stabilisieren eines Schiffes, dessen Bewegung durch Wellen hervorgerufen werden, bekannt. Diese beinhalten beispielsweise ein erstes Sensorsystem, das die Präzession eines Schwungrades misst, ein Regelsystem, das ein Regelsignal generiert, und einen Aktuator, der ein Präzessionsmoment auf das Schwungrad stellt. Das hierbei aufgebrachte Präzessionsmoment wirkt als geregeltes Gegenmoment, sodass keine antreibende Energie auf das Schwungrad einwirkt. Zudem entsteht bei einem Schiff nur eine Wanken- bzw. Rollbe-

wegung, die durch die Vorrichtung stabilisiert werden soll.

**[0005]** In diesem Zusammenhang offenbart die Druckschrift EP0650890B1 eine Vorrichtung zur Unterdrückung der Schwingung eines Objekts. Es ist dazu ein Kontrollmomentkreisel vorgesehen, der ein Schwungrad umfasst, das mit einer ersten Welle verbunden ist, welche drehbar in einem Kardanring gelagert ist, wobei der Kardanring eine zweite Welle umfasst, die drehbar in einem dessen Schwingung zu kontrollierenden Objekts gelagert ist.

**[0006]** Eine Winkelmesseinrichtung zur Messung der Schwingung des zu kontrollierenden Objekts, um eine Achse, die normal zu der von der ersten und zweiten Welle aufgespannten Ebene liegt.

**[0007]** Zur Schwingungsdämpfung ist an der zweiten Achse ein Generator vorgesehen, der abhängig von der gemessenen Winkelgeschwindigkeit der dritten Achse bremst, wobei die Schwungscheibe über einen Motor in Drehung gehalten wird.

**[0008]** Bei Kreiseln ist der Effekt der Präzession bekannt. Wird die Rotationsachse eines rotierenden Körpers verändert, so entsteht eine Kraft die senkrecht zur Rotations- und zur Auslenkungsachse steht. Diese Kraft wird als Präzession bezeichnet. In einer kardanischen Aufhängung wird das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Drehzahlen und Momenten durch die dynamischen Euler-Gleichungen

$$M_a = J_a \dot{\omega}_a - (J_b - J_c) \omega_c \omega_b \quad (1)$$

$$M_b = J_b \dot{\omega}_b - (J_c - J_a) \omega_a \omega_c \quad (2)$$

$$M_c = J_c \dot{\omega}_c - (J_a - J_b) \omega_b \omega_a \quad (3)$$

im körperfesten Koordinatensystem beschrieben. Dabei gilt  $d\varphi/dt = \omega_i$  und  $d\omega_i/dt = \dot{\omega}_i$ , wobei  $\varphi_i$  die aktuelle Winkelposition der jeweiligen Welle beschreibt.

**[0009]** Es ist Aufgabe der Erfindung einen verbesserten Dämpfer für ein Kraftfahrzeug anzugeben.

**[0010]** Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1, 7 bzw. 9 gelöst.

**[0011]** Die Unteransprüche bilden eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung.

**[0012]** Rotationsdämpfer für ein Kraftfahrzeug, umfasst eine erste Welle, die gegenüber einem ersten Bauteil drehbar gelagert ist, und mit einem zweiten Bauteil, verbunden ist, welches eine Drehbewegung gegenüber dem ersten Bauteil ausführt, wobei die erste Welle einen Rahmen aufweist, in welchem eine zweite Welle orthogonal liegt und drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle einen Rahmen aufweist,

in welchem eine dritte Welle orthogonal zur zweiten Welle und orthogonal zur dritten Welle angeordnet ist und im zweiten Rahmen drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle und die dritte Welle je mit einem Wellenantrieb verbunden sind, und ferner die dritte Welle eine Schwungmasse aufweist, wobei eine Drehung der zweiten Welle durch den zweiten Wellenantrieb eine Änderung der Winkelgeschwindigkeit der mit dem zweiten Bauteil verbundenen ersten Welle bewirkt, wobei ein erster Sensor zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der ersten Welle vorgesehen ist, wobei ein Reglereinheit wenigstens zur Beeinflussung der Winkelgeschwindigkeit der zweiten Welle vorgesehen ist

**[0013]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass ein vom ersten Sensor unterschiedlicher Sensor zur Bestimmung der Lageänderung des Fahrzeugs mit der Reglereinheit verbunden ist. Dadurch kann über die zweite Welle eine Beeinflussung des zweiten Bauteils, das mit der ungefederten Masse verbunden ist, unter Berücksichtigung der Fahrzeuglage erfolgen. Die Erfindung verwendet den Effekt der Drehträgheit, um an geeigneter Stelle Kräfte ins Fahrwerk einzuleiten. Diese Kräfte sollen die Funktion eines herkömmlichen Dämpferelementes ersetzen und erweitern.

**[0014]** In einer vorteilhaften Weiterbildung kann die Reglereinheit derart mit dem zweiten Wellenmotor verbunden sein, dass diese die Winkelgeschwindigkeit und oder das Drehmoment der zweiten Welle erhöht. Durch die aktive Ansteuerung des zweiten Wellenmotors kann mittels einer Energiezuführung eine aktive Fahrwerkseinstellung erfolgen.

**[0015]** Durch eine aktive Energiezuführung können insbesondere vier einzelne gyroskopische Elemente – kardanisch aufgehängte Kreiselemente – an den Fahrzeugecken, welche direkt Kräfte bzw. Momente über das zweite Bauteil auf die ungefederten Teile des Fahrwerks ausüben, Impulse in die ungefederte mit der gefederten Masse verbindenden zweiten Bauteile, insbesondere Lenker, einbringen und so neben der Funktion Schwingungen im Wanken zu unterdrücken außerdem das Unterdrücken von Huben und Nicken ermöglichen. Zudem ist eine Kontrolle der Vertikalbewegung jedes einzelnen Rades möglich.

**[0016]** Durch die Regelung des Momentes an der zweiten Welle oder der Einstellung der Winkelgeschwindigkeit der zweiten Welle erfolgt bei entsprechender Wahl der Trägheitsmomente bei einem kleinen Moment  $M_b$  ein hohes Moment  $M_a$  an der äußeren Welle.

**[0017]** Bei Bedarf kann der Dämpfer auf diese Weise momentenfrei arbeiten, was den Fahrkomfort in manchen Situationen begünstigen kann.

**[0018]** Je größer die Drehzahl für die dritte Welle eingestellt werden kann, desto geringer kann der Bauraum ausfallen, den eine erfindungsgemäße Dämpferanordnung einnimmt. Die gesamte Energie, die dem System durch Regelung oder durch Straßenanregung zugeführt wird, setzt die Vorrichtung in Rotationsenergie der innersten Welle um. Durch eine Rekuperation in elektrische Energie kann diese Rotationsenergie außerhalb des Systems bereitgestellt werden. Die Bewegungsenergie aus stochastischen Straßenanregungen wird dabei nicht rein in Wärmeenergie umgesetzt, sondern steht zur weiteren Verwendung oder Speicherung zur Verfügung. Erfindungsgemäß kann durch die Rekuperation von Dämpferenergie einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur gesamten Energiebilanz eines Fahrzeugs geleistet werden.

**[0019]** Vorzugsweise kann der die Wellenenden verbindende Rahmen als Kreisring ausgebildet sein.

**[0020]** Insbesondere sind Erfassungseinrichtungen vorgesehen, die als Eingangsgröße für die Reglereinheit die Winkelpositionen der ersten und zweiten Welle erfassen. Dadurch kann ein übereinanderliegen der ersten und dritten Welle, und damit eine Singularität, vermieden werden. Aus den Winkelpositionen kann zudem die Winkelgeschwindigkeit rechnerisch bestimmt werden. Zudem kann zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit auch ein Sensor für die direkte Erfassung vorgesehen sein.

**[0021]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann auch der die dritte Welle antreibende Wellenmotor mit der Reglereinheit verbunden sein. Auf diese Weise kann über den Motor die Winkelgeschwindigkeit der dritten Welle zur Regelung der zweiten Welle herangezogen werden oder auch dem Wellenmotor der dritten Welle Energie zugeführt werden, um die Schwungmasse gegebenenfalls zu beschleunigen.

**[0022]** In einem weiteren Aspekt, betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Regelung einer erfindungsgemäßen Dämpferanordnung. Gemäß dem Verfahren wird als Regelgröße das Moment der ersten Welle und/oder die Winkelgeschwindigkeit der ersten Welle geregelt. Dazu wird eine Stellgröße an der zweiten Welle so beeinflusst, dass das Vorzeichen der Beschleunigung der Welle, dem Vorzeichen der Winkelgeschwindigkeit der Welle entspricht.

**[0023]** Insbesondere kann die Bestimmung des Sollwerts des Moments basierend auf einer Dämpferkennlinie erfolgen, in welcher das Moments der ersten Welle in Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit hinterlegt ist. Der Sollwert zur Regelung der Regelgröße wird damit abhängig von der gemessenen Winkelgeschwindigkeit der ersten Welle eingestellt.

**[0024]** In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung die Verwendung eines kardanisich aufgehängten Kreiselements, umfassend eine erste Welle, die gegenüber einem ersten Bauteil drehbar gelagert ist, und mit einem zweiten Bauteil, verbunden ist, welches eine Relativbewegung gegenüber dem ersten Bauteil ausführt, wobei die erste Welle einen Rahmen aufweist, in welchem eine zweite Welle orthogonal liegt und drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle einen Rahmen aufweist, in welchem eine dritte Welle orthogonal zur zweiten Welle und im zweiten Rahmen drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle und die dritte Welle je mit einem Wellenantrieb verbunden sind, und ferner die dritte Welle eine Schwungmasse aufweist, wobei eine Drehung der zweiten Welle durch den zweiten Wellenantrieb eine Änderung der Winkelgeschwindigkeit oder des Moments der mit dem zweiten Bauteil verbundenen ersten Welle bewirkt, zur Dämpfung einer Relativbewegung einer ungefederten Masse eines Kraftfahrzeugs gegenüber einer gefederten Masse eines Kraftfahrzeugs.

**[0025]** Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen.

**[0026]** In der Beschreibung, in den Ansprüchen und in der Zeichnung werden die in der unten aufgeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet. In der Zeichnung bedeutet:

**[0027]** Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Dämpferanordnung;

**[0028]** In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Dämpferanordnung **10**, umfassend einen kardanisich aufgehängten Kreisel, dargestellt. Die äußerste Welle **a**, erlaubt eine einfache Drehung  $\varphi_a$ . Diese Welle **a** ist mit einer ungefederten Masse, einem Rad **14**, über einen Querlenker **13** verbunden und gegenüber dem Aufbau **12** eines Fahrzeugs drehbar gelagert.

**[0029]** In der Welle **a** ist um  $90^\circ$  verdreht einer weiteren Welle **b** angeordnet. Diese dreht in Richtung  $\varphi_b$ . In der Welle **b** wiederum ist die Welle **c** um  $90^\circ$  verdreht zur Welle **b** gelagert. An der Welle **c** ist ein Kreiselement **18** angebracht, welches mit Welle **c** in Richtung  $\varphi_c$  dreht.

**[0030]** Auf der Welle **c** befindet sich ein Drehkörper **19** der bei Drehung um seine drei Raumachsen die drei Drehträgheiten von  $J_a$ ,  $J_b$  und  $J_c$  aufweist.

**[0031]** Die Schwungmasse des Kreiselementes der Welle **c** ist schematisch als quaderförmiger Drehkörper **19** dargestellt und veranschaulicht exemplarisch den Trägheitstensor der Schwungmasse mit

den den entsprechenden Wellen zugeordneten Drehträgheiten  $J_a$ ,  $J_b$  und  $J_c$ . Das Übersetzungsverhältnis der einzelnen Momente wird dabei durch die Drehträgheiten  $J_a$ ,  $J_b$  und  $J_c$  des Rotationskörpers um seine drei Raumachsen im Hauptachsensystem bestimmt. Die Höhe der Momente ist abhängig von der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_c$ .

**[0032]** Im Anfangszustand rotiert der Rotationskörper mit einer bestimmten Anfangsdrehzahl  $\omega_c$ . Insbesondere liegt eine Drehgeschwindigkeit der Welle **c** mit  $|\omega_c(0)| \gg 0$  vor.

**[0033]** Die Winkelposition der ersten Welle **a** ist mit  $\varphi_a$ , das übertragene Moment mit  $M_a$  bezeichnet. Entsprechendes gilt analog für die zweite Welle **b** und die dritte Welle **c**.

**[0034]** Die kardanisiche Aufhängung aus Fig. 1 wird zur Aufbringung einer Dämpfungskraft verwendet. Dabei wird die äußerste Welle **a** zur Übertragung von Drehgeschwindigkeit und Drehmoment konstruktiv an einen Fahrwerklenker angebunden. Die nach innen folgende zweite Welle **b** dient der Regelung von Drehgeschwindigkeit und Drehmomentenübertragung.

**[0035]** Wenn ein Moment  $M_b$  wirksam wird, entsteht aufgrund der Präzession ein Moment  $M_a$ . Die Momente führen zu einer Drehung der jeweiligen Welle mit einer zugeordneten Drehgeschwindigkeit. Ein Moment  $M_b$  führt folglich zu einer Drehgeschwindigkeit  $\omega_b$  der Welle **b**. Diese Verdrehung verändert die Richtung des Winkelgeschwindigkeitsvektors  $\omega_c$  des innersten Kreiselementes. Auf eine solche Störung reagiert der Kreisel mit einem Präzessionsmoment  $M_a$  in Richtung  $\varphi_a$ .

**[0036]** Da aber die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_c$  konstruktionsbedingt ebenfalls den Winkelgeschwindigkeitsvektor  $\omega_c$  verändert, besteht ein direkter Einfluss aller drei Achsen untereinander. Das Einbringen von Energie in eine Achse führt demzufolge zu einer Veränderung der Energie der beiden anderen Achsen. In der innersten dritten Wellen **c** findet die Speicherung von überschüssiger Rotationsenergie statt.

**[0037]** Wird die Welle **a** als Eingang betrachtet, wenn dieser über eine Anregung durch das Rad **14** Energie zugeführt wird, so sind  $M_a$  und  $\omega_a$  gleichgerichtet. An Welle **b** kann diese Energie dann wieder entnommen werden, dabei sind  $M_b$  und  $\omega_b$  entgegengesetzt orientiert. Der umgekehrte Fall ist ebenso möglich.

**[0038]** Gleichgerichtete Beträge von  $M_b$  und  $\omega_b$  führen zu ungleichgerichteten Beträgen von  $M_a$  und  $\omega_a$ . Wird nicht die gesamte Energie in Welle **b** entnommen, so wird auf Grund des Rückkoppel-effektes die Drehzahl in Welle **c** steigen. Die überschüssige Energie wird in Form kinetischer Energie in Welle **c** ge-

speichert. So ist es denkbar mindestens eine Welle, maximal 2 Wellen, als Ein- bzw. Ausgang für Energieflüsse zu verwenden und die übrigbleibende Welle (n) als Aus- bzw. Eingang.

**[0039]** Moment  $M_a$  und Winkelgeschwindigkeit  $\omega_a$  wirken vom Rad auf die Welle a und versetzen das System in Bewegung. Es entsteht eine Relativbewegung an Welle b. Wird zur Drehgeschwindigkeit  $\omega_b$  ein Gegenmoment  $M_b$  aufgebracht, so wird die Relativbewegung an Welle b gedämpft. Dies führt wieder zum Dämpfen der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_a$ .

**[0040]** Je nach Größe des Betrages von Moment  $M_b$  fällt die Dämpfung stärker oder schwächer aus.

**[0041]** Erfindungsgemäß wird das Moment  $M_b$  so geregelt, dass  $\omega_c$  und  $\dot{\omega}_c$  stets das gleiche Vorzeichen besitzen. Dies hat zur Folge, dass sowohl die in  $M_b$  zur Regelung aufgebrauchte Energie, als auch die durch die Straßenanregung einfließende Energie in Rotationsenergie der Welle c gespeichert werden. Diese Energie kann über den Wellenmotor **22** an der innersten Welle über das Moment  $M_c$  rekuperiert werden.

**[0042]** Wie bereits beschrieben sind für die Verhältnisse der einzelnen Momente zu einander die drei Drehträge  $J_i$  verantwortlich. Bei der kardischen Aufhängung gibt es zwei Gleichgewichtszustände. Für die hier relevante Ausführung erfüllen die Drehträge die Gleichung

$$(J_a - J_b)(J_a - J_c) \leq 0. \quad (4)$$

**[0043]** Wonach das System somit instabil ist. Ein Regler, der das Moment  $M_b$  in Abhängigkeit von  $\omega_a$  regelt, weist die Abhängigkeit

$$M_b = f(\omega_a, a_c, \dot{\omega}_c, M_a, \dots) \quad (5)$$

auf.

**[0044]** Bei einer Radaufhängung, gemäß **Fig. 1**, wird die vertikale Straßenanregung durch einen Querlenker in Rotationsbewegung an seiner Lagerstelle umgewandelt. Die erfindungsgemäße Dämpferanordnung nimmt an der Achse a die aus der Straßenanregung resultierende Drehbewegung  $\phi_a$  auf. In der Funktion als Rotationsdämpfer wirkt das Moment entgegengesetzt zur Drehgeschwindigkeit. Dieses Drehmoment wird durch die Drehung der Welle b und c hervorgerufen und in der Drehung  $\phi_a$  der Welle a als Moment  $M_a$  abgegeben. Die Stellgröße stellt dabei das Moment  $M_b$  dar. Die Drehbewegung  $\omega_c$  dient als Schwungmassenspeicher, wobei ein negatives Moment  $M_c$  zu einer Rekuperation führt. Darüber hinaus kann die Stellgröße  $M_b$  ebenfalls zur Rekuperation verwendet werden.

**[0045]** Darüber hinaus kann der Aktuator verwendet werden, um aktiv Vertikalkräfte am Rad zu stellen, d. h. Funktionen eines aktiven Fahrwerks zu übernehmen. Vorteil gegenüber herkömmlichen Systemen, wie beispielsweise hydraulischer oder elektromotorischer Aktuatoren ist die in den Aktuator integrierte hohe Übersetzung und die Möglichkeit zur Energiespeicherung. Die Energieerzeugung im Fahrzeug wird dadurch entlastet. Es treten geringere Spitzenströme auf, da Leistung gleichförmiger abgerufen werden kann. Zudem kann der Aktuator je nach Regelungsstrategie durch Rekuperation von Dämpfungsenergie sogar Energie ins Bordnetz zurückspeisen.

**[0046]** Neben den beiden Wellenmotoren **20**, **22** für Welle b und Welle c ist es notwendig hinreichend genau zu ermitteln in welchem Bewegungszustand sich das System des Gyroskop gerade befindet. Notwendig ist die genaue Ermittlung der Winkelposition von Welle b, da ein übereinander liegen von Welle c und Welle a nicht zulässig ist. Weiter ist die Erfassung der Winkelposition  $\phi_a$  von Welle a notwendig um eine Orientierung zwischen Welle a und Welle b herstellen zu können. Für Welle c ist in erster Linie die Winkelgeschwindigkeit notwendig; eine Winkelposition ist aufgrund von Symmetrieerscheinungen nicht relevant.

**[0047]** Rechnerisch kann aus einer Winkelpositionen die entsprechende Winkelgeschwindigkeit abgeleitet werden. Im Sinne einer genau Messung und Weiterverarbeitung der Signale, sind Sensoren zur Ermittlung von Winkelgeschwindigkeit von Welle a und b, sowie der Winkelbeschleunigung von Welle a, b und c von Vorteil.

**[0048]** Die Energie bzw. Leistung, welche im System umgesetzt wird ist entweder gleich groß oder wird vom System gespeichert bzw. abgegeben.

**[0049]** **Fig. 2** zeigt einen schematischen Regelkreis der Reglereinheit **16**, umfassend einen Regler **24** und eine Regelstrecke **26**. In der Regel wird das Produkt aus  $M_a$  und  $\omega_a$  als Eingangsleistung betrachtet. Diese Leistung wird der Straße entnommen. Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_a$  ist dabei durch die Bewegung des Radträgers vorgegeben. Das Moment der Welle  $M_b$  und die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_b$  dienen als Stellgrößen zur Regelung des Moments der ersten Welle a. Zusätzliche Regelinformation werden dem Regler über eine Lagesensor **15** des Fahrzeugs zugeführt.

**[0050]** Erfindungsgemäß wird das Moment  $M_b$  so geregelt, dass die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_c$  und die Beschleunigung der Welle  $a_c$  stets das gleiche Vorzeichen besitzen. Dies hat zur Folge, dass sowohl die in  $M_b$  zur Regelung aufgebrauchte Energie, als auch die durch die Straßenanregung einfließende Energie in Rotationsenergie der Welle c gespeichert werden. Diese Energie kann über den Wellenmotor **22** an der

innersten Welle über das Moment  $M_c$  recuperiert werden.

**[0051]** Wie bereits beschrieben sind für die Verhältnisse der einzelnen Momente zu einander die drei Drehträgeiten  $J_i$  verantwortlich. Bei der kardanschen Aufhängung gibt es zwei Gleichgewichtszustände. Für das instabile System der Dämpferanordnung stellt der Regler, das Moment  $M_b$  wenigstens in Abhängigkeit von  $\omega_a$ ,  $\omega_c$ ,  $M_a$ ,  $a_c$  unter Berücksichtigung der Fahrzeuglage. Der Regler stellt das Soll-Moment abhängig von einer erfassten Winkelgeschwindigkeit  $\omega_a$  basierend auf einer hinterlegten Dämpferkennlinie ein. Die Dämpferkennlinie bildet den Verlauf des Moments  $M_a$  über die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_a$  ab.

**[0052]** Im einfachsten Fall wirkt  $M_b$  der Richtung von  $\omega_b$  entgegen. Dabei wird genauso viel Leistung aus dem System genommen, wie durch die Straße hinein gelangt. Soll nun eine spezielle Kennlinie zwischen  $M_a$  und  $\omega_a$  erzielt werden, so kann  $M_b$  der Richtung von  $\omega_b$  nicht vollständig bei einem Schwingungsvorgang entgegen wirken. Das bedeutet, dass durch das Produkt  $M_b$  und  $m_b$  neben der Leistung, die von der Straße umgesetzt wird, teilweise Leistung übrig bleibt. Diese führt in Welle c zu einer Erhöhung der Drehzahl  $w_c$ . Das gesamte System hat dann eine höhere Gesamtleistung. Wird durch das Produkt  $M_b$  und  $\omega_b$  mehr Leistung abgebaut, als von der Straße kommt, wird die Winkelgeschwindigkeit  $w_c$  abnehmen. Da  $w_c$  immer eine Mindestgeschwindigkeit aufweisen muss, kann diese über den die Welle c antreibenden Antrieb erhöht werden.

**[0053]** Die Erhöhung von  $\omega_c$  kann beispielsweise durch einen Elektromotor **22** erfolgen. Dieser Energiezufluss kann an Welle a oder Welle b abgebaut werden. Die Richtung und Anzahl der Energiezu- und Abflüsse ist dabei beliebig.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Dämpferanordnung
<b>12</b>	Aufbau/gefederte Masse
<b>14</b>	Rad/ungefederte Masse
<b>13</b>	Querlenker
<b>15</b>	Lagesensor
<b>16</b>	Rahmen
<b>18</b>	Kreiselement
<b>19</b>	Drehkörper
<b>20</b>	Wellenmotor
<b>22</b>	Wellenmotor
<b>24</b>	Regler
<b>26</b>	Regelstrecke
$\varphi$	Winkel
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit
<b>a</b>	Winkelbeschleunigung
<b>M</b>	Drehmoment

<b>J</b>	Trägheitsmoment
<b>a</b>	erste Welle
<b>b</b>	zweite Welle
<b>c</b>	dritte Welle

#### Patentansprüche

1. Rotationsdämpfer für ein Kraftfahrzeug, umfassend ein, Kreiselement umfassend eine erste Welle (a), die gegenüber einem ersten Bauteil (**12**) drehbar gelagert ist, und mit einem zweiten Bauteil (**14**), verbunden ist, welches eine Relativbewegung gegenüber dem ersten Bauteil (**12**) ausführt, wobei die erste Welle (a) einen Rahmen aufweist, in welchem eine zweite Welle (b) orthogonal liegt und drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle (b) einen Rahmen aufweist, in welchem eine dritte Welle (c) orthogonal zur zweiten Welle (b) und im zweiten Rahmen drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle (b) und die dritte Welle (c) je mit einem Wellenantrieb (**20**, **22**) verbunden sind, und ferner die dritte Welle (c) eine Schwungmasse (**19**) aufweist, wobei eine Drehung der zweiten Welle (b) durch den zweiten Wellenantrieb (**20**) eine Änderung der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_a$ ) oder des Moments ( $M_a$ ) der mit dem zweiten Bauteil (**14**) verbundenen ersten Welle (a) bewirkt, wobei ein erster Sensor (**17**) zur Bestimmung der Drehung der ersten Welle (a) vorgesehen ist und ferner eine Reglereinheit (**16**) wenigstens zur Beeinflussung des zweiten Wellenmotors (**20**) zur Einstellung der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_b$ ) und/oder der Moments  $M_b$  der zweiten Welle (b) vorgesehen ist, wobei ein vom ersten Sensor (**17**) unterschiedlicher Sensor (**15**) zur Bestimmung der Lageänderung des ersten Bauteils (**12**) vorgesehen ist, der mit der Reglereinheit (**16**) verbunden ist.

2. Rotationsdämpferanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reglereinheit (**16**) derart mit dem zweiten Wellenmotor (**20**) verbunden ist, dass dieser die Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_b$ ) und/oder das Drehmoment ( $M_b$ ) der zweiten Welle (b) erhöhen kann.

3. Rotationsdämpferanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Regelgröße die Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_a$ ) oder das Moment ( $M_a$ ) der ersten Welle (a) verwendet wird, wozu ein Sensor (**17**) zur Winkelgeschwindigkeitsmessung ( $\omega_a$ ) oder das Moment ( $M_a$ ) der ersten Welle (a) mit der Reglereinheit (**16**) verbunden ist.

4. Rotationsdämpferanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Stellgröße das Moment ( $M_b$ ) der zweiten Welle (b) verwendet wird, wozu dem zweiten Wellenmotor (**20**) Energie zugeführt oder abgeführt wird.

5. Rotationsdämpferanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**

**net**, dass Erfassungseinrichtungen vorgesehen sind, die als Eingangsgröße für die Reglereinheit (**16**) die Winkelpositionen ( $\varphi_a, \varphi_b$ ) der ersten Welle (a) und zweiten Welle (b) erfassen.

6. Rotationsdämpfer nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schwungmasse (**19**) durch ihre Drehträgheiten ( $J_a, J_b, J_c$ ) das Übersetzungsverhältnis der einzelnen Wellenmomente ( $M_a, M_b, M_c$ ) festlegt.

7. Verfahren zur Regelung einer Dämpferanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Regelgröße das Moment ( $M_a$ ) der ersten Welle (a) und/oder die Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_a$ ) der ersten Welle (a) geregelt werden, wobei eine Stellgröße  $M_b$  an der zweiten Welle (b) so beeinflusst wird, dass das Vorzeichen der Beschleunigung  $\dot{\omega}_c$  der Welle (c), dem Vorzeichen der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_c$ ) der Welle (c) entspricht.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Dämpferkennlinie des Moments ( $M_a$ ) der ersten Welle (a) in Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_a$ ) hinterlegt ist, wobei der Sollwert zur Regelung der Regelgröße ( $M_a$ ) abhängig von der gemessenen Winkelgeschwindigkeit der ersten Welle (a) ist.

9. Verwendung eines kardanisich aufgehängten Kreiselements umfassend eine erste Welle (a), die gegenüber einem ersten Bauteil (**12**) drehbar gelagert ist, und mit einem zweiten Bauteil (**14**), verbunden ist, welches eine Relativbewegung gegenüber dem ersten Bauteil (**12**) ausführt, wobei die erste Welle (a) einen Rahmen aufweist, in welchem eine zweite Welle (b) orthogonal liegt und drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle (b) einen Rahmen aufweist, in welchem eine dritte Welle (c) orthogonal zur zweiten Welle (b) und im zweiten Rahmen drehbar gelagert ist, wobei die zweite Welle (b) und die dritte Welle (c) je mit einem Wellenantrieb (**20, 22**) verbunden sind, und ferner die dritte Welle (c) eine Schwungmasse (**19**) aufweist, wobei eine Drehung der zweiten Welle (b) durch den zweiten Wellenantrieb (**20**) eine Änderung der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_a$ ) oder des Moments ( $M_a$ ) der mit dem zweiten Bauteil (**14**) verbundenen ersten Welle (a) bewirkt, zur Dämpfung einer Relativbewegung einer ungefederten Masse (**14**) eines Kraftfahrzeugs gegenüber einer gefederten Masse (**12**) eines Kraftfahrzeugs.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

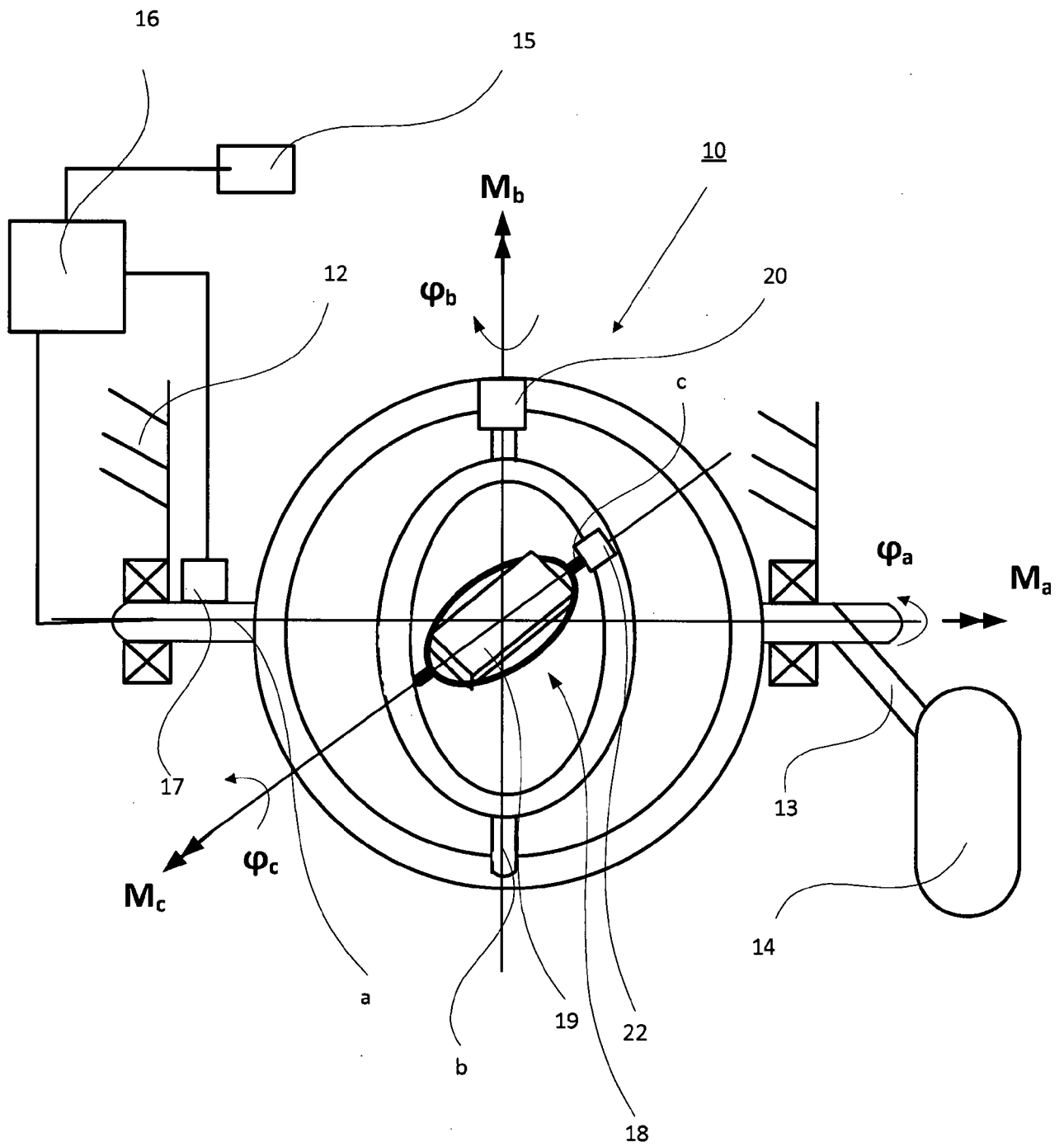


Fig. 1



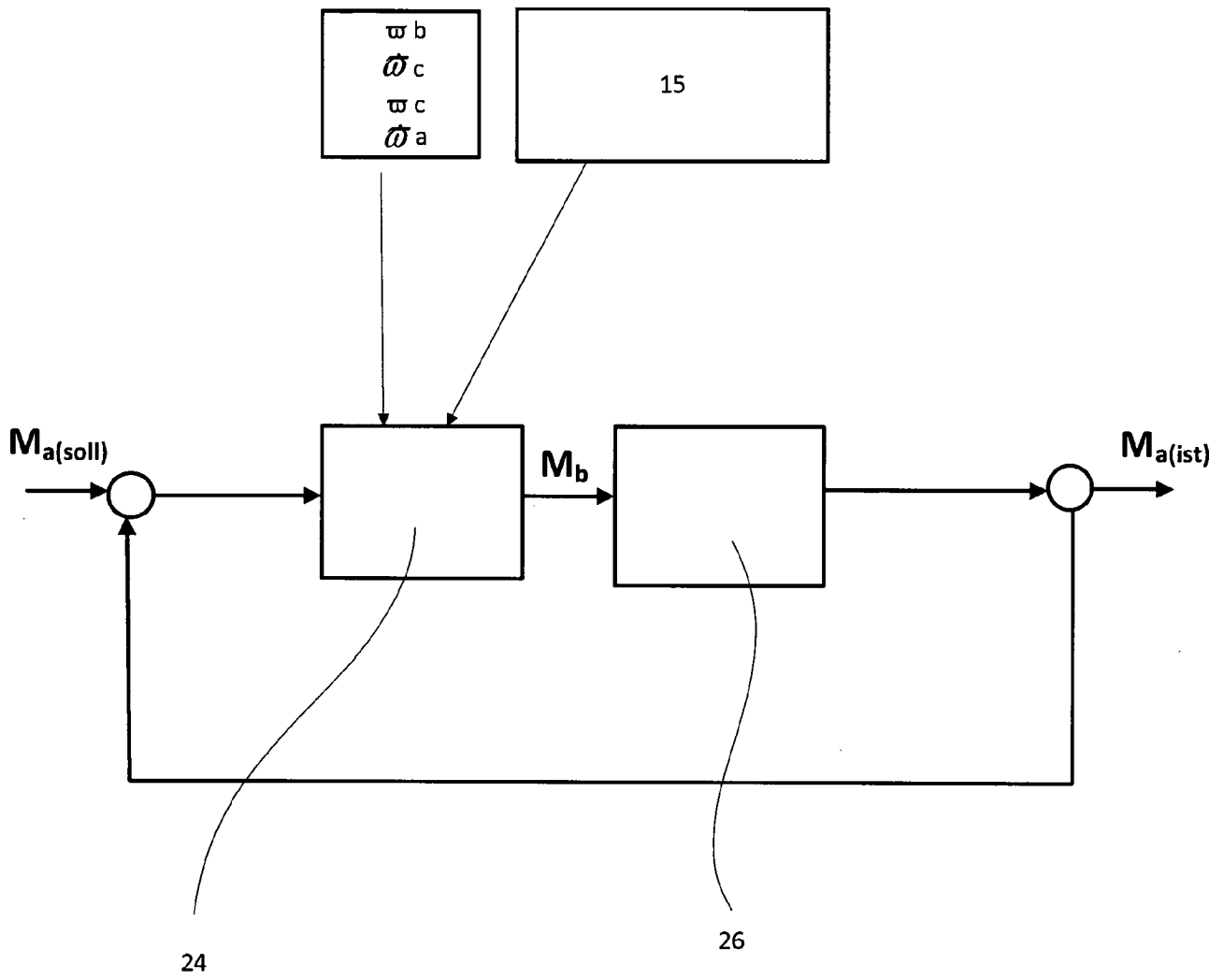


Fig. 2