



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 053 325 A1** 2007.05.10

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 053 325.6**

(22) Anmeldetag: **07.11.2005**

(43) Offenlegungstag: **10.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01M 19/00** (2006.01)
G01M 17/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241
 München**

(72) Erfinder:
**Matthias, Michael, Dipl.-Ing., 64285 Darmstadt, DE;
 Thomaier, Martin, Dipl.Ing., 64293 Darmstadt, DE;
 Bös, Joachim, Dr.-Ing., 64293 Darmstadt, DE;
 Mayer, Dirk, Dr.-Ing., 64295 Darmstadt, DE; Herold,
 Sven, Dr.-Ing., 64285 Darmstadt, DE; Melz, Tobias,
 Dr.-Ing., 64285 Darmstadt, DE; Atzrodt, Heiko,
 Dipl.-Ing., 64331 Weiterstadt, DE; Bruder, Thomas,
 Dipl.-Ing., 64287 Darmstadt, DE**

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

DE 38 12 824 A1
US 63 86 054 A1
US-W4 44 99 759
US 35 20 180
EP 14 22 508 A1
EP 10 31 827 A2
WO 91/09 291 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Simulation von physikalischen Belastungsgrößen einer Realstruktur auf eine über wenigstens einen Fügebereich mit der Realstruktur verbindbaren Prüfkörperstruktur**

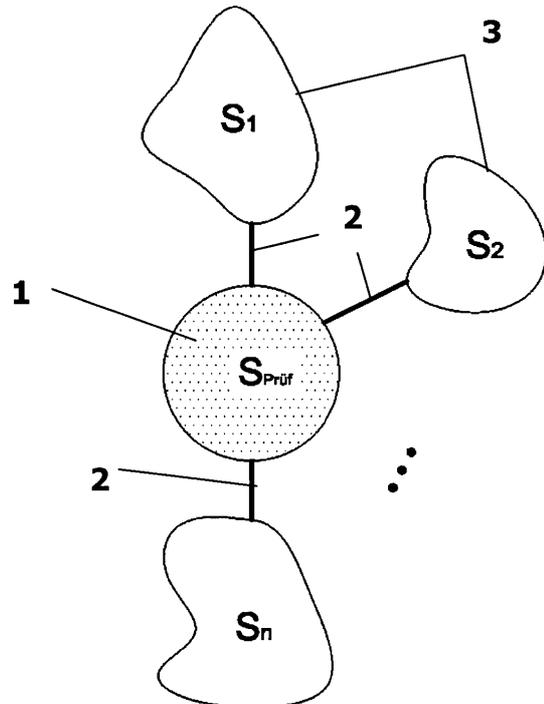
(57) Zusammenfassung: Beschrieben werden ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur experimentellen Simulation statischer oder dynamischer Wirkungen von physikalischen Belastungsgrößen von wenigstens einer Realstruktur auf eine über wenigstens eine Schnittstelle mit der Realstruktur verbindbaren Prüfkörperstruktur.

Die Erfindung zeichnet sich durch die Kombination der folgenden Verfahrensschritte aus:

Ermitteln an der wenigstens einen Schnittstelle zwischen der wenigstens einen Realstruktur und der Prüfkörperstruktur und Erstellen eines die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes,

- Vorsehen wenigstens einer Aktoreinheit anstelle der wenigstens einen Realstruktur am Ort der wenigstens einen Schnittstelle und Verbinden der Prüfkörperstruktur mit der wenigstens einen Aktoreinheit und

- Ansteuern der wenigstens einen Aktoreinheit auf der Grundlage des die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes zur Simulation der auf den Prüfkörper einwirkenden physikalischen Belastungsgrößen seitens der wenigstens einen Realstruktur.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur experimentellen Simulation statischer oder dynamischer Wirkungen von physikalischen Belastungsgrößen von wenigstens einer Realstruktur auf eine über wenigstens eine Schnittstelle mit der Realstruktur verbindbaren Prüfkörperstruktur. Überdies werden eine Vorrichtung sowie ein Verfahren beschrieben, mit der bzw. mit dem die Simulation einer Realstruktur sowie Prüfkörperstruktur zu Zwecken der Untersuchung der Eigenschaften einer Schnittstelle möglich ist, über die die Realstruktur mit der Prüfkörperstruktur verbunden sind. Prüfkörperstrukturen wie auch Realstrukturen können aus einer wie auch mehreren Komponenten bestehen. Physikalische Belastungsgrößen können beispielsweise mechanische Wirkungen physikalischer Belastungsgrößen wie z.B. Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Kräfte, Momente sein.

Stand der Technik

[0002] Für die Entwicklung neuartiger Strukturen, die sich aus einer Vielzahl einzelner Komponenten zusammensetzen, spielt die Kenntnis über die Festigkeit und Lebensdauer jeder einzelnen Komponente im konstruktiven Zusammenspiel mit allen übrigen die Gesamtstruktur ergebenden Komponenten eine zentrale Rolle. Um möglichst realitätsnahe Aussagen über das Systemverhalten einzelner, in einer realen Gesamtstruktur eingebundener Komponenten treffen zu können, dienen bis anhin individuell ausgebildete Prüfeinrichtungen, vermittels welcher der real existierende Strukturen und Systeme hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften unter Belastung geprüft werden können. Gilt es beispielsweise einzelne Fahrwerkskomponenten eines Kraftfahrzeuges bezüglich ihrer mechanischen Eignung und Belastbarkeit zu überprüfen, so werden häufig vollständig montierte Fahrzeugachsen in die Prüfmaschine eingebaut, um die Interaktion zwischen den einzelnen Komponenten und dem Gesamtsystem möglichst realitätsnah nachzubilden. Es liegt auf der Hand, dass insbesondere bei großbauenden und schwergewichtigen, insbesondere mechanischen Systemen der hierfür erforderliche Prüfaufwand immens ist. Trotz aller diesbezüglicher Anstrengungen bestimmte Einzelkomponenten in einem möglichst realitätsnah nachgebildeten mechanischem Strukturumfeld zu überprüfen, ist es mit derartigen Prüfaufbauten dennoch nicht möglich, das Verhalten der realen Gesamtstruktur uneingeschränkt realistisch darzustellen, zumal häufig nur Teilsystemabschnitte als eine die Realstruktur repräsentierende Prüfumgebung zu Prüfzwecken eingesetzt werden können, so dass die ermittelten Prüfergebnisse verfälscht werden.

[0003] Heutzutage werden in der Entwicklung und Konstruktion häufig software-gestützte Konstruktionsprogramme eingesetzt, mit denen es möglich ist, in iterativen Entwicklungsstufen Entwicklungsergebnisse in Form numerisch vorliegender Modelle zu generieren. Sollen zu bestimmten Entwicklungsstadien experimentelle Simulationen an den vorliegenden Komponenten oder Baugruppen durchgeführt werden, beispielsweise um die Entwicklung zu parallelisieren oder um möglichst früh Kenntnisse über die Lebensdauer derartiger Komponenten zu erhalten, müssen die numerischen Modelle in Prototypen überführt werden, die wiederum mit den vorstehend genannten Prüftechniken untersucht werden. Es steht außer Frage, dass bereits die Umsetzung numerisch vorliegender Prototypenstrukturen in reale, mit gängigen Prüftechniken zu untersuchende Prototypen sehr kostenintensiv ist.

[0004] Im Zusammenhang mit dem vorstehend bereits zitierten konkreten Anwendungsbeispiel hinsichtlich der Überprüfung von Fahrwerkskomponenten sind Prüfaufbauten bekannt, in denen Aktoren zur Einleitung von Kräften und Momenten in eine jeweilige Fahrwerkskomponente vorgesehen sind, um die auf die jeweilige Komponente bei Normalbetrieb einwirkenden realen Belastungen möglichst nachzubilden. So geht aus einem Beitrag von Lünenbürger, A., „Versuchszeitreduzierung bei Betriebslasten-Nachfahrversuchen an Achssystemen, Meß- und Versuchstechnik im Fahrzeug“, Tagung Mainz, 29. bis 30. April 1999, VDI-Berichte No. 1470, VDI-Verlag Düsseldorf, ISBN 3-18-091470-X, hervor, dass eine aktorische Einleitung von Schwingungsbelastungen mit Hilfe wenigstens eines geeigneten Aktors in eine zu untersuchende Fahrwerkskomponente zu Zwecken einer Dauerbelastungsprüfung durchgeführt wird und dies aus Gründen einer Versuchszeitverkürzung mit höheren Prüffrequenzen, die an die zu untersuchende Komponente appliziert werden.

Aufgabenstellung

Darstellung der Erfindung

[0005] Zur Prüfung der Eigenschaften unter Belastung einzelner, in einer Realstruktur enthaltenen oder mit dieser verbundenen Komponenten, im Weiteren werden diese Komponenten jeweils als Prüfkörperstruktur beschrieben, gilt es eine Prüfumgebung zu schaffen, in der es für die Einleitung möglichst realitätsnaher Beanspruchungen in eine Prüfkörperstruktur notwendig ist, die realen Ankoppelbedingungen zwischen der Realstruktur und der jeweils zu untersuchenden Prüfkörperstruktur nachzubilden. Wie vorstehend beschrieben wird dies bisher dadurch erreicht, indem die Realstruktur oder wenigstens Teile der Realstruktur in die Prüfumgebung eingebunden wird, was jedoch mit einem erheblichen apparativen und kostenintensiven Aufwand verbunden ist. Des

Weiteren muss für jede zu überprüfende Prüfkörperstruktur und eine mit dieser über eine Schnittstelle entsprechend zu verbindende Realstruktur eine eigens individuell ausgebildete Prüfumgebung geschaffen werden, wodurch zu den bereits erwähnten erheblichen Kostenaufwendungen ein Zeitproblem erwächst, durch das einzelne Entwicklungsstadien zeitverzögert durchgeführt werden können.

[0006] Die vorstehenden Nachteile gilt es zu vermeiden, vielmehr soll ein Verfahren sowie eine Vorrichtung angegeben werden, mit dem bzw. mit der eine hocheffiziente, in Bezug auf Kosten und Zeitaufwand optimierte Belastungsprüfmöglichkeit für an beliebig ausgebildete Realstrukturen fügbare Prüfkörperstrukturen möglich wird. Die lösungsgemäße Vorrichtung sowie das entsprechend angegebene lösungsgemäße Verfahren soll überdies die Möglichkeit schaffen, auch die mechanische Belastbarkeit der zwischen einer beliebig ausgebildeten Prüfkörperstruktur und einer entsprechend beliebig ausgebildeten Realstruktur vorhandenen Schnitt- bzw. Fügstelle zu untersuchen.

[0007] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist in den Ansprüchen 1, 3, 11 und 13 angegeben. Den Lösungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

[0008] Die der Erfindung zugrunde liegende Idee basiert auf dem teilweisen oder vollständigen Ersatz der Realstruktur durch wenigstens eine Aktoreinheit, mit der die Realstruktur und insbesondere die statischen und dynamischen Eigenschaften der Realstruktur am Ort der Schnittstelle, an der die Prüfkörperstruktur mit der Realstruktur verbindbar ist, simuliert werden. Durch eine geeignete Ansteuerung der wenigstens einen Aktoreinheit ist für die zu untersuchende Prüfkörperstruktur kein Unterschied beispielsweise im mechanischen Verhalten in Bezug auf die wenigstens eine Schnittstelle erkennbar, über die die Prüfkörperstruktur mit der wenigstens einen, die Realstruktur simulierenden Aktoreinheit verbunden ist.

[0009] Hierbei wird unter einer Aktoreinheit ein Energiewandlersystem verstanden, das eine Energieform in eine andere überführt. Typischerweise handelt es sich um mechanische Aktoren wie Hydraulikzylinder, Pneumatikzylinder oder piezokeramische Aktoren.

[0010] Für den Fall, dass die thermischen oder allgemein, die energetischen Wirkungen seitens der Realstruktur über die wenigstens eine Schnittstelle auf die Prüfkörperstruktur zu simulieren sind, sind entsprechend konfektionierte Aktoreinheiten in Form

von Magnetfeldgeneratoren, Akustikwandler oder Heiz- bzw. Kühlelemente alternativ oder in Kombination zu den vorstehend genannten, mechanischen Aktoreinheiten an der Schnittstelle, stellvertretend für die Realstruktur oder zumindest Teilbereiche der Realstruktur vorzusehen. Die weiteren Ausführungen beziehen sich jedoch vornehmlich, ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens, der die vorstehenden Wirkungsalternativen mit umfasst, auf mechanische Belastungsgrößen, die es zu erfassen und entsprechend zu simulieren gilt.

[0011] Das lösungsgemäße Verfahren zur experimentellen Simulation von statischen oder dynamischen Wirkungen physikalischer Belastungsgrößen, vorzugsweise von mechanischen Größen wie, Kräfte, Momente, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Wege etc., von wenigstens einer Realstruktur auf eine über wenigstens eine Schnittstelle mit der Realstruktur verbindbare Prüfkörperstruktur setzt sich durch die Kombination der folgenden Verfahrensschritte zusammen,

[0012] Zunächst ist es erforderlich, die physikalischen Belastungsgrößen an der wenigstens einen Schnittstelle der Realstruktur hinsichtlich ihrer statischen und dynamischen Eigenschaften zu ermitteln, ein Vorgang der entweder auf Basis numerischer Berechnungen erfolgt oder mittels sensorischer Erfassung an einer real ausgebildeten und im Betrieb befindlichen Realstruktur. Die im Wege der vorstehenden Ermittlung erhaltenen Wirkungen physikalischer Belastungsgrößen werden in Form eines mit Hilfe einer geeigneten Rechner- oder Logikeinheit auswertbaren Datensatzes abgespeichert. Im Weiteren wird wenigstens eine Aktoreinheit anstelle der Realstruktur am Ort der wenigstens einen Schnittstelle vorgeesehen, die mit der Prüfkörperstruktur unter Ausbildung einer beispielsweise mechanischen Wirkverbindung verbunden wird.

[0013] Soll die gesamte Realstruktur substituiert werden, so gilt es an allen Schnittstellen zwischen der Prüfkörperstruktur und der Realstruktur geeignet ausgebildete Aktoreinheiten vorzusehen. In Fällen, in denen jedoch nur Teilbereiche der Realstruktur simuliert werden sollen, kann die Prüfkörperstruktur an einigen Schnittstellen tatsächlich mit der Realstruktur verbunden bleiben und an ausgewählten weiteren, zu simulierenden Teilbereichen der Realstruktur sind entsprechende Aktoreinheiten vorzusehen.

[0014] Wenigstens die eine mit einer Schnittstelle zur Prüfkörperstruktur verbundene Aktoreinheit wird im Weiteren auf der Grundlage des die Wirkung physikalischer Belastungsgrößen der Realstruktur repräsentierenden Datensatzes zur Simulation der auf den Prüfkörper einwirkenden physikalischer Belastungsgrößen der Realstruktur angesteuert.

[0015] Um zu gewährleisten, dass die Einleitung der physikalischen Belastungsgrößen in einer kontrolliert und exakt vorgegebenen Weise über die wenigstens eine Aktoreinheit in den Bereich der Schnittstelle erfolgt, ist ein geregelter bzw. gesteuerter Betrieb der wenigstens einen Aktoreinheit vorteilhaft. Hierzu werden die durch die wenigstens eine Aktoreinheit im Bereich der Schnittstelle auf die Prüfkörperstruktur eingeleiteten physikalischen Belastungsgrößen sensoruell erfasst, wodurch Kenntnis über das aktuelle Systemverhalten an der wenigstens einen Schnittstelle gewonnen wird. Für eine nahezu realistische Nachbildung bzw. Simulation der Realstruktur an der Schnittstelle zur Prüfkörperstruktur erfolgt somit die Ansteuerung der wenigstens einen Aktoreinheit auf der Grundlage eines Abgleichens zwischen der sensoruell erfassten tatsächlichen Wirkung der Aktoreinheit im Bereich der Schnittstelle mit dem die physikalischen Belastungsgrößen der Realstruktur repräsentierenden Datensatz. Je nach Anzahl der zwischen der Prüfkörperstruktur und der zu simulierenden Realstruktur vorzusehenden Schnittstellen sind für eine reale Nachbildung der statischen und dynamischen Eigenschaften der Realstruktur an jeder einzelnen Schnittstelle entsprechend ausgelegte Aktoreinheiten vorzusehen, die die physikalischen Belastungsgrößen, vornehmlich die mechanischen Größen, wie Kräfte, Momente, Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, in allen erforderlichen Freiheitsgraden generieren; zumeist reichen für eine reale Nachbildung der mechanischen Eigenschaften der Realstruktur Aktorwirkungen in sechs unterschiedlichen Freiheitsgraden aus.

[0016] Je nach einem zu erzeugenden Kräfte- bzw. Momentenmuster eignen sich als Aktoreinheiten z.B. hydraulische, pneumatische oder elektromotorische Aktoreinheiten, die in Alleinstellung oder in Kombination eingesetzt werden können. Weiterhin eignen sich insbesondere multifunktionale Wandlerwerkstoffe, wie beispielsweise piezoelektrische Materialien.

[0017] Mit Hilfe der lösungsgemäßen Vorrichtung bzw. des lösungsgemäßen Verfahrens eröffnet sich überdies die Möglichkeit, durch bloßen Austausch bzw. bloße Variation des die Wirkung der physikalischen Belastungsgrößen seitens eines Realsystem beschreibenden und repräsentierenden Datensatzes vollkommen unterschiedliche Realstrukturen zu simulieren ohne diese real nachbilden zu müssen. Durch Austausch dieser Systembeschreibung kann durch spezielle Ansteuerung der wenigstens einen Aktoreinheit das statische und dynamische Systemverhalten beliebiger Realstrukturen simuliert werden.

[0018] Hierdurch kann sowohl der experimentelle aber insbesondere auch der finanzielle Aufwand, der mit der Bereitstellung einer Realstruktur verbunden ist, vollständig vermieden werden. Gilt es beispielsweise Zubehörteile für komplex gestaltete Systeme

zu entwickeln, wie beispielsweise Radaufhängungen an KFZ-Antriebsachsen, so können als Prototypen vorliegende Radaufhängungsstrukturen unter realitätsnahen Randbedingungen untersucht werden, um zielorientierte Produktverbesserungen vornehmen zu können. Der hierfür erforderliche Prüfaufbau sowie Prüfaufwand kann gegenüber herkömmlichen Prüfeinrichtungen deutlich vereinfacht werden, zumal keine Originalkomponenten als Realitätsstrukturen erforderlich sind. Auch an der Realstruktur vorzunehmende Änderungen können durch einfache numerische Manipulationen am vorliegenden, die Realstruktur repräsentierenden Datensatz vorgenommen werden.

[0019] Die vorstehend beschriebene Vorrichtung sowie das damit verbundene Verfahren zur Simulation physikalischer Belastungsgrößen seitens einer Realstruktur auf eine über wenigstens eine Schnittstelle mit der Realstruktur verbindbaren Prüfkörperstruktur dient der Vermeidung des Einsatzes einer real vorliegenden Realstruktur. Hierdurch lässt sich eine mit einer Realstruktur zu verbindende Prüfkörperstruktur in ihren statischen und dynamischen Eigenschaften zum Zwecke einer schnellen und ökonomischen Produktentwicklung untersuchen. Diesen lösungsgemäßen Gedanken in konsequenter Weise weitergebildet führt zu einer Vorrichtung und einem Verfahren bei der bzw. bei dem sowohl die vorstehend beschriebene Realstruktur, als auch der Prüfkörperstruktur mit der gleichen Zielsetzung wie vorstehend beschrieben jeweils durch wenigstens eine Aktoreinheit substituiert werden, d.h. die über wenigstens eine Schnittstelle in Wirkverbindung stehenden Aktoreinheiten vermögen die statischen und dynamischen Eigenschaften sowohl der realen Prüfkörperstruktur als auch der Realstruktur im Bereich der Schnittstelle realitätsnah nachzubilden. In diesem Fall ist es möglich, die Schnittstelle selbst zu untersuchen, ohne dabei den prüftechnischen Aufwand einer realen Ausbildung und Bereitstellung von Prüfkörperstruktur und Realstruktur betreiben zu müssen.

[0020] In gleicher Weise, in der wie vorstehend beschrieben, die wenigstens eine, die Realstruktur repräsentierende Aktoreinheit im Rahmen eines Regelkreises unter Zugrundelegung einer die stationären und dynamischen Eigenschaften der Realstruktur repräsentierenden Datensatzes angesteuert wird, gilt es auch, die wenigstens eine, die Prüfkörperstruktur substituierende Aktoreinheit in gleicher Weise anzu-steuern. Sowohl für die Ermittlung des die statischen und dynamischen Eigenschaften der Prüfkörperstruktur repräsentierenden Datensatzes als auch für die regeltechnisch und sensoruell überwachte Ansteuerung der wenigstens einen, die Prüfkörperstruktur ersetzende Aktoreinheit gelten die gleichen Maßnahmen und Vorkehrungen, die vorstehend zur Simulation der Realstruktur unter Verwendung wenigstens einer die statisch und dynamischen Eigenschaften

ten der Realstruktur nachahmenden Aktoreinheit erläutert worden sind.

[0021] Das vorstehend ausgeführte lösungsgemäße Verfahren sowie die damit verbundene Vorrichtung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf konkrete Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Ausführungsbeispiel

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0022] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Diese Ausführungsbeispiele beziehen sich auf mechanische Wirkungen physikalischer Belastungsgrößen. Daneben sind weitere Wirkungen physikalischer Belastungsgrößen wie z.B. thermische, magnetische, elektrische, chemische, akustische abbildbar, auf die jedoch nicht weiter eingegangen wird. Es zeigen:

[0023] [Fig. 1a-Fig. 1d](#) a) schematisierte Prüfscenario zur experimentellen Simulation einer Realstruktur, b) schematisierte Darstellung einer Prüfkörperstruktur mit einer über zwei Schnittstellen verbundenen Realstruktur, c, d) weitere schematisierte Prüfscenarien

[0024] [Fig. 2a](#) Darstellung eines herkömmlichen Prüfaufbaus zur Untersuchung einer Anhängenvorrichtung an einem Kraftfahrzeug,

[0025] [Fig. 2b](#) lösungsgemäß ausgebildete Prüfvorrichtung zur Untersuchung einer Anhängenvorrichtung,

[0026] [Fig. 3a](#), [Fig. 3b](#) a) Darstellung eines herkömmlichen Versuchsaufbaus zur Untersuchung der Lagerung eines Schiffsmotors, b) Darstellung eines lösungsgemäßen Versuchsaufbaus zur Untersuchung der auf die Schnittstelle einwirkenden Kräfte gemäß des Versuchsaufbaus in [Fig. 3a](#).

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0027] In [Fig. 1a](#) ist ein allgemein gültiges schematisiertes Ausführungsbeispiel zur Erläuterung einer Prüfkörperstruktur **1** dargestellt, die über eine Vielzahl von Schnittstellen **2** in statischer und/oder dynamischer Wechselwirkung mit unterschiedlichen Realstrukturen S_1, S_2, \dots, S_n oder unterschiedlichen Bereichen einer Realstruktur **3** steht. Die der lösungsgemäßen Vorrichtung zugrunde liegende Idee besteht in der Substitution der Realstrukturen S_1, S_2, \dots, S_n oder Bereiche der Realstruktur **3** durch die statischen und dynamischen Eigenschaften der Realstruktur längs

der einzelnen Schnittstellen **2** simulierende Aktoreinheiten. In [Fig. 1b](#) ist hierzu stark schematisiert eine Prüfkörperstruktur **1** dargestellt, die über zwei Schnittstellen **2** mit jeweils einer multiaxialen Aktoreinheit **4** verbunden ist, von der jede einzelne Aktoreinheit **4** mechanische Belastungen wie Kräfte, Momente, Geschwindigkeiten usw. auf die Prüfkörperstruktur **1** derart überträgt, so dass die Prüfkörperstruktur **1** in gleicher Weise mechanischen Belastungen unterworfen ist, als wäre die Prüfkörperstruktur **1** tatsächlich mit einer Realstruktur verbunden.

[0028] Um eine möglichst realitätsgetreue Nachbildung der statischen sowie auch dynamischen Belastungen und Randbedingungen auf die Prüfkörperstruktur **1** durch die Aktoreinheiten realisieren zu können, werden die durch die jeweiligen Aktoreinheiten **4** auf die Prüfkörperstruktur **1** einwirkenden Kräfte/Momente Geschwindigkeiten u.ä. mit Hilfe geeigneter Sensoren **5** erfasst, deren Sensorsignale jeweils über eine Regeleinheit R_1, R_2 rückgeführt werden, in denen die Sensorsignale durch Abgleich mit entsprechenden Referenzdaten, die dem realen Belastungsmuster durch die Realstruktur entsprechen, verglichen werden, um entsprechende Regelsignale zur Ansteuerung der jeweiligen Aktoreinheit **4** zu generieren. Dies ermöglicht einen geregelten sowie gesteuerten Betrieb der Aktoreinheiten **4**, die über entsprechende Gegenlager **6** abgestützt sind und somit zugleich auch die Last der Prüfkörperstruktur **1** vollständig aufzunehmen vermögen.

[0029] Das in [Fig. 1c](#) dargestellte Prüfscenario soll verdeutlichen, dass nicht notwendiger Weise an alle Schnittstellen **2** zwischen der Prüfkörperstruktur **1** und den Realstrukturen S_1, S_2, \dots, S_n oder den Bereichen einer Realstruktur **3** anstelle der Realstruktur jeweils eine Aktoreinheit vorzusehen sind, vielmehr sind Prüfungen an Prüfkörperstrukturen denkbar, die während der Belastungsprüfung mit wenigstens einer Realstruktur **3*** verbunden bleiben.

[0030] In [Fig. 1d](#) ist ein Fall dargestellt, bei dem zwei Prüfkörperstrukturen **1** und **1'** über wenigstens eine Schnittstelle **2'** verbunden sind. Selbstverständlich können noch weitere Prüfkörperstrukturen über entsprechende weitere Schnittstellen miteinander verbunden bzw. gekoppelt sein. Zur Belastungsprüfung der miteinander gekoppelten Prüfkörperstrukturen **1** und **1'** werden, wie vorstehend beschrieben, an allen oder nur an ausgewählten Schnittstellen **2** Aktoreinheiten zur Simulation der statischen oder dynamischen Eigenschaften der Realstruktur vorgesehen. Zusätzlich ist es möglich die zwischen beiden Prüfkörperstrukturen **1** und **1'** vorhandene Schnittstelle **2'** ebenfalls mit wenigstens einer Aktoreinheit zu versehen, mit der die statischen oder dynamischen Eigenschaften einer oder beider Prüfkörperstrukturen simuliert werden können. Werden alle beteiligten Real- (**3, 3'**) und Prüfkörperstrukturen (**1, 1'**) jeweils durch

eine Aktoreinheit ersetzt, so lassen sich die Schnittstellen selbst in Ihren Belastungseigenschaften untersuchen.

[0031] In der Bilddarstellung gemäß [Fig. 2a](#) ist eine herkömmliche Situation dargestellt, um die Betriebsfestigkeitsprüfung von PKW-Anhängevorrichtungen **7** in einem möglichst realitätsnahen Prüfmfeld durchzuführen. Hierzu wird ein reales Kraftfahrzeug **8** in einen hierfür angepassten Prüfstand **9**, **10** integriert, wobei die zu überprüfende Anhängervorrichtung **7** in bestimmungsgemäßer Weise mit dem Kraftfahrzeug **8** verbunden wird. Auf diese Weise können die Randbedingungen realitätsnah dargestellt werden, so dass auch in der gesamten Anhängervorrichtung jene mechanischen Beanspruchungen erzeugt werden, die sich auch während des realen Betriebes des Kraftfahrzeuges **8** einstellen. Um die Beanspruchungen in der zu untersuchenden Prüfkörperstruktur, d.h. innerhalb der PKW-Anhängevorrichtung **7**, zu erfassen, werden zusätzliche Belastungen beispielsweise über einen hydraulischen Prüfzylinder **10** auf die Anhängervorrichtung **7** eingebracht. Dies erfolgt durch entsprechende Einleitung von Kräften F_1 , F_2 , F_3 sowie Verschiebungen x_1 , x_2 und x_3 jeweils längs der in [Fig. 2a](#) dargestellten Raumrichtungen. Um die Beanspruchung innerhalb der Prüfkörperstruktur **7** zu erfassen, kann der Spannungszustand innerhalb der Anhängervorrichtung **7** mit Hilfe geeigneter angebrachter Dehnmessstreifen **11** erfasst.

[0032] Es liegt auf der Hand, dass das in [Fig. 2a](#) dargestellte Prüfszenario die Notwendigkeit zumindest einer KFZ-Rohkarosserie erfordert, an die die zu prüfende Anhängervorrichtung **7** anzubringen ist. Dies erhöht zum einen den Prüfaufwand, zum anderen sind in frühen Phasen der Gesamtfahrzeugentwicklung häufig keine Karosserieprototypen verfügbar. Im Weiteren stellt sich für den Hersteller universell einsetzbarer Anhängervorrichtungen das Problem, dass für jeden unterschiedlichen Fahrzeugtyp eine Extrakarosserie oder entsprechende Teile der Karosserie zur Verfügung gestellt werden müssen.

[0033] In [Fig. 2b](#) ist eine lösungsgemäße Prüfsituation gezeigt, bei der die Anhängervorrichtung **7** anstelle der KFZ-Karosserie jeweils an ihren bestimmungsgemäßen Schnittstellen **2** mit jeweils einer Aktoreinheit **12**, **13** verbunden ist, über die realitätsnah die gleichen Kräfte, Momente, Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen auf die Anhängerkupplung **7** eingeleitet werden, gleichsam jenem Fall, in dem die Anhängervorrichtung **7** an der realen Fahrzeugkarosserie montiert wäre. Die Kräfteinleitung durch die Aktoreinheiten **12**, **13** zur realitätsnahen Simulation der Realstruktur in Form einer KFZ-Karosserie erfolgt an jeder Schnittstelle **2**, vorzugsweise um sechs räumliche Freiheitsgrade, wobei jede einzelne Aktoreinheit **12**, **13** aus hybrid zusammengesetzten, einzelnen Aktoren bestehen kann. Beispielsweise zur Einlei-

tung niederfrequenter Schwingungen in den Bereich der Schnittstelle dienen hydraulische oder pneumatische Prüfzylinder, zur Einkopplung hochdynamischer bzw. hochfrequenter Schwingungen sind hingegen elektrodynamischer Shaker oder Aktoren, die auf Basis multifunktionaler Werkstoffe arbeiten, geeignet. Diese Aktorsysteme können in geeigneter Weise kombiniert werden, um das gesamte Schwingungsbelastungsspektrum abdecken zu können.

[0034] Jede einzelne Aktoreinheit **12**, **13** wird in einer Weise aktiviert, die den statischen dynamischen Eigenschaften der Realstruktur entsprechen. Hierzu ist es erforderlich, das statische und dynamische Verhalten der Realstruktur in jedem relevanten Betriebszustand, der durch unterschiedliche Frequenzbereiche charakterisierbar ist, zu kennen um die entsprechenden Aktoreinheiten in geeigneter Weise anzu steuern bzw. zu regeln. So gilt es bei der Simulation einer Kraftfahrzeugkarosserie bspw. ihre innewohnende Federsteifigkeit sowie auch ihr Dämpfungsverhalten statisch wie auch dynamisch mit Hilfe der Aktoreinheiten **12**, **13** zu simulieren. In Analogie zur Elektrotechnik, bei der das Verhalten elektrischer Schaltungen, die zumeist als Blackbox aufgefasst werden und durch das Verhältnis aus Spannung und Strom beschreibbar sind, wofür der Begriff Impedanz verwendet wird, wird der Begriff der Impedanz auch auf mechanische Systeme angewendet. Im Falle mechanischer Systeme, wie im Falle der KFZ-Karosserie gemäß dem Ausführungsbeispiel in der [Fig. 2a](#), wird die Impedanz Z als Verhältnis zwischen Kraft und Geschwindigkeit definiert, mit der die Realstruktur auf die jeweiligen Schnittstellen einwirkt. Für jede Schnittstelle kann somit eine Impedanzformulierung gefunden werden, die das Verhältnis zwischen Kraft und Geschwindigkeit beschreibt. Um das richtige statische und dynamische Verhalten der Realstruktur am Ort einer Schnittstelle zu jedem Zeitpunkt abzubilden, muss die Impedanz Z für jede Schnittstelle bekannt sein. Um die Impedanz Z für jede einzelne Schnittstelle **2** zu erhalten kann auf Messungen zurückgegriffen werden, in denen die Kraft F sowie die Auslenkungsgeschwindigkeiten v an jeder Schnittstelle an einer im Betrieb befindlichen Realstruktur vermessen werden. Ebenfalls ist es möglich, durch numerische Simulation die von einer Realstruktur über eine Schnittstelle übertragene Kraft sowie die dynamische Auslenkungsgeschwindigkeit, mit der die Schnittstelle durch den Betrieb der Realstruktur in Bewegung versetzt wird, zu erhalten. In der Regel ergibt sich so ein Impedanzverlauf Z der abhängig von der Frequenz ist, so dass sich typischerweise ein komplexer Zusammenhang zwischen dem Bewegungs- bzw. Schwingungsmuster der Realstruktur in Abhängigkeit ihres Betriebszustandes sowie den über die jeweilige Schnittstelle übertragenen Kräften und Auslenkungsgeschwindigkeiten ergibt.

[0035] Für die Ansteuerung bzw. Regelung der die

Realstruktur substituierenden Aktoreinheiten **12, 13** gilt es, die Aktoreinheiten zu jedem Zeitpunkt und somit auch in allen Frequenzbereichen unter Zugrundelegung der ermittelten frequenzabhängigen Impedanz Z anzusteuern. Um das auf die Anhängervorrichtung **7** übertragene simulierte statische und dynamische Verhalten der Realstruktur so realitätsnah wie nur möglich übertragen zu können, werden im Bereich der Schnittstellen **2** entsprechende Sensoraufnehmer, beispielsweise in Form von Kraft und Geschwindigkeitsaufnehmern vorgesehen, die den aktuellen Belastungszustand der Anhängervorrichtung im Bereich der Schnittstelle erfassen. Die auf diese Weise erhaltenen Sensorsignale werden über Regeleinrichtungen R_1 und R_2 den Aktoreinheiten **12, 13** zugeführt, um im Rahmen eines Regelkreises das statische und dynamische Systemverhalten der simulierten Realstruktur realitätsnah nachzubilden. Die Impedanzbeschreibung stellt nur eine beispielhafte Möglichkeit dar das Verhalten zu beschreiben.

[0036] Die auf die Anhängervorrichtung **7** einwirkende Belastung, die zur Untersuchung der Beanspruchbarkeit der Anhängervorrichtung **7** erforderlich ist, wird gleichfalls zwecks einer möglichst realitätsnahen Nachbildung tatsächlich auf die Anhängervorrichtung einleitenden Kräfte, Momente, Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen mit Hilfe einer Aktoreinheit, die zumeist als hydraulische Aktoreinheit **10** ausgebildet ist, bewerkstelligt. Hierzu wirkt die hydraulische Aktoreinheit **10** unmittelbar auf den Anhängerkopf der Anhängervorrichtung **7** ein.

[0037] Mit Hilfe der lösungsgemäßen Vorrichtung kann auf die Verwendung von Karosserien oder Teilen von Karosserien vollständig verzichtet werden, wodurch der gesamte Versuchsaufbau sehr flexibel und kompakt realisiert werden kann. Insbesondere können unterschiedliche Karosserietypen in ein und dem gleichen Prüfstand untersucht werden, ohne dass konstruktive Umbauten erforderlich sind, zumal die Karosserien lediglich virtuell in entsprechend ermittelten Datensätzen, wie eingangs beschrieben, vorliegen. Zwar bedarf es zur erfolgreichen Durchführung der Prüfstrukturuntersuchung zunächst eines erhöhten Aufwandes hinsichtlich der Ermittlung von Daten, die die statischen und dynamischen Eigenschaften einer Realstruktur beschreiben, doch können nach Vorlage derartiger Informationen umfangreiche Untersuchungen an nahezu beliebig ausgeführten Prüfkörperstrukturen durchgeführt werden.

[0038] Ein weiteres Ausführungsbeispiel zur Beschreibung der lösungsgemäßen Vorgehensweise zur Belastungsprüfung von Prüfkörperstrukturen ist in [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) dargestellt. Gemäß [Fig. 3a](#) ist ein herkömmlicher Versuchsaufbau gezeigt, mit dem die Motorlagerung z.B. von Schiffsaggregaten untersucht werden kann. Derartige Motorlagerungen haben im wesentlichen zwei Aufgaben: Zum einen müs-

sen sie die mechanischen Lasten der im Betrieb befindlichen Schiffsaggregate **14** ertragen, zum anderen sollen sie die Übertragung mechanischer Schwingungen möglichst reduzieren, um Schwingungs- und Lärmquellen zu vermeiden die anderenfalls zu Lärmbelästigung, Komfortreduzierungen oder Schallabstrahlung führen. Üblicherweise stehen Schiffsaggregate **14** auf geeignet ausgebildete Lager **15**, die ihrerseits auf einem stabilen Untergrund **16** lasten, der bspw. Teil der Schiffsstruktur ist. Um die Lager **15** an die gegebenen Betriebsbedingungen möglichst optimal anzupassen, bedurfte es bisher der Inbetriebnahme geeignet ausgebildeter Schiffsaggregate und der Durchführung entsprechender Untersuchungen gemäß dem Versuchsaufbau in [Fig. 3a](#). Mit Hilfe der lösungsgemäßen Vorgehensweise ist es jedoch möglich, die Ankoppelbedingungen des Schiffsaggregates **14** auf einem stabilen Untergrund **16** experimentell zu simulieren. Wie bereits vorstehend dargelegt können die hierfür erforderlichen Daten und Informationen entweder aus Messungen an realen Strukturen abgeleitet werden oder aus numerischen Modellen stammen. In [Fig. 3b](#) ist hierzu ein lösungsgemäßer Aufbau für einen experimentellen Versuchsaufbau gezeigt, bei dem einerseits eine Aktoreinheit **17** das statische und dynamische Verhalten hinsichtlich auftretender Kräfte, Momente, Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen des Schiffsaggregates **14** simuliert, andererseits eine weitere Aktoreinheit **18**, die die Einleitung von Kräften und Momenten simuliert, die das Lager **15** seitens der stabilen Unterlage **16** erfährt. Auch in diesem Fall erfolgt die Ansteuerung der Aktoreinheiten **17, 18** geregelt, indem das aktuelle Schwingungsverhalten an den Schnittstellen zwischen Aktoreinheiten und Lager **15** sensoriiell erfasst wird und die dabei gewonnenen Sensorsignale über Regeleinheiten R_1, R_2 zur geregelten Ansteuerung der Aktoreinheiten **17, 18** zurückgeführt werden.

[0039] Mit Hilfe einer derartigen Versuchsdurchführung ist es möglich, Lagerungen **15** hinsichtlich ihrer Belastbarkeit bei unterschiedlichen Belastungssituationen zu überprüfen, ohne die Notwendigkeit real existierende Schiffsaggregate für Versuchszwecke bereitstellen zu müssen. Wesentlicher Vorteil dieser Prüfumgebung ist die frühzeitige experimentelle Untersuchung des Schwingungsübertragungsverhaltens der Motorlager **15** insbesondere in Hinblick auf die damit verbundenen Komfort mindernden Auswirkungen.

Bezugszeichenliste

1	Prüfkörperstruktur
2	Schnittstelle
3	Realstruktur
4	Aktoreinheit
5	Sensor
6	festes Gegenlager

7	Anhängevorrichtung
8	Kraftfahrzeug
9	Prüfstand
10	hydraulischer Prüfzylinder
11	Sensoreinheit, Dehnungsmessstreifen
12,13	Aktoreinheiten
14	Schiffsaggregat
15	Lager
16	Unterlage
17,18	Aktoreinheit

Patentansprüche

1. Verfahren zur experimentellen Simulation statischer oder dynamischer Wirkungen von physikalischen Belastungsgrößen von wenigstens einer Realstruktur auf eine über wenigstens eine Schnittstelle mit der Realstruktur verbindbaren Prüfkörperstruktur, gekennzeichnet durch die Kombination der folgenden Verfahrensschritte:

- Ermitteln der statischen oder dynamischen Wirkung der physikalischen Belastungsgrößen an der wenigstens einen Schnittstelle zwischen der wenigstens einen Realstruktur und der Prüfkörperstruktur und Erstellen eines die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes,
- Vorsehen wenigstens einer Aktoreinheit anstelle der wenigstens einen Realstruktur am Ort der wenigstens einen Schnittstelle und Verbinden der Prüfkörperstruktur mit der wenigstens einen Aktoreinheit und
- Ansteuern der wenigstens einen Aktoreinheit auf der Grundlage des die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes zur Simulation der auf den Prüfkörper einwirkenden physikalischen Belastungsgrößen seitens der wenigstens einen Realstruktur.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die wenigstens eine Aktoreinheit im Bereich der Schnittstelle auf die Prüfkörperstruktur gerichteten physikalischen Belastungsgrößen sensoruell erfasst werden, und dass das Ansteuern der wenigstens einen Aktoreinheit im Wege einer Regelung auf der Grundlage eines Abgleichens zwischen der sensoruell erfassten Wirkung der Aktoreinheit im Bereich der Schnittstelle und des die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes erfolgt.

3. Verfahren zur experimentellen Simulation statischer oder dynamischer Wirkungen von physikalischen Belastungsgrößen von wenigstens einer Realstruktur sowie von einer Prüfkörperstruktur auf wenigstens eine Schnittstelle, über die die Realstruktur mit der Prüfkörperstruktur verbindbar ist, gekennzeichnet durch die Kombination der folgenden Verfahrensschritte:

- Ermitteln der statischen oder dynamischen physikalischen Belastungsgrößen an der wenigstens ei-

nen Schnittstelle jeweils bedingt durch die wenigstens eine Realstruktur sowie durch die Prüfkörperstruktur und Erstellen jeweils eines die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes,

- Vorsehen wenigstens einer ersten Aktoreinheit anstelle der wenigstens einen Realstruktur am Ort der wenigstens einen Schnittstelle und Vorsehen wenigstens einer zweiten Aktoreinheit anstelle der Prüfkörperstruktur derart, dass die wenigstens erste und zweite Aktoreinheit über die Schnittstelle in Wirkverbindung treten und

– Ansteuern der wenigstens ersten und zweiten Aktoreinheit jeweils auf der Grundlage des die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensatzes zur experimentellen Simulation der auf die Schnittstelle einwirkenden physikalischen Belastungsgrößen seitens der Real- und Prüfkörperstruktur.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Ermitteln der physikalischen Belastungsgrößen im Wege einer messtechnischen Erfassung an der wenigstens einen Schnittstelle zwischen der Prüfkörperstruktur und der wenigstens einen Realstruktur erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Ermitteln der physikalischen Belastungsgrößen im Wege einer numerischen Berechnung erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die wenigstens erste und zweite Aktoreinheit im Bereich der Schnittstelle erzeugten Wirkungen sensoruell erfasst werden, und dass das Ansteuern der wenigstens ersten und zweiten Aktoreinheit im Wege einer Regelung auf der Grundlage eines Abgleichens zwischen der sensoruell erfassten Wirkungen der physikalischen Belastungsgrößen im Bereich der Schnittstelle und der die physikalischen Belastungsgrößen repräsentierenden Datensätze erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalischen Belastungsgrößen mechanische Belastungsgrößen von der nachfolgenden Art sind: Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Drehmoment.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalischen Belastungsgrößen thermische oder elektromagnetische Belastungsgrößen von der nachfolgenden Art sind: Temperatur, zeitlicher oder räumlicher Temperaturgradient, elektrische, magnetische oder elektromagnetische Feldenergie

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Aktorein-

heit als physikalische Belastungsgröße eine auf die Prüfkörperstruktur gerichtete Kraft- und/oder Momentenwirkung ausübt, die bis zu sechs Freiheitsgrade umfasst.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens erste und zweite Aktoreinheit jeweils eine auf die Schnittstelle gerichtete Kraft- und/oder Momentenwirkung ausübt, die bis zu sechs Freiheitsgrade umfasst.

11. Vorrichtung zur experimentellen Simulation statischer oder dynamischer Wirkungen von physikalischen Belastungsgrößen von wenigstens einer Realstruktur auf eine über wenigstens eine Schnittstelle mit der Realstruktur verbindbaren Prüfkörperstruktur, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Aktoreinheit vorgesehen ist, die mit der Schnittstelle zur Einleitung der physikalischen Belastungsgrößen in Wirkverbindung steht, an der die Prüfkörperstruktur verbindbar ist, und dass eine Ansteuereinheit vorgesehen ist, die die wenigstens eine Aktoreinheit unter Vorgabe eines die statischen oder dynamischen Wirkungen der physikalischen Belastungsgrößen seitens der Realstruktur repräsentierenden Datensatzes aktiviert.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Sensoreinheit im Bereich der Schnittstelle oder der Prüfkörperstruktur vorgesehen ist, die die Wirkung der physikalischen Belastungsgrößen der Aktoreinheit auf die Schnittstelle und/oder auf die Prüfkörperstruktur erfasst und Sensorsignale generiert, die der Ansteuereinheit zuführbar sind.

13. Vorrichtung zur experimentellen Simulation statischer oder dynamischer Wirkungen von physikalischen Belastungsgrößen von wenigstens einer Realstruktur sowie von einer Prüfkörperstruktur auf wenigstens eine Schnittstelle, über die die wenigstens eine Realstruktur mit der Prüfkörperstruktur verbindbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine erste und zweite Aktoreinheit derart vorgesehen sind, dass die wenigstens erste und zweite Aktoreinheit über die Schnittstelle in Wirkverbindung treten und dass eine Ansteuereinheit vorgesehen ist, die die wenigstens erste und zweite Aktoreinheit unter Vorgabe jeweils eines die statischen oder dynamischen Wirkungen der physikalischen Belastungsgrößen seitens der Realstruktur sowie seitens der Prüfkörperstruktur repräsentierenden Datensätze aktiviert.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Sensoreinheit im Bereich der Schnittstelle vorgesehen ist, die die Wirkungen der physikalischen Belastungsgrößen der wenigstens ersten und zweiten Aktoreinheit auf die Schnittstelle erfasst und Sensorsignale generiert, die

der Ansteuereinheit zuführbar sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuereinheit, die wenigstens eine Aktoreinheit und die wenigstens eine Sensoreinheit einen Regelkreis bilden.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Prüfkörperstruktur sowie die wenigstens eine Realstruktur jeweils mechanische, pneumatische oder hydraulische Strukturen oder aus den vorstehenden Strukturen kombiniert zusammengesetzte Hybridstrukturen darstellen.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Real- und Prüfkörperstruktur folgende Struktur-Paare darstellen, im folgenden Sinne, Realstruktur/Prüfkörperstruktur: Kraftfahrzeug/Kraftfahrzeuganhängerkuppelung, Motorblock/Motorblocklagerung.....

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoreinheit ein hydraulischer, elektromotorischer, pneumatischer oder auf Basis eines multifunktionellen Werkstoffes, bspw. Piezokeramik, beruhender Aktor ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoreinheit ein Schwingungssystem ist, vorzugsweise ein elektrodynamischer oder servohydraulischer Shaker ist

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoreinheit eine thermische und/oder eine elektromagnetische Energiequelle vorsieht.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

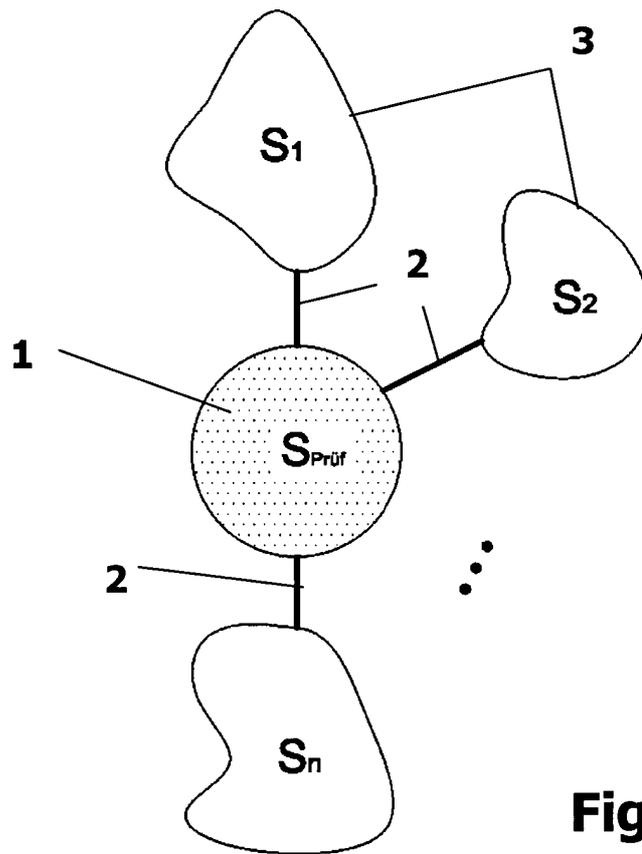


Fig. 1a

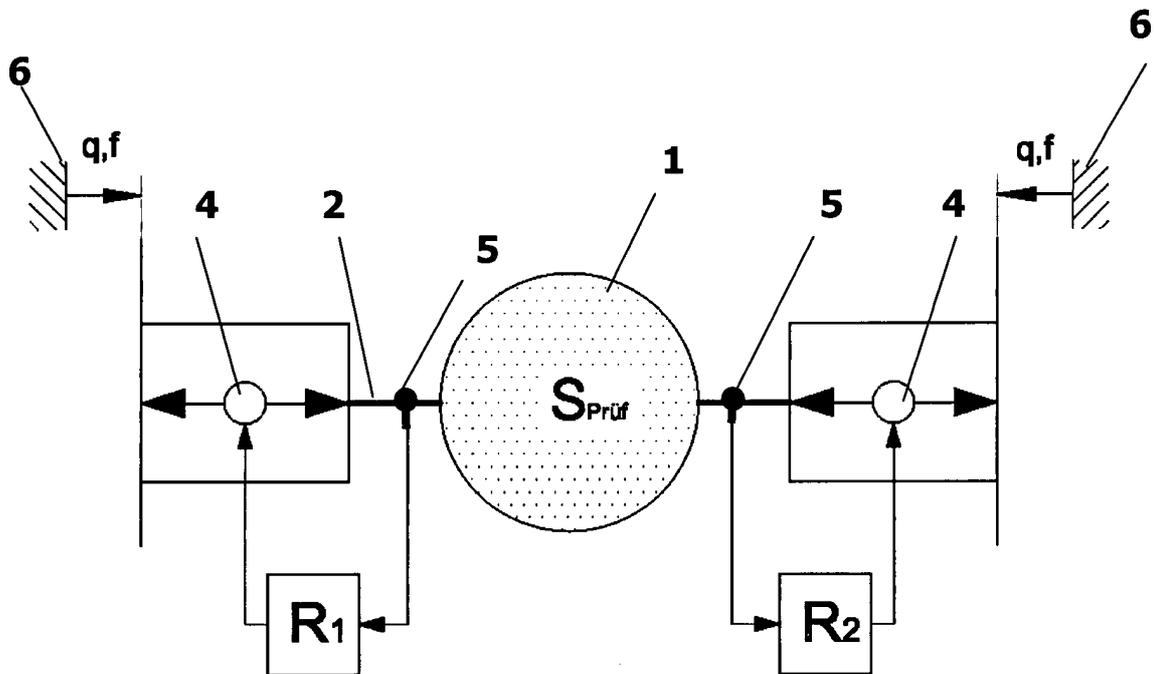


Fig. 1b

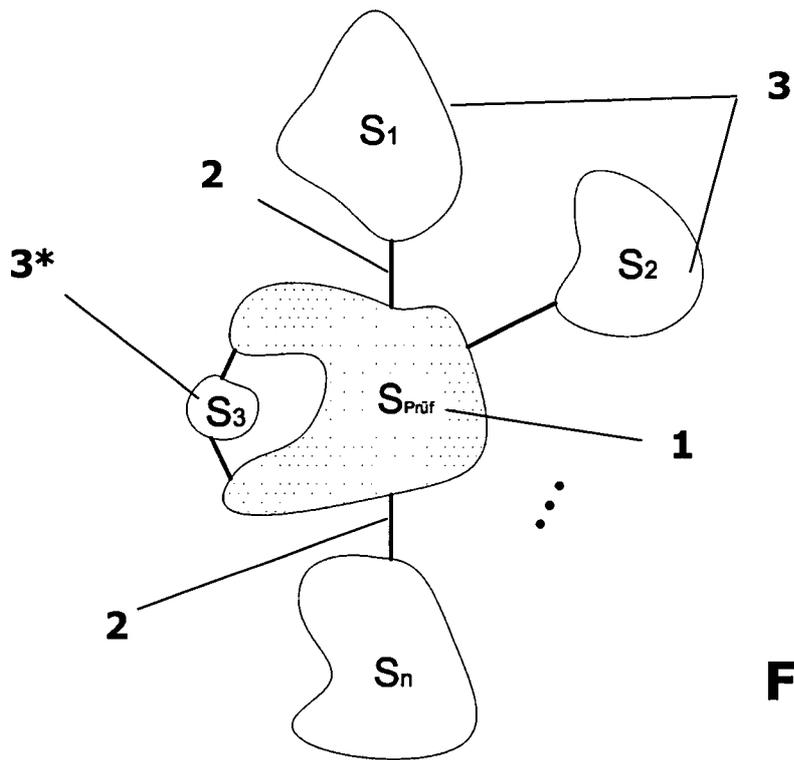


Fig. 1c

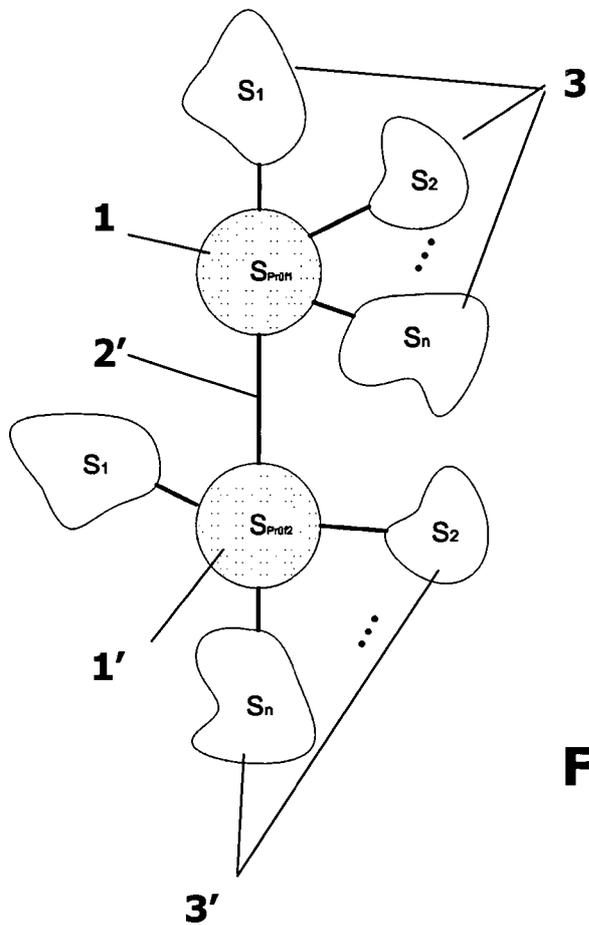


Fig. 1d

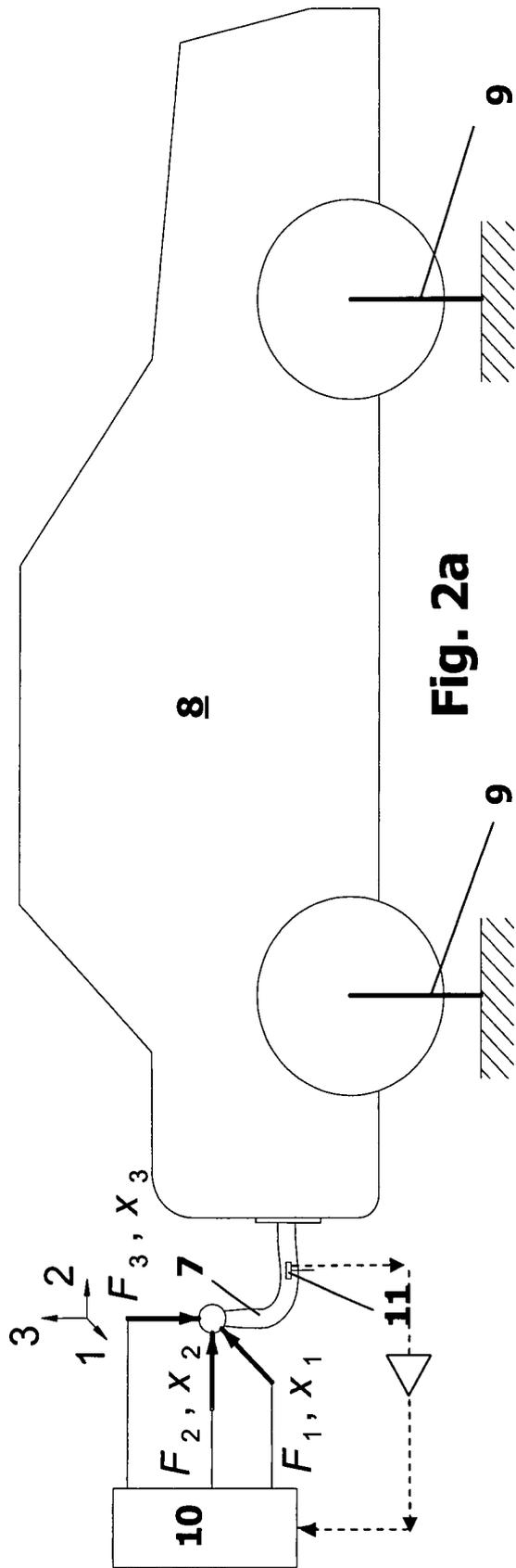


Fig. 2a

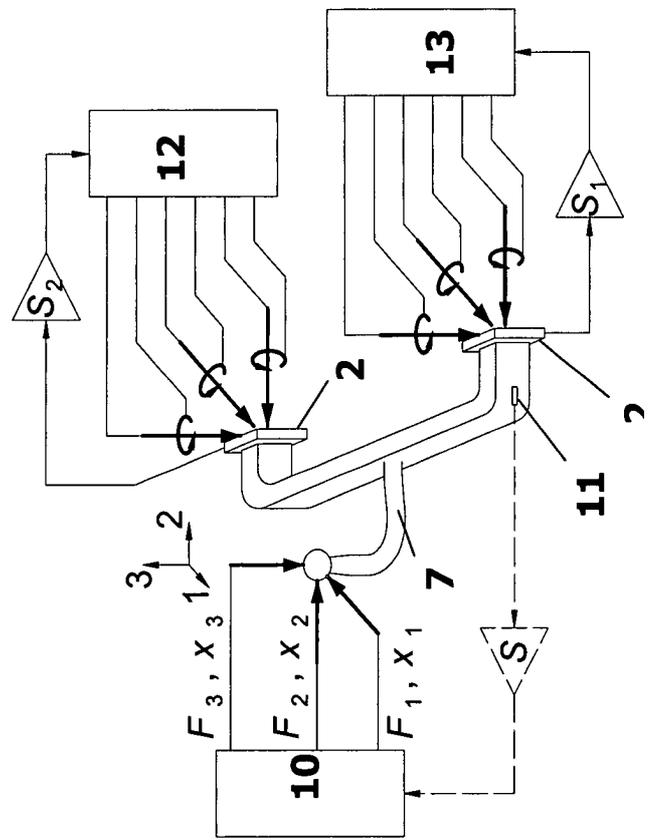


Fig. 2b

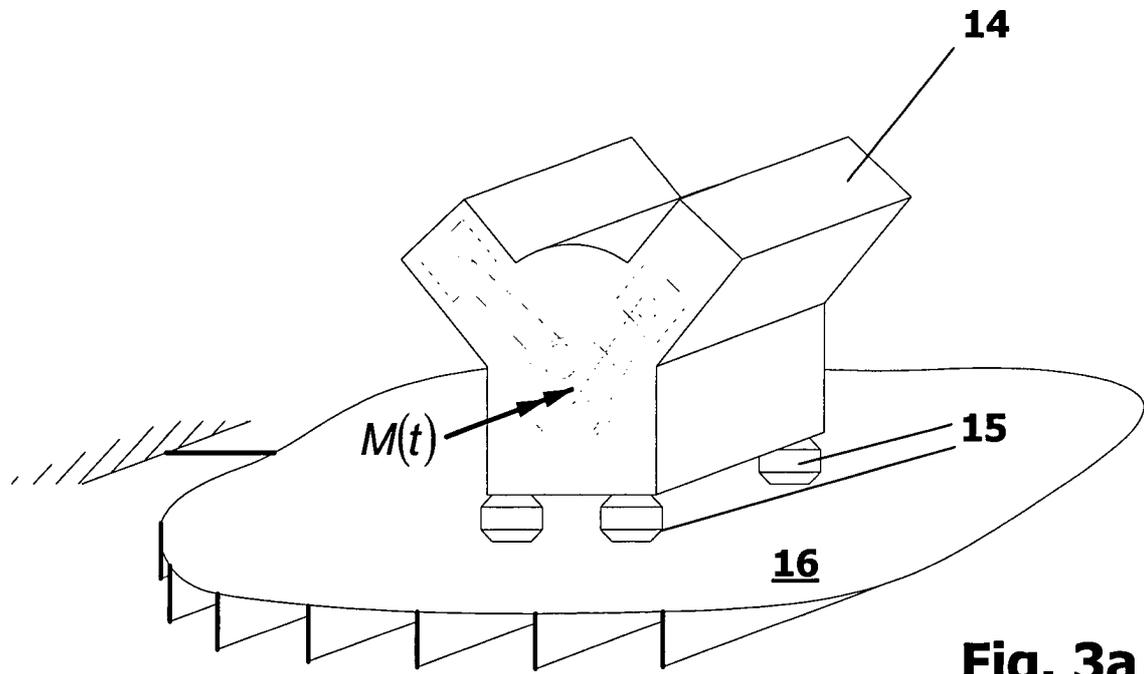


Fig. 3a

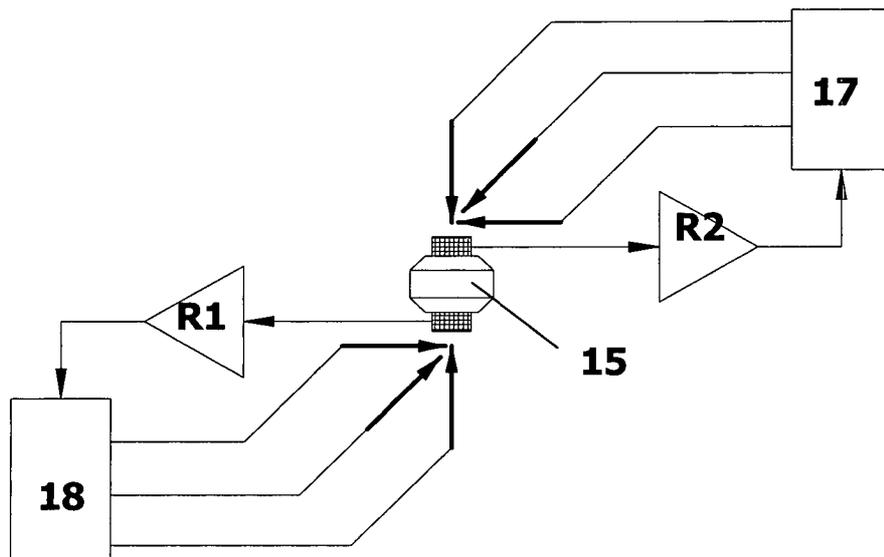


Fig. 3b