



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: 10 2009 015 166.4

(22) Anmeldetag: 26.03.2009

(43) Offenlegungstag: 30.09.2010

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B60K 5/12** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,  
80809 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Heier, Tobias, 81241 München, DE; Gocke, Tim,  
80799 München, DE; Muschler, Thomas, 85051  
Ingolstadt, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	10 2008 018337	A1
DE	10 2006 014993	A1
DE	10 2004 015036	A1
DE	198 60 651	A1
DE	103 29 037	A1
DE	43 33 384	A1
DE	41 16 270	A1
DE	35 29 178	A1
US	2003/00 65 430	A1
US	58 16 587	A

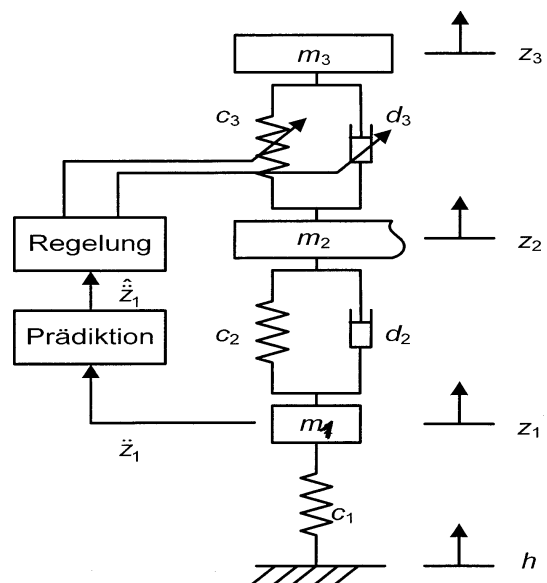
**Fraunhofer-Institut für Software- und  
Systemtechnik ISST:Modellbasierte  
Entwicklung technischer Informationssysteme  
für die Automobilindustrie, Bsp. EDC  
(Elektronische Dämpferkontrolle)**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Adaptive Aggregatelagerung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Aggregatelagerung für Kraftfahrzeuge zur Variation der Dämpfung und/oder der Steifigkeit mindestens eines Aggregatelagers, insbesondere eines Elastomer-Lagers, die eine Regeleinrichtung umfasst, die die Variation der Dämpfung und/oder der Steifigkeit bestimmt und der als Eingangsgröße mindestens ein während des Kraftfahrzeugbetriebs laufend aufgenommener Messwert dient. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung unter Verwendung des Messwerts mittels eines Prädiktionsalgorithmus insbesondere nach den Methoden Levinson-Durbin (LD) und/oder Rekursiver-Least-Squares (RLS) und/oder Least-Mean-Squares (LMS), laufend einen iterativen oder direkten Mehrschrittprädiktor berechnet, der nachfolgend eine Vorhersage der Vertikalbeschleunigung des Radträgers und/oder des Vorderachsträgers für eine bestimmte Vorhersagezeit erstellt und ein Stellglied zur Einstellung der Dämpfung und/oder der Steifigkeit des Aggregatelagers so ansteuert, dass nach Ablauf der Vorhersagezeit die Federsteifigkeit und/oder die Dämpfung des Aggregatelagers so eingestellt ist, dass die an das Aggregatelager weitergeleitete Vertikalbeschleunigung keine Aggregateschwingung verursacht, die der vertikalen Eigenfrequenz des Verbundes von Aggregat und Aggregatelager entspricht.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine adaptive Aggregatelagerung für ein Aggregatlager eines Kraftfahrzeugs, nach dem Oberbegriff des ersten Anspruchs.

**[0002]** Aggregatlager liegen in der Verbindung eines Getriebe- oder Motorteils zum Fahrzeugaufbau. Sie sind in unterschiedlichsten Ausführungsformen bekannt. Sie können Schwingungen bzw. Relativbewegungen zwischen den Anschlussteilen ermöglichen und dämpfen.

**[0003]** Motorlager nehmen sowohl die statischen und dynamischen Motorhaltekräfte im Fahrbetrieb auf, als auch dämpfen sie die daraus resultierenden niederfrequenten Schwingungen des Motors. Darüber hinaus sollen sie die Übertragung von akustischen Schwingungen und Vibrationen, die sich vom Motor auf die Karosserie und damit den Fahrgastraum ausbreiten, unterbinden. Dafür sollten solche Lager im niederfrequenten und im hochfrequenten Bereich unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich Steifigkeit und Dämpfung aufweisen. Dies bedingt bei der Auslegung solcher Lager erhebliche Kompromisse, die bei ungünstigen Bedingungen weit vom jeweiligen Optimum liegen können. Gute Ergebnisse wurden bisher durch hydraulisch gedämpfte Motorlager erreicht, die eine hohe Dämpfung niederfrequenter Schwingungen bewirken und gleichzeitig eine gezielte Entkopplung hochfrequenter Schwingungen ermöglichen. Aber auch bei solchen Lagern sind die Eigenschaften im niederfrequenten und im hochfrequenten Bereich nicht unabhängig voneinander einstellbar, wodurch die Abstimmung auf die jeweils geforderten Werte sehr aufwändig wird. Darüber hinaus ist bei solchen hydraulisch gedämpften Motorlagern im allgemeinen eine Veränderung der dynamischen Federsteifigkeit nur in axialer, d. h. in vertikaler Richtung möglich, während diese in radialer Richtung weitgehend unverändert bleibt, so dass eine gesteuerte Federsteifigkeitsänderung, die sich den jeweiligen Betriebszuständen anpasst, nicht möglich ist. Bei schaltbaren Hydrolagern erfolgt eine Verstellung bzw. Anpassung für den Leerlaufbetrieb elektrisch oder durch Unterdruck. Diese ist sehr langsam und liegt im Bereich von 2 bis 5 Sekunden. Zudem kann nur eine Dämpfung geändert werden. Normalerweise bewirkt eine Steifigkeitsänderung eines Motorlagers auch immer eine Dämpfungsänderung.

**[0004]** Die noch nicht veröffentlichte deutsche Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10 2008 057 577.1 beschreibt ein Elastomer-Lager, insbesondere ein Motorlager oder ein Fahrwerkslager eines Kraftfahrzeugs, mit mindestens einem zwischen mindestens zwei Stützkörpern eingebrachten Feder-/Dämpferkörper, der über mindestens einen weiteren Stützkörper im Bedarfsfall abstützbar ist. Das Elastomer-Lager ist dadurch gekennzeichnet, dass der wei-

tere Stützkörper den Feder-/Dämpferkörper so abstützen kann, dass dessen Dehnfähigkeit verstellbar beeinflusst wird. Damit kann die Federsteifigkeit eines reinen Elastomer-Lagers, abhängig von vorgegebenen Betriebsparametern, im Betrieb stufenlos variiert werden, und zwar in dem Sinne, dass ein solches Lager bei großen Schwingungsamplituden zum Beispiel bei niedrigen Drehzahlen oder insbesondere im Leerlauf, relativ weich und bei höheren Betriebsdrehzahlen relativ hart ist. Der Feder-/Dämpferkörper kann in Abhängigkeit vorgegebener Betriebsparameter, zeitweise, mittels verschieden großer, von außen aufgebrachtener Kraft so belastet werden, dass sich dessen Elastizitätsmodul entsprechend der gerade erwünschten Feder-/Dämpfungseigenschaften des Elastomer-Lagers einstellen lässt. Damit ist es möglich, die Federsteifigkeit des Elastomer-Lagers nach vorgegebenen Anforderungen und Betriebsparametern zu variieren. Ein zweckmäßiger Betriebsparameter ist hierbei zum Beispiel die Motordrehzahl, abhängig von deren Höhe dann im Leerlauf eine weiche und bei Vollast eine harte Kennlinie des Elastomer-Lagers eingestellt werden kann. So werden motorerregte Schwingungen über eine best mögliche Schwingungsisolierung durch die weiche, ungedämpfte Einstellung des Elastomer-Lagers verhindert und eine Schwingungsanregung des Motors durch Fahrbahnunebenheiten wird andererseits über eine steife Anbindung des Motors an das Fahrwerk unterbunden. Eine individuell an die Betriebsbedingungen des Kraftfahrzeugs anpassbare, so genannte adaptive Motorlagerung durch ein solches erfindungsgemäßes semi-aktives, also durch Beeinflussung des Lagers in seinen Eigenschaften veränderbares Elastomer-Lager eröffnet auch ein großes Potential zur Verbesserung des Fahrkomforts. Sinnvoll ist hier die Berücksichtigung von Motordrehzahl, Radbeschleunigung und/oder Vorderachsträger-Beschleunigung.

**[0005]** Bei einem Verfahren zur Variation der Federsteifigkeit des Motorlagers für Kraftfahrzeuge berechnet ein Steuergerät, abhängig von fahrtspezifischen Eingangsgrößen, wie insbesondere Motordrehzahl und/oder Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder Fahrbahnbeschaffenheit bzw. Einfeder-/Ausfederdaten des Fahrwerks, zum Beispiel die Radbeschleunigung, einen notwendigen Momentanwert des Formfaktors für die Abstützung des Feder-/Dämpferelements durch die Stützkörperelemente des weiteren Stützkörpers und stellt diesen Momentanwert des Formfaktors am Feder-/Dämpferelement durch Ansteuerung, insbesondere Bestromung, eines Aktuators ein.

**[0006]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine solche Aggregatelagerung semi-aktiv bzw. adaptiv so zu regeln, dass durch einen Motor-Getriebe-Verbund angebunden an ein Fahrwerk, einerseits möglichst wenig motorerregte Schwingungen in den Fahrgastraum übertragen werden und andererseits über das

Fahrwerk bzw. Rad der Motor-Getriebe-Verbund nicht zum Schwingen angeregt wird. Dabei ist eines der Hauptprobleme der Aggregatelagerung die periodische, in Nähe der Eigenfrequenz liegende, Anregung der Aggregatelager durch Vertikalbewegungen der Fahrzeuräder. Diese bewirken eine entsprechend phasenverschobene Anregung des Vorderachsträgers, welcher unmittelbar die Aggregatelager anregt, was wiederum dort eine starke Verstärkung und damit eine Erhöhung der Amplitude von Motor zu Karosserie bewirkt. Ein solches von der Fahrbahn induziertes Verhalten wird Stuckern genannt, was durch die Erfindung verhindert werden soll.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus dem abhängigen Anspruch.

**[0008]** Nach der Erfindung ist eine Aggregatelagerung für Kraftfahrzeuge zur Variation der Dämpfung und/oder der Steifigkeit mindestens eines Aggregatelagers, insbesondere eines Elastomer-Lagers, die eine Regeleinrichtung umfasst, die die Variation der Dämpfung und/oder der Steifigkeit bestimmt und der als Eingangsgröße mindestens ein während des Kraftfahrzeugbetriebs laufend aufgenommener Messwert dient, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung unter Verwendung des Messwerts mittels eines Prädiktionsalgorithmus insbesondere nach den Methoden Levinson-Durbin (LD) und/oder Rekursiver-Least-Squares (RLS) und/oder Least-Mean-Squares (LMS), laufend einen iterativen oder direkten Mehrschrittprädiktor berechnet, der nachfolgend eine Vorhersage der Vertikalbeschleunigung des Radträgers und/oder des Vorderachsträgers für eine bestimmte Vorhersagezeit erstellt und ein Stellglied zur Einstellung der Dämpfung und/oder der Steifigkeit des Aggregatelagers so ansteuert, dass nach Ablauf der Vorhersagezeit die Federsteifigkeit und/oder die Dämpfung des Aggregatelagers so eingestellt ist, dass die an das Aggregatelager weitergeleitete Vertikalbeschleunigung keine Aggregatschwingung verursacht, die der vertikalen Eigenfrequenz des Verbundes von Aggregat und Aggregatelager entspricht.

**[0009]** Das hat den Vorteil, dass das Stuckern gezielt erkannt wird und durch frühzeitig möglichen Regeleingriff Komfortminderungen mit wenig Energieaufwand entgegengewirkt werden kann. Durch Prädiktion ist schnelleres Eingreifen mit geringem Kostenaufwand durch die reine Softwarelösung möglich mit einem Zeitvorteil von bis zu 80 Millisekunden um der Störgröße entgegen zu wirken.

**[0010]** Eine bevorzugte Ausführung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Messwert mit einer Abtastfrequenz von wenigstens 50 bis höchstens 1000 Hz, insbesondere mit 128 Hz, erfasst wird.

Eine Wahl der Abtastschrittfrequenz bei im Wesentlichen 128 Hz führt vorteilhafterweise dazu, dass jede von der Fahrbahn ausgehende Stuckeranregung in jedem Geschwindigkeitsbereich eines Kraftfahrzeugs erfasst werden kann und dass gleichzeitig, bei nicht zu hohem Rechenaufwand, der Vorhersagezeitraum möglichst lang ist. Je höher die Abtastfrequenz gewählt wird, desto größer wird der Rechenaufwand, allerdings bei besserer Auflösung, und desto kleiner wird der Vorhersagezeitraum. Je nach Anwendung, Auslegung und Aufwand sind aber Abtastfrequenzen von 50 bis 1000 Hz möglich.

**[0011]** Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung weiter erläutert mittels regelungstechnischer Prinzipdarstellungen und sich für den Fachmann selbst erklärender Flussdiagramme in den Figuren. Erfindungswesentlich können sämtliche gezeigten oder beschriebenen Merkmale sein. Es zeigen:

**[0012]** [Fig. 1](#): eine Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen prädiktiven Regelkonzeptes im Viertelfahrzeugmodell,

**[0013]** [Fig. 2](#): ein erstes Regelungskonzept für einen zeitbasierten Regelungsalgorithmus, die Radträgerbeschleunigungskompensation im Grundprinzip und in

**[0014]** [Fig. 3](#): als Regelungskonzept für eine reine Steifigkeitsverstellung,

**[0015]** [Fig. 4](#): ein zweites Regelungskonzept für einen zeitbasierten Regelungsalgorithmus, die prädiktive modellbasierte Steuerung für den Spezialfall einer reinen Steifigkeitsveränderung und

**[0016]** [Fig. 5](#): ein drittes Regelungskonzept für einen zeitbasierten Regelungsalgorithmus im Überblick, die prädiktive gradientenbasierte Steuerung.

**[0017]** Die [Fig. 1](#) zeigt die Gesamtansicht eines prädiktiven Regelkonzeptes schematisch an einem Viertelfahrzeugmodell einer Radaufhängung mit Aggregatelagerung. An einer Karosserie  $m_2$  eines Kraftfahrzeugs ist über eine gefederte Radaufhängung  $c_2$ ,  $d_2$  ein Vorderrad  $m_1$  angebracht und durch ein semi-aktives Aggregatelager  $c_3$ ,  $d_3$  ein Antriebsaggregat  $m_3$  abgestützt. Das Kraftfahrzeug ist mit einem Sensor versehen, zum fortlaufenden Erfassen der Beschleunigung  $\ddot{z}_1$  des Vorderrads. Das Ausgangssignal  $\ddot{z}_1$  dieses Sensors wird einer prädiktiven Regelung zugeführt. Diese ist so ausgebildet, dass sie das adaptive Aggregatelager  $c_3$ ,  $d_3$  regelt, über eine variable Dämpfung  $d_3$ , deren Dämpfungskoeffizient prädiktiv geregelt wird, und die prädiktive Änderung der Federkonstante der Federung  $c_3$ , die parallel zum Dämpfer wirkt.

**[0018]** Der Grundgedanke der Erfindung ist, die Aggregatelager bei einer Anregung in Nähe der Eigenfrequenz nicht aufschwingen zu lassen, sondern bereits zu Beginn und/oder im Vorfeld der Anregung zu reagieren. Dies kann durch Vorhersage, also Prädiktion der Vorderachsträgerbeschleunigung und Regelung der Aggregatelager auf dieses vorhergesagte Signal erfolgen, oder aber auch unter Nutzung des längeren Signalpfades, das heißt, da die erste Anregung des Gesamtsystems über die Fahrbahn am Rad erfolgt, ist entsprechend die periodische Anregung zuerst am Rad zu detektieren. Wenn dieses Signal anschließend noch vorhergesagt wird, erhöht sich die zur Verfügung stehende Zeit für Regelungs- oder Steuerungseingriffe noch mehr.

**[0019]** Zur Signalgewinnung wird, wie oben gezeigt, über Beschleunigungssensoren, die neu verbaut oder bereits durch Fahrwerkregelsysteme vorhanden sind, die Beschleunigung der beiden Vorderräder  $\ddot{z}_1$  gemessen und weitergeleitet. Dieses abgetastete diskrete Signal wird anschließend tiefpass-gefiltert. Dies kann entweder in Hardware oder als Softwarefilter erfolgen. Allerdings ist aufgrund der Berechnungsdauer ein Hardwarefilter zu bevorzugen. Die Tiefpassfilterung beschränkt sich auf einen Bereich von 0–20 Hz.

**[0020]** Dieses gefilterte Signal ist Eingang für die Prädiktion, die linear oder nicht linear erfolgen kann, wobei erstere für diesen Anwendungsfall aber bereits ausreichend ist. Mögliche Prädiktionsalgorithmen sind beispielsweise Levinson-Durbin (LD), Rekursiver-Least-Squares (RLS) und Least-Mean-Squares (LMS). Besonders bewährt hat sich im Fall der Stuckerkennung der iterative Rekursive Least-Mean-Squares Algorithmus. Dieser zeigt besonders bei Strecken mit typischem Stuckerprofil, zum Beispiel bei einer Betonautobahn mit Querfuge, besonders gute Ergebnisse.

**[0021]** Mit Hilfe der Prädiktionsalgorithmen kann die Vorhersage des Signals berechnet werden. Bei Versuchen konnte für den RLS-Algorithmus bei geeigneter Abtastrate und Filterlänge eine Vorhersage von bis zu 65 ms erzielt werden. Dieses vorhergesagte Beschleunigungssignal dient dann im nächsten Schritt als Eingang für den Regler eines mechatronischen Aggregatelagers. Das Ziel der Regelung, die Aggregatelager an bestimmte Fahrsituationen anzupassen und prädiktiv gegen das Phänomen Stuckern zu regeln soll auch die Beschleunigung des Fahrers in Hubrichtung minimieren. Vereinfacht kann dies mit der Minimierung der Beschleunigung  $\ddot{z}_2$  in [Fig. 1](#) beschrieben werden. Mögliche Regelungskonzepte sind entweder frequenzbasierend oder zeitbasierend. Zeitbasierende Regler haben aber in den Versuchen bei der Güte und der Berechnungsdauer und somit der Online-Fähigkeit deutliche Vorteile gegenüber frequenzbasierenden Reglern gezeigt.

**[0022]** Bei den zeitbasierenden Regelungsalgorithmen sind drei verschiedene Regler hervorzuheben, die Radträgerbeschleunigungskompensation, dargestellt in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#), die prädiktive modellbasierte Steuerung, dargestellt in [Fig. 4](#), und die prädiktive gradientenbasierte Steuerung, dargestellt in [Fig. 5](#).

**[0023]** Bei der Radträgerbeschleunigungskompensation wird die Feder- und Dämpferkraft des Aggregatelagers so angepasst, dass diese der Radbeschleunigung entgegenwirkt und kompensiert. Dadurch wird eine deutliche Minderung der Gesamtbeschleunigung in Hubrichtung erzeugt.

**[0024]** Bei der prädiktiven modellbasierten Steuerung erfolgt, in einem einfachen Ersatzmodell, eine Berechnung der Fahrer- bzw. Karosseriebeschleunigung  $\ddot{z}_2$ . Zur Berechnung werden die vorhergesagten Radbeschleunigungswerte sowie verschiedene Konfigurationen von Steifigkeits- und Dämpfungswerten verwendet. Die Berechnung mit den einzelnen Konfigurationen erfolgt parallel in einem Zeitschritt. Nach jedem Berechnungsschritt werden anschließend die Beschleunigungswerte verglichen und die Konfiguration mit der niedrigsten Fahrer-Karosseriebeschleunigung ausgewählt.

**[0025]** Bei der prädiktiven gradientenbasierten Steuerung nach [Fig. 5](#) wird im kritischen Frequenzbereich von dem prädizierten Signal der Effektivwert (Root-Mean-Square RMS) gebildet. Anschließend werden zwei parallele Entscheidungsprozesse gestartet.

- Erstens wird, wenn dieser Effektivwert eine definierte Grenze (hier  $0,4 \text{ m/s}^2$ ) überschreitet, die Steifigkeit des Aggregatelagers auf ein Maximum gestellt und die Dämpfung auf ein geeignetes Maß angepasst.
- Zweitens wird gleichzeitig der Gradient des Effektivwertes berechnet. Je nach Größe dieses Gradienten und somit des Anstiegs des Effektivwertes wird anteilig Steifigkeit und/oder Dämpfung erhöht.

**[0026]** Durch die Erhöhung der Steifigkeit wird die Eigenfrequenz des Lagers erhöht. Somit kann bei kritischer Anregung, für die niedrige Steifigkeit, die Eigenfrequenz des Aggregatelagers in Richtung höherer Frequenzen verschoben werden. Dies bewirkt, dass sich das Aggregat nur gering aufschwingt und somit keine Komfortbeeinträchtigung darstellt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102008057577 [\[0004\]](#)

### Patentansprüche

1. Aggregatelagerung für Kraftfahrzeuge zur Variation der Dämpfung und/oder der Steifigkeit mindestens eines Aggregatelagers, insbesondere eines Elastomer-Lagers, die eine Regeleinrichtung umfasst, die die Variation der Dämpfung und/oder der Steifigkeit bestimmt und der als Eingangsgröße mindestens ein während des Kraftfahrzeugbetriebs laufend aufgenommener Messwert dient, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinrichtung unter Verwendung des Messwerts mittels eines Prädiktionsalgorithmus insbesondere nach den Methoden Levinson-Durbin (LD) und/oder Rekursiver-Least-Squares (RLS) und/oder Least-Mean-Squares (LMS), laufend einen iterativen oder direkten Mehrschrittprädiktor berechnet, der nachfolgend eine Vorhersage der Vertikalbeschleunigung des Radträgers und/oder des Vorderachsträgers für eine bestimmte Vorhersagezeit erstellt und ein Stellglied zur Einstellung der Dämpfung und/oder der Steifigkeit des Aggregatelagers so ansteuert, dass nach Ablauf der Vorhersagezeit die Federsteifigkeit und/oder die Dämpfung des Aggregatelagers so eingestellt ist, dass die an das Aggregatlager weitergeleitete Vertikalbeschleunigung keine Aggregateschwingung verursacht, die der vertikalen Eigenfrequenz des Verbundes von Aggregat und Aggregatlager entspricht.

2. Aggregatelagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messwert mit einer Abtastfrequenz von wenigstens 50 bis höchstens 1000 Hz, insbesondere mit 128 Hz, erfasst wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

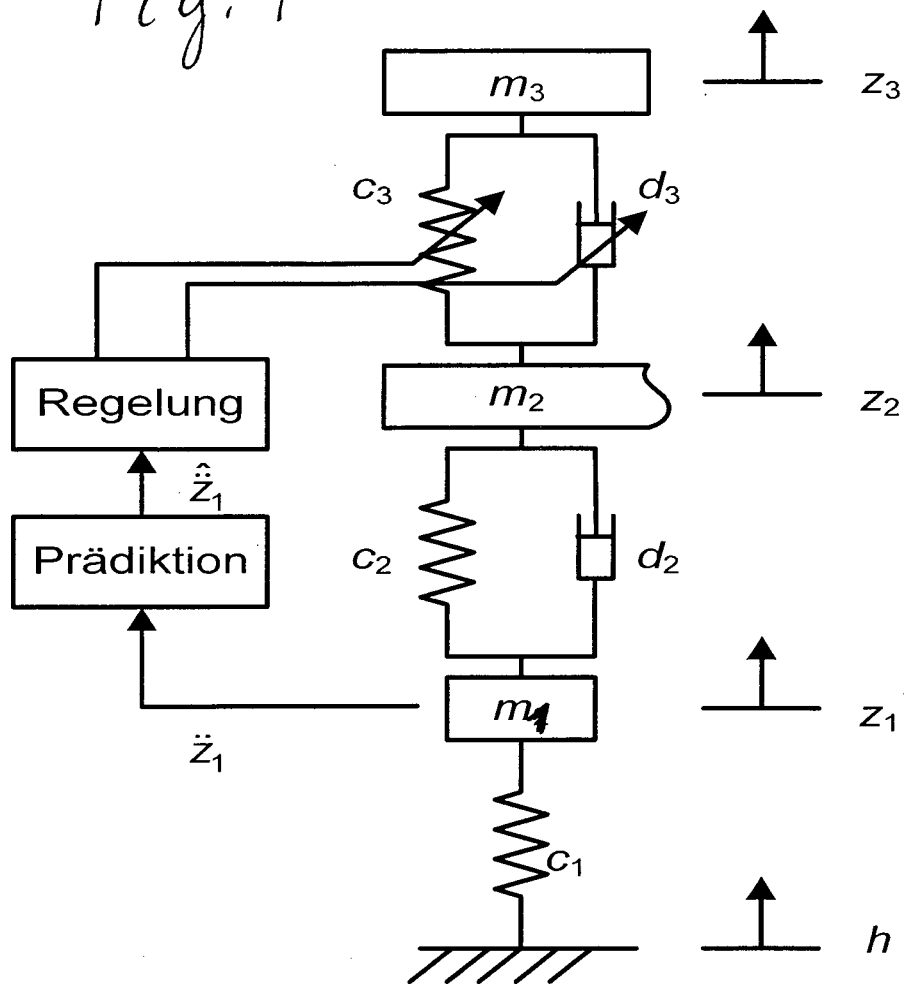


Fig. 2

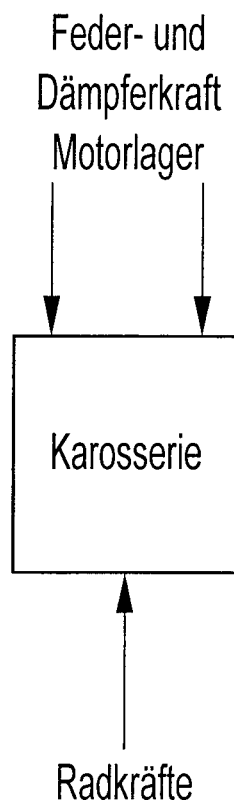




Fig. 3

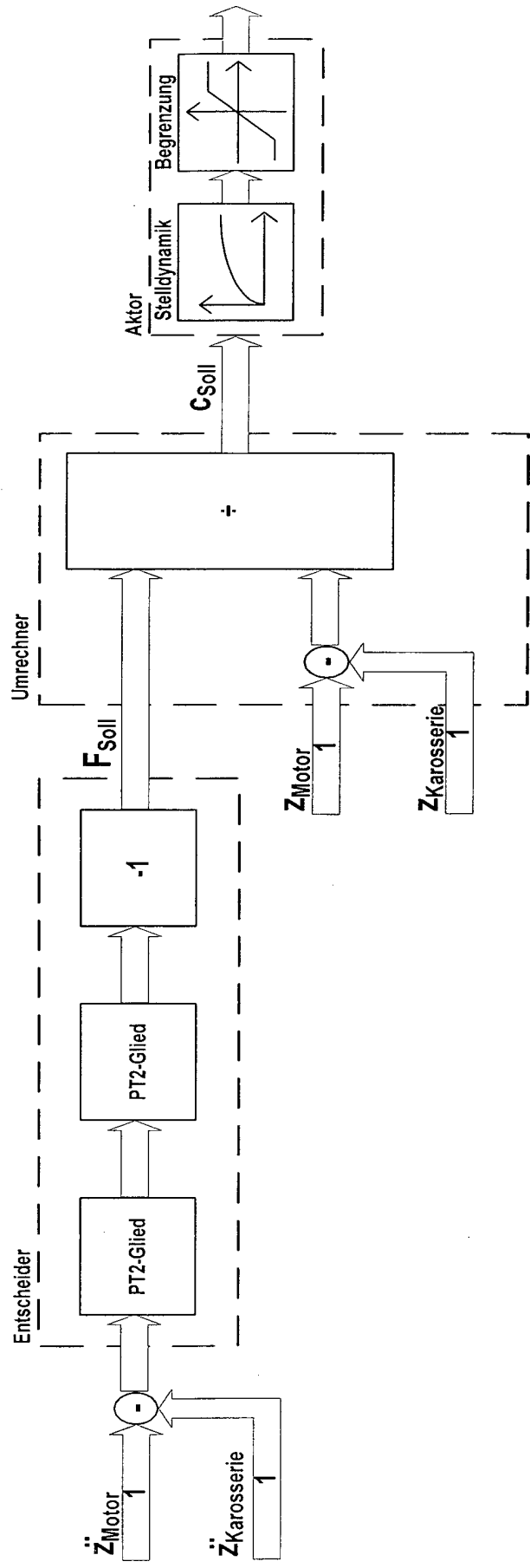


Fig. 4

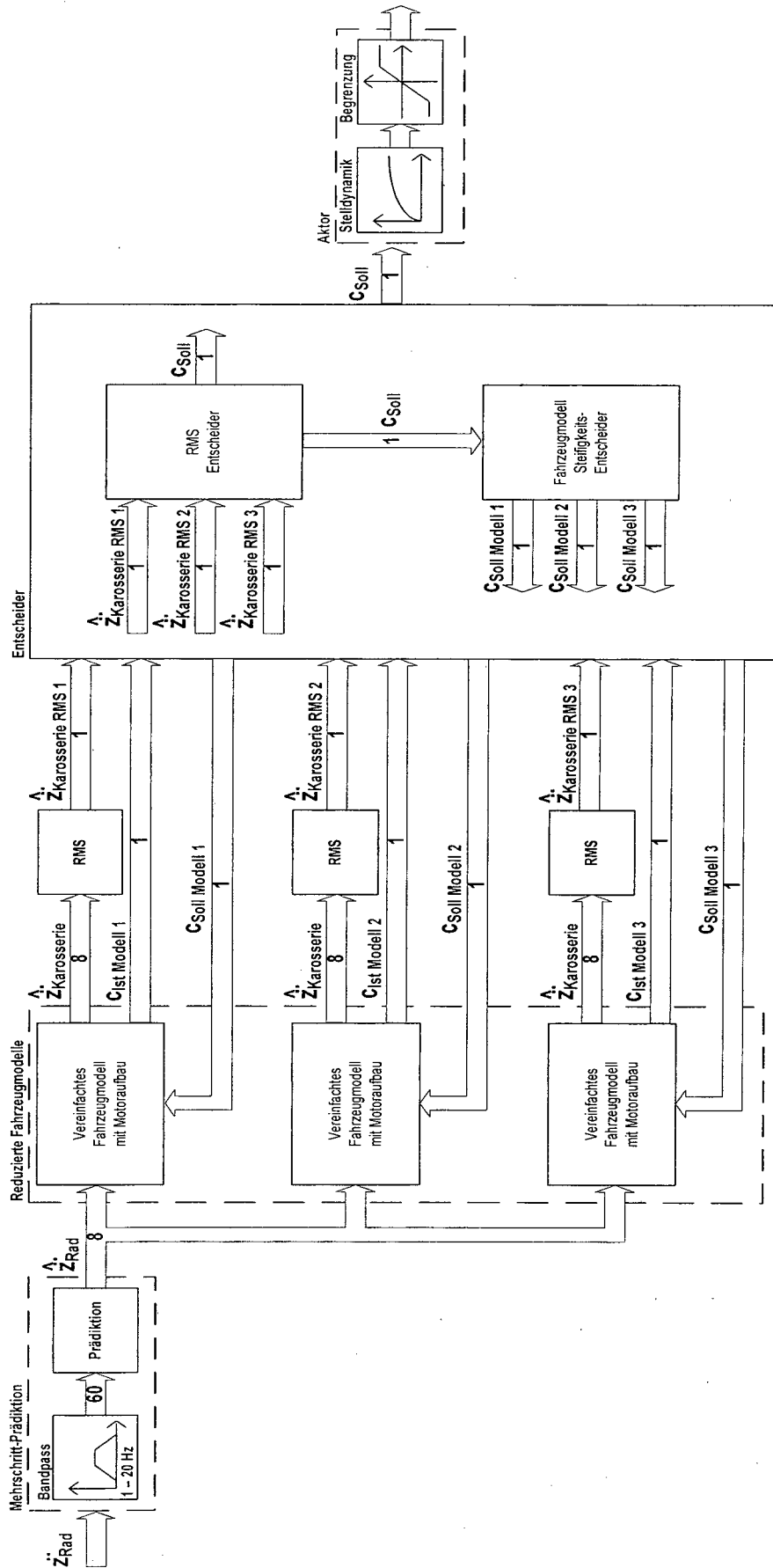


Fig. 5

