

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50688/2020 (51) Int. Cl.: **G01M 13/025** (2019.01)
(22) Anmeldetag: 14.08.2020 **G01M 17/06** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.02.2022 **B60C 99/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 3801647 A1
EP 1037030 A2
DE 102006035502 B3
EP 2161560 A2
AT 508031 B1
WO 2016102555 A1
WO 2018104270 A1
EP 1596179 A2
EP 2602602 A1
EP 2796849 A2
EP 0338373 A2
WO 2011022746 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Scheucher Rupert Dr.
8051 Graz (AT)
Peinsitt Michael Dipl.-Ing. (FH)
8142 Wundschuh (AT)
Haas Andreas Dipl.-Ing. (FH)
8054 Hitzendorf (AT)
Rabel Franz Dipl.-Ing.
8302 Nestelbach bei Graz (AT)
Schöggl Peter Dipl.-Ing. Dr.
8151 Hitzendorf (AT)
Thaler Ull Dipl.-Ing. (FH)
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Prüfstand zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb**

(57) Die Erfindung betrifft einen Prüfstand (1) und ein Verfahren zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb, wobei der Prüfling wenigstens eine reale Komponente (3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f) eines Fahrzeugs (19), welche ein Drehmoment auf eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, aufweist. Der Prüfstand (1) weist eine Belastungsmaschine (5a, 5b, 5c, 5d), welche eingerichtet ist, mit der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) drehmomentübertragend verbunden zu werden, einen Aktor (6a, 6b, 6c, 6d), welcher eingerichtet ist, um eine Relativbewegung zwischen der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) einerseits und einem Fahrzeugrahmen (7), welcher die Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) stützt, andererseits zu erzeugen, Simulationsmittel (8) zum Simulieren des Fahrbetriebs, wobei die Simulationsmittel (8) eingerichtet sind, um ein virtuelles Rad (9a, 9b, 9c, 9d) und eine Dynamik des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) in der Weise zu simulieren, als ob es an der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) angeordnet wäre, und Steuerungsmittel (10), welche eingerichtet sind, um den realen Prüfling unter Berücksichtigung der simulierten Dynamik des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) auf dem Prüfstand (1) zu betreiben, auf.

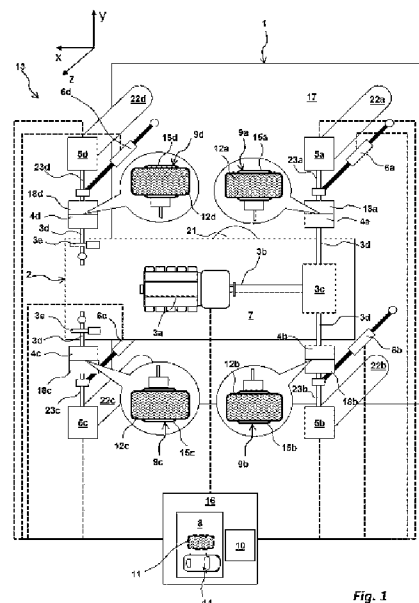


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Prüfstand (1) und ein Verfahren zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb, wobei der Prüfling wenigstens eine reale Komponente (3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f) eines Fahrzeugs (19), welche ein Drehmoment auf eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, aufweist. Der Prüfstand (1) weist eine Belastungsmaschine (5a, 5b, 5c, 5d), welche eingerichtet ist, mit der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) drehmomentübertragend verbunden zu werden, einen Aktor (6a, 6b, 6c, 6d), welcher eingerichtet ist, um eine Relativbewegung zwischen der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) einerseits und einem Fahrzeugrahmen (7), welcher die Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) stützt, andererseits zu erzeugen, Simulationmittel (8) zum Simulieren des Fahrbetriebs, wobei die Simulationmittel (8) eingerichtet sind, um ein virtuelles Rad (9a, 9b, 9c, 9d) und eine Dynamik des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) in der Weise zu simulieren, als ob es an der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) angeordnet wäre, und Steuerungsmittel (10), welche eingerichtet sind, um den realen Prüfling unter Berücksichtigung der simulierten Dynamik des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) auf dem Prüfstand (1) zu betreiben, auf.

Fig. 1

Prüfstand zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb

Die Erfindung betrifft einen Prüfstand zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb, wobei der Prüfling eine reale Komponente eines Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf eine Radnabe aufbringen kann, wobei der Prüfstand eine Belastungsmaschine aufweist, welche eingerichtet ist, mit der Radnabe drehmomentübertragend verbunden zu werden und wobei der Prüfstand einen Aktor aufweist, welcher eingerichtet ist, um eine Relativbewegung zwischen der Radnabe einerseits und einem Fahrzeugrahmen, welcher die Radnabe stützt, andererseits zu erzeugen. Die Erfindung betrifft auch ein entsprechendes Verfahren zum Testen eines realen Prüflings.

Auf Fahrzeugprüfständen oder Prüfständen für Antriebsstränge können wenigstens einzelne Komponenten des Antriebsstrangs eines Kraftfahrzeugs getestet werden. Je nachdem, welche Komponente oder Komponenten getestet werden, kommen dabei ein Rollenprüfstand, ein Motorprüfstand, ein Getriebeprüfstand etc. zum Einsatz.

Ein Prüfling, also die zu testende Vorrichtung, wird dabei einem Prüflauf unterworfen, um Eigenschaften des Prüflings zu prüfen. Um dies zu erreichen, werden während eines Prüflaufs mittels geeigneter Messsensoren bestimmte Messgrößen erfasst und in Echtzeit oder zeitversetzt einem Prüflauf unterworfen, um Eigenschaften des Prüflings zu analysieren. Um dies zu erreichen, werden während eines Prüflaufs mittels geeigneter Messsensoren bestimmte Messgrößen erfasst und in Echtzeit oder zeitversetzt (post-mortem) ausgewertet.

Ein realer Prüfling ist dabei eine Kombination aus einer Anzahl von realen Komponenten, wobei die realen Komponenten real als Bauteile am Prüfstand aufgebaut sind. Komponenten des Fahrzeugs, welche nicht real vorhanden sind, werden als virtuellen Komponenten mittels Simulationsmodellen, insbesondere in Echtzeit, von dem Prüfstand oder einer separaten Simulationseinrichtung simuliert. Auf diese Weise wird der reale Prüfling zu einem Gesamtsystem ergänzt.

Der reale Prüfling (real unit under test – rUUT), welcher die realen Komponenten umfasst, kann vorzugsweise durch einen virtuellen Prüfling (virtual unit under test – vUUT), welcher die virtuellen Komponenten umfasst, ergänzt werden. Der virtuelle Prüfling wird hierbei vorzugsweise vom Prüfstand gebildet.

Beispiele für Prüflinge sind ein Kraftfahrzeug, ein Antriebsstrang oder auch lediglich kleinere Systeme wie ein Powerpack, ein Hybridantrieb oder auch ein Getriebe.

Der Prüflauf ist ein zeitlicher Ablauf von Zuständen des Prüflings, welche am Prüfstand mittels einer Steuerung oder Regelung durch eine elektronische Steuereinheit eingestellt werden.

Im Falle eines Antriebsstrangprüfstands ist der reale Prüfling mit einer Belastungsmaschine verbunden, welche dem Prüfling gemäß dem Prüflauf eine Last, z. B. ein positives oder negatives Lastdrehmoment oder eine Drehzahl, oder einen anders definierten Belastungszustand vorgibt. Der reale Prüfling wird nach den Vorgaben des Prüflaufs unter dieser Last bzw. diesem Belastungszustand betrieben.

Beispielsweise können auf dem Prüfstand eine Verbrennungskraftmaschine und ein Getriebe real vorhanden sein, wobei das Getriebe, vorzugsweise über einen Getriebeausgang, mit der Belastungsmaschine mechanische gekoppelt ist.

Der Verbrennungsmotor und das Getriebe werden dann gemäß einem Prüflauf angesteuert, beispielsweise durch Verstellen der Drosselklappe des Verbrennungsmotors, durch eine Vorgabe des Gangs oder durch Einstellen einer bestimmten Drehzahl am Getriebeausgang.

Die Belastungsmaschine wird durch zeitlich veränderliche Soll-Drehmomente $M_{\text{Soll}}(t)$ oder Soll-Drehzahlen $N_{\text{Soll}}(t)$ gesteuert, welche zu einer Last bzw. einem Belastungszustand des Prüflings führen.

Der Verlauf des Soll-Moments $M_{\text{Soll}}(t)$ oder der Soll-Drehzahl $N_{\text{Soll}}(t)$ hängt dabei von den in dem Prüflauf vorgegebenen Betriebspunkten ab, welche getestet werden sollen. Des Weiteren können beim Ermitteln dieser Soll-Momente $M_{\text{Soll}}(t)$ oder der Soll-Drehzahlen $N_{\text{Soll}}(t)$ Eigenschaften von virtuellen Komponenten, wie z. B. Wellen, Differenzial, Achse, Reifen, und die Interaktion mit der Umgebung des Fahrzeugs, z. B. der Kontakte zwischen

Reifen und simulierter Teststrecke und die Witterung, mittels Simulationsmodellen simuliert werden.

An den Schnittstellen zwischen den realen Komponenten und den virtuellen Komponenten werden zeitlich veränderliche Parameter, insbesondere Drehzahlen, Drehmomente, Kräfte und Positionen, vorzugsweise in Echtzeit, übergeben.

Eine besondere Herausforderung ist es, auf einem solchen Prüfstand dynamische Systeme und Prozesse abzubilden.

Das Dokument WO 2011/022746 A1 betrifft eine Regelung einer Prüfstandsordnung, die einen Prüfling, z. B. ein Verbrennungsmotor oder ein Fahrzeugantriebsstrang, enthält, der zumindest einen Drehwinkel als Ausgang hat und mit zumindest einer Belastungseinheit über zumindest eine Verbindungswelle verbunden ist. In einem den mechanischen Widerstand für den Prüfling beschreibenden Impedanz-Modell wird, ausgehend von vom Prüfling hergeleiteten Eingangsgrößen, ein Soll-Wert des Drehmoments der Verbindungswelle als Ausgangsgröße berechnet und dieser Soll-Wert einer Drehmoment-Regelung für die Belastungseinheit zugrunde gelegt.

Das Dokument EP 0 338 373 betrifft einen Prüfstand zum Testen des Antriebsstrangs eines Fahrzeugs, wobei mindestens zwei voneinander unabhängig momentengeregelte elektrische Belastungsmaschinen direkt an die Welle des zu prüfenden Antriebsstrangs angeflanscht sind. Über einen Simulationsrechner erfolgt eine Simulation der Fahrwiderstände, der Räder und des Fahrzeug-Beschleunigungsverhaltens ausschließlich der real als Fahrzeugkomponenten vorhandenen Teile, wie Hauptantriebsstrang, Achsgetriebe, Wellen, Kupplung, Getriebe, Verbrennungsmotor. Es sind Simulationen einer Kurvenfahrt, von durchdrehenden Rädern, von unterschiedlichen Radradien und von durchdrehenden oder blockierenden Rädern möglich.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen verbesserten Prüfstand und ein verbessertes Verfahren zum Testen eines realen Prüflings bereitzustellen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, auf einem Prüfstand eine Nachbildung der Interaktion der Räder mit einer Fahrbahn einer Teststrecke im Fahrbetrieb zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch einen Prüfstand und ein Verfahren zum Testen eines realen Prüflings gemäß der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den Unteransprüchen angegeben.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft einen Prüfstand zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb, wobei der Prüfling wenigstens eine reale Komponente eines Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf eine Radnabe aufbringen kann, aufweist und wobei der Prüfstand aufweist:

eine Belastungsmaschine, welche eingerichtet ist, mit der Radnabe drehmomentübertragend verbunden zu werden;

einen Aktor, welcher eingerichtet ist, um eine Relativbewegung zwischen der Radnabe einerseits und einem Fahrzeugrahmen, welcher die Radnabe stützt, andererseits zu erzeugen;

Simulationsmittel zum Simulieren des Fahrbetriebs, wobei die Simulationsmittel eingerichtet sind, um ein virtuelles Rad und eine Dynamik des virtuellen Rads in der Weise zu simulieren, als ob es an der Radnabe angeordnet wäre; und

Steuerungsmittel, welche eingerichtet sind, um den realen Prüfling unter Berücksichtigung der simulierten Dynamik des virtuellen Rads auf dem Prüfstand zu betreiben.

An der Radnabe ist insbesondere kein reales Rad des Prüflings angebracht. Vorzugsweise weist der Prüfling kein reales Rad auf.

Vorzugsweise weist der Prüfstand des Weiteren eine Schnittstelle, insbesondere Datenschnittstelle, auf, mit welcher Betriebsparameter des Prüfstands und/oder des realen Prüflings ausgegeben werden können. Betriebsparameter können hierbei vorzugsweise gemessene Ist-Werte oder Soll-Werte sein.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Testen eines realen Prüflings, welcher eine reale Komponente eines Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf eine Radnabe aufbringen kann, aufweist, auf einem Prüfstand, welcher eine Belastungsmaschine und einen Aktor aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Arbeitsschritte aufweist:

Simulieren einer Fahrt des Fahrzeugs auf einer virtuellen Teststrecke mittels eines Fahrzeugmodells, welches wenigstens ein virtuelles Rad, insbesondere dessen Dynamik, und

andere Komponenten des Fahrzeugs, welche nicht real vorhanden sind, abbildet, wobei wenigstens Soll-Werte für ein Drehmoment oder eine Drehzahl der Belastungsmaschine und Soll-Werte für eine, insbesondere vertikale, Kraft oder Position des Aktors ermittelt werden;

Bereitstellen eines Drehmoments oder einer Drehzahl durch die Belastungsmaschine an der Radnabe und einer, insbesondere vertikalen Kraft, oder Position durch den Aktor an der Radnabe in Abhängigkeit der jeweils simulierten Soll-Werte;

Betreiben des realen Prüflings, insbesondere der realen Komponente, welche ein Drehmoment auf die Radnabe aufbringen kann, auf dem Prüfstand in der Weise, dass der Prüfling die virtuelle Teststrecke abfährt; und

Messen von Ist-Werten der Drehzahl und/oder des Drehmoments an der Radnabe und/oder Messen von Ist-Werten der, insbesondere vertikalen, Kraft und/oder Position der Radnabe, wobei jeweils wenigstens jener Parameter des Parameterpaars Drehzahl und Drehmoment oder des Parameterpaars Kraft und Position gemessen wird, für welche keine Soll-Werte ermittelt wurden.

Vorzugsweise ist das Verfahren computer-implementiert.

Vorzugsweise werden Betriebsparameter des Prüfstands und/oder des realen Prüflings mittels einer Schnittstelle, insbesondere einer Datenschnittstelle, ausgegeben. Betriebsparameter können hierbei vorzugsweise gemessene Ist-Werte oder Soll-Werte sein.

Vorzugsweise sind an der oder den Radnaben keine realen Räder montiert. Der Betrieb der Räder und/oder deren Dynamik werden weiter vorzugsweise ausschließlich simuliert.

Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft eine Messanordnung mit einem Prüfstand und einem realen Prüfling, welcher auf dem Prüfstand installiert ist und welcher wenigstens die reale Komponente des Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf einer Radnabe aufbringen kann, aufweist.

Weitere Aspekte der Erfindung betreffen ein Computerprogramm, das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung auszuführen,

und ein Computer-lesbares Medium, auf welchem ein solches Computerprogramm gespeichert ist.

Eine Komponente eines Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf eine Radnabe aufbringen kann, ist im Sinne der Erfindung vorzugsweise eine Bremseinrichtung oder ein Antriebsstrang.

Ein Antriebsstrang im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Verbund von Komponenten, die zum Bewegen des Fahrzeugs durch die vom Motor generierte Leistung dienen. Zum Antriebsstrang gehören vorzugsweise die Komponenten Motor, Anfahrlemente, Getriebe, Antriebswelle und Achsdifferenzial.

Ein Rad im Sinne der Erfindung umfasst vorzugsweise eine Radfelge und einen Reifen.

Eine Radnabe im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein drehbarer Flansch. Weiter vorzugsweise ist eine Welle der Belastungsmaschine drehfest mit der Radnabe verbunden oder verbindbar. Weiter vorzugsweise ist die Radnabe ausgebildet, um das Zentrum eines Rads zu bilden und das Rad daran zu befestigen. Weiter vorzugsweise ist die Radnabe drehfest mit einem Bremsenlement verbunden, an welchem eine Bremseinrichtung angreift. Weiter vorzugsweise ist die Radnabe Teil des realen Prüflings oder des Prüfstands.

Eine Belastungsmaschine im Sinne der Erfindung ist ein Dynamometer und/oder eine Bremse.

Ein realer Prüfling im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein gesamtes Fahrzeug oder eine Baugruppe eines Fahrzeugs.

Ein Fahrzeugrahmen im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise eine Vorrichtung, welche einen Bezugspunkt zur gefederten Masse des Fahrzeugs darstellt. Der Fahrzeugrahmen kann dabei ein Fahrgestell, insbesondere eine Karosserie, oder ein Fahrzeug selbst sein, aber auch ein Rahmen, welcher zur Montage eines realen Prüflings auf dem Prüfstand dient.

Eine Dynamik eines Rads im Sinne der Erfindung wird vorzugsweise durch Drehschwingungsfrequenzen, Schwingungsfrequenzen in Quer- und Längsrichtung des Fahrzeugs, Reifenverformung und/oder Reifenkrümmung charakterisiert.

Eine virtuelle Teststrecke im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Fahrbahnverlauf, welcher durch Topologie, Verkehrsvorschriften, Verkehrsschilder, Signale und/oder etwaige Hindernisse charakterisiert ist. Weiter vorzugsweise ist eine virtuelle Teststrecke das Abbild einer Rennstrecke.

Ein Soll-Wert im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Soll-Wert oder auch ein Soll-Wert-Verlauf. Vorzugsweise sind Soll-Werte als Kennfelder und/oder Funktionen ausgebildet.

Ein Mittel im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet, insbesondere eine, vorzugsweise mit einem Speicher und/oder Bussystem daten- bzw. signalverbundene, insbesondere digitale, Verarbeitungs-, insbesondere Mikroprozessor-Einheit (CPU), und/oder ein oder mehrere Programme oder Programm-Module aufweisend. Die Mikroprozessor-Einheit kann dazu ausgebildet sein, Befehle, die als ein in einem Speichersystem abgelegtes Programm implementiert sind, abzuarbeiten, Eingangssignale von einem Datenbus zu erfassen und/oder Ausgangssignale an einen Datenbus abzugeben. Ein Speichersystem kann ein oder mehrere, insbesondere verschiedene, Speichermedien, insbesondere optische, magnetische, Festkörper- und/oder andere nicht-flüchtige Medien aufweisen. Das Programm kann derart beschaffen sein, dass es die hier beschriebenen Verfahren verkörpert bzw. auszuführen im Stande ist, sodass die Mikroprozessor-Einheit die Schritte solcher Verfahren ausführen kann und damit insbesondere einen Prüfstand steuern und/oder regeln kann.

Die Erfindung basiert auf dem Ansatz, an einem Prüfstand zur Simulation eines Fahrbetriebs eine Relativbewegung, welche im Fahrbetrieb zwischen einem Chassis und den Rädern aufgrund der Bewegung des Chassis und der durch die Fahrbahn hervorgerufenen Bewegung der Räder am realen Prüfling zu simulieren und gleichzeitig die Räder, insbesondere deren Dynamik zu simulieren.

Zu diesem Zweck sieht der erfindungsgemäße Prüfstand einen oder mehrere Aktoren vor, wobei jeweils ein Aktor eine Kraft auf eine Radnabe ausüben kann. Solche Aktoren werden im Bereich der Prüfstandstechnik auch als Shaker bezeichnet.

Das Zusammenspiel von Belastungsmaschinen zum Aufbringen von Drehmomenten auf die Radnaben, der Aktoren zum Aufbringen von lateralen Kräften im Bereich der Radnaben und der Simulation der Räder ermöglicht eine besonders realitätsnahe Simulation des

Fahrbetriebs. Insbesondere bei der Simulation eines Fahrbetriebs auf einer Rennstrecke ermöglicht die Erfindung eine besonders realitätsnahe Ermittlung der Rundenzeiten. Auch können Fahrwerks- und Antriebsstrangänderungen und deren Einfluss auf die Rundenzeiten untersucht werden. Mit dem erfindungsgemäßen Prüfstand und dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es besonders vorteilhaft möglich, eine aktive Radaufhängung und die Motorsteuerung (ECU) an einem einzigen Prüfstand zusammen abzustimmen bzw. zu kalibrieren. Ein Prototyp eines Fahrzeugs, mit welchem reale Fahrten durchgeführt werden müssen, ist für diese Abstimmung bzw. Kalibrierung mit der erfindungsgemäßen Lehre nicht mehr notwendig.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Prüfstands weist der Prüfstand Fixierungsmittel auf, um den realen Prüfling in der Weise zu fixieren, dass die Relativbewegung ausschließlich durch eine Bewegung der Radnabe entsteht.

In dieser vorteilhaften Ausgestaltung wird der Bereich der Radnabe, und mit diesem das Fahrwerk des Fahrzeugs, welches vorzugsweise real vorhanden ist, ausschließlich über die Aktoren angeregt, welche eine Bewegung der Radnabe erzeugen. Vorzugsweise wird eine Bewegung des Fahrzeugrahmens, insbesondere eines Chassis, mittels eines inversen Modells in eine Bewegung der Aktoren umgerechnet, d.h. die Bewegung des Fahrzeugrahmens, insbesondere des Chassis, werden durch die Bewegung der Aktoren berücksichtigt.

Hierdurch werden keine separaten Aktoren, welche den Fahrzeugrahmen oder das Chassis bewegen, benötigt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Prüfstands sind die Simulationsmittel des Weiteren eingerichtet, um eine Bewegung des Fahrzeugrahmens gegenüber einer Fahrbahn zu simulieren, wobei die Steuerungsmittel des Weiteren eingerichtet sind, um die simulierte Bewegung des Fahrzeugrahmens bei der Steuerung des Aktors in der Weise zu berücksichtigen, dass die Relativbewegung wenigstens im Wesentlichen einer Relativbewegung zwischen der Radnabe und dem Fahrzeugrahmen auf der Teststrecke entspricht.

Hierdurch kann die Bewegung des Fahrzeugrahmens gegenüber der Fahrbahn beim Testen berücksichtigt werden, was zu besonders realitätsnahen Testergebnisse führt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weisen die Simulationsmittel ein Reifenmodell auf, um Eigenschaften eines Reifens des virtuellen Rads beim Simulieren zu berücksichtigen, wobei vorzugsweise das Reifenmodell eine Veränderung des Reifens, insbesondere aufgrund der aktuellen Reifengeometrie und/oder der aktuellen Reifentemperatur und/oder eines aktuellen Reifenverschleißes charakterisiert. Durch die Simulation des Reifens, vorzugsweise in Echtzeit, wird eine besonders realitätsnahe Bewegung zwischen Radnabe und Fahrzeugrahmen bzw. Chassis realisiert.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Prüfstands sind die Simulationsmittel eingerichtet, um Simulationsparameter mittels eines selbstlernenden Algorithmus auf der Grundlage von am Prüfstand aufgenommenen Messdaten anzupassen.

Hierdurch wird ein selbstlernendes System realisiert, welches es ermöglicht, die Simulation stetig zu verbessern. Insbesondere können die erlernten Parameter zur Verbesserung des inversen Modells zur Umwandlung der Bewegung des Fahrzeugrahmens bzw. Chassis in eine Bewegung der Aktoren verwendet werden. Die erlernten Parameter können auch zur Offline-Simulation herangezogen werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Prüfstands wirkt der Aktor wenigstens im Wesentlichen in vertikaler Richtung und/oder greift im Bereich, insbesondere an, der Radnabe an.

Durch die Wirkrichtung in vertikaler Richtung lassen sich Relativbewegungen zwischen den Rädern und dem Fahrzeugrahmen bzw. Chassis besonders gut simulieren. Durch das Angreifen im Bereich der Radnabe lässt sich ein besonders realitätsnaher Angriffspunkt an dem realen Prüfling verwirklichen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Prüfstands weist dieser mehrere Belastungsmaschinen und/oder Aktoren auf, wobei vorzugsweise eine Anzahl an Belastungsmaschinen der Zahl der Radnaben entspricht, auf welche mittels der realen Komponente ein Drehmoment aufgebracht werden kann, und/oder vorzugsweise die Zahl an Aktoren der Zahl der Radnaben entspricht. Vorzugsweise sind dabei die Radnaben als reale Komponenten des realen Prüflings vorgesehen.

Durch diese vorteilhafte Ausgestaltung kann ein Fahrzeug als Ganzes auf dem Prüfstand simuliert werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden beim Simulieren der Fahrt des Fahrzeugs des Weiteren Soll-Werte für eine Bremskraft und/oder eine Fahrzeugbeschleunigung mittels des Fahrzeugmodells ermittelt, wobei der reale Prüfling, insbesondere die reale Komponente des Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf die Radnabe aufbringen kann, in Abhängigkeit dieser jeweiligen Soll-Werte betrieben wird.

Durch die Berücksichtigung der Bremskraft und/oder der Fahrzeugbeschleunigung, welche jeweils auf der Teststrecke vorliegen soll, wird eine besonders realitätsnahe Simulation des Fahrbetriebs erreicht.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gibt ein Testfahrer Soll-Werte für eine Bremskraft und/oder eine Fahrzeugbeschleunigung beim Betreiben des realen Prüflings vor, wobei der reale Prüfling, insbesondere die reale Komponente des Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf die wenigstens eine Radnabe aufbringen kann, in Abhängigkeit dieser jeweiligen Soll-Werte betrieben wird.

Mittels dieser vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann ein realer Fahrer die Teststrecke abfahren. Der Fahrer kann hierbei vorzugsweise in dem realen Prüfling oder einer Sitzkiste platznehmen. Weiter vorzugsweise sind optische und/oder akustische Simulationsmittel vorgesehen, um dem Fahrer einen besonders realitätsgetreuen Eindruck einer Fahrt zu vermitteln.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird dieses iterativ, insbesondere in Echtzeit, ausgeführt, wobei beim Simulieren der Fahrt in jedem Zeitschritt die gemessenen Ist-Werte aus dem vorhergehenden Zeitschritt berücksichtigt werden.

Durch das Schließen der Regelschleife ist es möglich, das Verhalten des realen Prüflings bei dem Betrieb des Gesamtfahrzeugs zu berücksichtigen. In diesem Fall werden sowohl simulierte Werte aus der Simulation an den Betrieb des realen Prüflings als auch aus dem realen Betrieb an die Simulation der virtuellen Komponenten des Fahrzeugs, welche vorzugsweise durch den Prüfstand simuliert werden, jeweils an Schnittstellen übergeben. Dies bewirkt eine besonders vorteilhafte Kopplung des realen Prüflings mit virtuellen Komponenten.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens weist dieses des Weiteren den folgenden Arbeitsschritt auf:

Anpassen von Simulationsparametern mittels eines selbstlernenden Algorithmus auf der Grundlage von am Prüfstand aufgenommenen Messdaten.

Hierdurch können die verwendeten Simulationsmodelle stetig verbessert werden.

Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Bezug auf die Figuren. Es zeigen wenigstens teilweise schematisch:

Figur 1 eine perspektivische Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel einer Messanordnung mit einem Prüfstand und einem realen Prüfling.

Figur 2 eine seitliche Draufsicht auf das Ausführungsbeispiel einer Messanordnung nach Figur 1; und

Figur 3 ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zum Testen eines realen Prüflings.

Figur 1 zeigt eine perspektivische Draufsicht auf eine Messanordnung 13. Die Messanordnung weist einen Prüfstand 1 sowie einen realen Prüfling 2 auf.

Die Elemente des Prüfstands 1 sind vorzugsweise alle auf einer gemeinsamen Basis 17 angeordnet, welche weiter vorzugsweise durch eine Grundplatte gebildet wird.

Auf der Basis 17 werden vier Belastungsmaschinen 5a, 5b, 5c, 5d mittels Lagerungen 22a, 22b, 22c, 22d abgestützt. Die Dynamometer 5a, 5b, 5c, 5d weisen jeweils Wellen 23a, 23b, 23c, 23d auf, die die Dynamometer 5a, 5b, 5c, 5d mit vorzugsweise vorhandenen Flanschen 18a, 18b, 18c, 18d verbinden. Die vorzugsweise vorhandenen Flansche 18a, 18b, 18c, 18d dienen zur drehfesten Verbindung mit Radnaben 4a, 4b, 4c, 4d des realen Prüflings 2.

Die Wellen 23a, 23b, 23c, 23d werden des Weiteren durch die Aktoren 6a, 6b, 6c, 6d gestützt.

Die Basis 17 erstreckt sich dabei in der xy-Ebene des eingezeichneten Koordinatensystems x, y, z.

Die Lagerungen 22a, 22b, 22c, 22d erstrecken sich in vertikaler z-Richtung nach oben.

In diese z-Richtung erstrecken sich auch die Aktoren 6a, 6b, 6c, 6d, welche über Lager die Wellen 23a, 23b, 23c, 23d abstützen. Mittels der Aktoren 6a, 6b, 6c, 6d lässt sich auf

die Wellen 23a, 23b, 23c, 23d, welche vorzugsweise sowohl mit den Dynamometern 5a, 5b, 5c, 5d als auch mit den Flanschen 18a, 18b, 18c, 18d flexibel verbunden sind, eine Kraft in vertikaler z-Richtung ausüben.

Der Prüfstand 1 verfügt des Weiteren über eine elektronische Steuereinheit 16, welche vorzugsweise Simulationsmittel 8 und Steuerungsmittel 10 aufweist. Weiter vorzugsweise können die Simulationsmittel 8 und die Steuerungsmittel 10 auch in getrennten elektronischen Steuereinheiten angeordnet sein. Vorzugsweise ist die Steuereinheit 16 oder sind die Steuereinheiten als Computer ausgebildet.

Wie in Fig. 1 dargestellt, ist die elektronische Steuereinheit 16 zur Signalübertragung mit den Dynamometern 5a, 5b, 5c, 5d sowie mit den Aktoren 6a, 6b, 6c, 6d des Prüfstands 1 signaltechnisch verbunden. Vorzugsweise werden diese Elemente des Prüfstands 1 durch die elektronische Steuereinheit 16 gesteuert. Des Weiteren ist die elektronische Steuereinheit 16 und der Prüfstand 1 eingerichtet, um Messsignale an der drehmomentübertragenden Einheit zu messen, welche jeweils durch die Wellen 23a, 23b, 23c, 23d und in deren Verlängerung jeweils durch die Flansche 18a, 18b, 18c, 18d, die Radnaben 4a, 4b, 4c, 4d und die Antriebswellen 3d gebildet werden. Diese Elemente sind vorzugsweise drehfest untereinander verbunden. Ein entsprechendes Messsignal könnte beispielsweise über die Signalverbindung, welche jeweils zu den Dynamometern 5a, 5b, 5c, 5d ausgebildet ist, an die elektronische Steuereinheit 16 übertragen werden.

Wie bereits dargelegt, dienen die Steuerungsmittel 10 zur Steuerung des Prüfstands 1. Darüber hinaus kann die Steuerung 10 auch die Maschine 3a steuern.

Die Simulationsmittel 8 weisen vorzugsweise ein Fahrzeugmodell 14 auf. Darüber hinaus ist in diesem Simulationsmittel 8 weiter vorzugsweise ein Reifenmodell 11 hinterlegt, welches weiter vorzugsweise Teil des Fahrzeugmodells 14 ist. Die Simulationsmittel simulieren vorzugsweise alle Komponenten des Fahrzeugs, welche nicht real auf dem Prüfstand vorhanden sind. Insbesondere kann durch das Simulationsmodell ein sogenannter virtueller Prüfling simuliert werden.

Der reale Prüfling 2 weist vorzugsweise einen Fahrzeugrahmen 7 auf, welcher weiter vorzugsweise als Chassis ausgebildet ist. Die Maschine 3a, insbesondere ein Verbrennungsmotor oder Elektromotor, ist über eine Kardanwelle 3b vorzugsweise mit einem Getriebe und/oder Differenzial 3c drehmomentübertragend verbunden. Das Getriebe und/oder

Differenzial 3c ist wiederum über die Antriebswellen 3d mit den Radnaben 4a, 4b drehfest verbunden, an welchen Räder 9a, 9b montiert werden können.

Im dargestellten Beispiel bilden die Radflansche 4a, 4b die Hinterachse eines Fahrzeugs, welches den realen Prüfling 2 bildet. Alle vorgenannten Elemente, welche ein Drehmoment auf die Radnaben 4a, 4b übertragen, sind vorzugsweise an dem Fahrzeugrahmen 2 gelagert. Vorzugsweise ist die Maschine 3a daher Teil des realen Prüflings 2. Grundsätzlich kann die Maschine aber auch ein Teil des Prüfstands 1 sein und beispielsweise ebenfalls als Dynamometer ausgebildet sein, je nachdem, welche Komponenten getestet werden sollen.

Die Vorderachse wird durch zwei schwenkbare Achsabschnitte 3d gebildet, welche die Radnaben 4c, 4d vorzugsweise an dem Chassis 7 lagern. Die Achsabschnitte 3d werden jeweils durch Bremsen 3e, insbesondere Scheibenbremsen mit Bremsbacken, gebremst. Auch die Scheibenbremsen 3e können ein Drehmoment auf die Radnaben 4c, 4d aufbringen, in diesem Fall ein Bremsmoment.

Die Radnaben 4a, 4b, 4c, 4d sind, wie dargestellt, drehfest mit den Flanschen 18a, 18b, 18c, 18d des Prüfstands 1 verbunden. Alternativ ist es jedoch auch möglich, dass die Wellen 23a, 23b, 23c, 23d direkt an den Radflanschen 4a, 4b, 4c, 4d angreifen.

Weiter vorzugsweise ist es möglich, dass die Radflansche 4a, 4b, 4c, 4d Teil des realen Prüflings 2 oder des Prüfstands 1 sind. Zusätzlich oder alternativ kann auch der Fahrzeugrahmen 7 Teil des Prüfstands sein. Die realen Komponenten 3a, 3b, 3c, 3e, 3d sind in diesem Fall auf dem Fahrzeugrahmen 7 des Prüfstands 1 montiert.

Der Fahrzeugrahmen 7 wird vorzugsweise ebenfalls fest mittels Fixierungsmitteln 21 an der Basis 17 befestigt. Insbesondere sind die Fixierungsmittel 21 in der Weise ausgebildet, dass sich der Fahrzeugrahmen bzw. das Chassis 7 gegenüber der Basis 17 wenigstens im Wesentlichen nicht bewegen kann.

Wie bereits erläutert, weisen die Simulationsmittel 8 vorzugsweise ein Reifenmodell 11 und ein Fahrzeugmodell 14 auf. Die Simulationsmittel 8 dienen insbesondere dazu, jene Komponenten des Fahrzeugs, welche nicht real am Prüfstand vorhanden sind, insbesondere einen sogenannten virtuellen Prüfling, zu simulieren.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden wenigstens die Räder 9a, 9b, 9c, 9d simuliert. Vorzugsweise setzen sich die Räder dabei aus einer Radfelge 15a, 15b, 15c, 15d, welche im Allgemeinen starr ist, und dem Reifen 12a, 12b, 12c, 12d zusammen. Die Dynamik der Räder 9a, 9b, 9c, 9d wird dabei mittels virtueller Räder in den Simulationsmitteln 8 in der Weise simuliert, als ob diese an den Randflanschen 4a, 4b, 4c, 4d des realen Prüflings 2 angebracht wären.

Figur 2 zeigt eine Seitenansicht des Ausführungsbeispiels der Messanordnung 13 aus Fig. 1 in einer Draufsicht in y-Richtung des dargestellten Koordinatensystems.

Bezüglich der Erläuterung der einzelnen dargestellten Elemente in Fig. 2 wird auf die Fig. 1 verwiesen.

Die Aktoren 6b, 6c sowie die Wellen 23b, 23c des Prüfstands 1 sind strichliert dargestellt, da diese in der Ansicht nach Figur 2 eigentlich hinter den Lagerungen 22b, 22c und den Dynamometern 5b, 5c verborgen sind.

Die in Fig. 2 dargestellten Doppelpfeile deuten an, dass die dargestellten Aktoren 6b, 6c eine Kraft in z-Richtung auf die Wellen 23b, 23c des Prüfstands 1 ausüben können, um eine Relativbewegung der virtuellen Räder 9b, 9c (nicht dargestellt) in Bezug auf den Fahrzeugrahmen bzw. das Chassis zu erzeugen.

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens 100 zum Testen eines realen Prüflings 2.

In einem ersten Arbeitsschritt 101 wird dabei die Fahrt des Fahrzeugs 19 auf einer virtuellen Teststrecke 20 simuliert.

Das Fahrzeugmodell 14, insbesondere unter Anwendung eines Reifenmodells 11, modelliert die virtuellen Komponenten des Fahrzeugs 19, insbesondere die Dynamik der virtuellen Räder 9a, 9b, 9c, 9d (nicht dargestellt). Hierdurch werden Soll-Werte für ein Drehmoment $M_{\text{Soll}}(t)$ oder eine Drehzahl $N_{\text{Soll}}(t)$ für die Dynamometer 5a, 5b, 5c, 5d (nicht dargestellt) berechnet. Des Weiteren werden beim Simulieren vorzugsweise Soll-Werte für eine Bremskraft $F_B(t)$ und/oder eine Fahrzeugbeschleunigung $a(t)$ mittels des Fahrzeugmodells 14 ermittelt.

In einem zweiten Arbeitsschritt 102 wird der Prüfstand 1, insbesondere dessen Dynamometer 5a, 5b, 5c, 5d und Aktoren 6a, 6b, 6c, 6d (beide nicht dargestellt), auf der Grundlage der Simulation in der Weise gesteuert, dass die Dynamometer 5a, 5b, 5c, 5d ein Drehmoment unter Vorgabe des Soll-Werts des Drehmoments $M_{\text{Soll}}(t)$ oder eine Drehzahl unter Vorgabe des Soll-Werts der Drehzahl $N_{\text{Soll}}(t)$ bereitstellen. Selbiges gilt für die Aktoren 6a, 6b, 6c, 6d (nicht dargestellt), welche eine Kraft auf der Grundlage des Soll-Werts $F_{Z_Soll}(t)$ bereitstellen oder die Radnaben 5a, 5b, 5c, 5d (nicht dargestellt) und/oder die Wellen 23a, 23b, 23c, 23d (nicht dargestellt) auf eine definierte Position in Abhängigkeit des Soll-Werts $Z_{\text{Soll}}(t)$ einstellen.

In einem dritten Arbeitsschritt 103 wird der reale Prüfling 2, insbesondere die reale Komponente 3, welche ein Drehmoment auf die Radnaben 4a, 4b, 4c, 4d aufbringen kann (beide nicht dargestellt) in der Weise betrieben, dass das ein simulierte Fahrzeug 19 eine virtuelle Teststrecke 20 abfährt. Vorzugsweise kommen hierbei die in der Simulation vorzugsweise ebenfalls berechneten Soll-Werte für die Bremskraft $F_B(t)$ und/oder der Soll-Wert für die Fahrzeugbeschleunigung $a(t)$ zum Einsatz, um eine Antriebsmaschine 3a und/oder eine oder mehrere Bremseinrichtungen 3e des realen Prüflings 2 zu steuern.

Die zweiten und dritten Arbeitsschritt 102, 103 laufen vorzugsweise simultan ab.

Alternativ können die Soll-Werte für die Bremskraft $F_B(t)$ und/oder die Fahrzeugbeschleunigung $a(t)$ aber auch durch einen Testfahrer vorgegeben werden.

In einem vierten Arbeitsschritt 104 werden die Ist-Werte der Drehzahl $N_{\text{Ist}}(t)$ oder des Drehmoments $M_{\text{Ist}}(t)$ im Bereich der wenigstens einen Radnabe 4a, 4b, 4c, 4d (nicht dargestellt) gemessen. Die Messung des Drehmoments kann dabei prinzipiell an einem der Elemente erfolgen, welche mit der Radnabe 4a, 4b, 4c, 4d, wie in Fig. 1 dargestellt, drehfest verbunden sind.

Vorzugsweise wird alternativ oder zusätzlich auch ein Ist-Wert der Kraft in z-Richtung $F_{Z_Ist}(t)$ auf die Radnabe 4a, 4b, 4c, 4d (nicht dargestellt) oder die Position $Z_{\text{Ist}}(t)$ der Radnabe 4a, 4b, 4c, 4d (nicht dargestellt) in z-Richtung gemessen.

Von dem Parameterpaar Drehzahl und Drehmoment $N_{\text{Ist}}(t)$, $M_{\text{Ist}}(t)$ und dem Parameterpaar Kraft und Position $Z_{\text{Ist}}(t)$, $F_{Z_Ist}(t)$ wird jeweils wenigstens jener Parameter gemessen, für welchen keine Soll-Werte in der Simulation ermittelt wurden und welche daher auch nicht

durch den Prüfstand 1 bzw. die elektronische Steuereinheit 16 (beide nicht dargestellt) vorgegeben wurden.

Vorzugsweise werden in einem weiteren Arbeitsschritt 105 Simulationsparameter mittels eines selbstlernenden Algorithmus auf der Grundlage am Prüfstand 1 (nicht dargestellt) aufgenommener Messdaten angepasst. Insbesondere kommen hierbei die gemessenen Ist-Werte zum Einsatz.

Weiter vorzugsweise wird das Verfahren 100 iterativ ausgeführt, insbesondere in Echtzeit. Vorzugsweise werden beim Simulieren im ersten Arbeitsschritt 101 der Fahrt in jedem Zeitschritt daher die gemessenen Ist-Werte $N_{Ist}(t)$, $M_{Ist}(t)$, $Z_{Ist}(t)$, $F_{Z_Ist}(t)$ aus dem vorhergehenden Zeitschritt berücksichtigt. Vorzugsweise wird eine geschlossene Regelschleife gebildet, in welcher die Soll-Werte und die Ist-Werte sich gegenseitig beeinflussen. Auf diese Weise kann berücksichtigt werden, dass an den Schnittstellen zwischen den realen Komponenten und den virtuellen Komponenten zeitlich veränderliche Parameter, insbesondere Drehzahlen, Drehmomente, Kräfte und Positionen in Echtzeit übergeben werden.

Bei den im Vorhergehenden beschriebenen Ausführungsbeispielen handelt es sich lediglich um Beispiele, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau der Erfindung in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einem Ausführungsbeispiel gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich, wie er sich aus den Ansprüchen und aus diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt, zu verlassen.

Bezugszeichenliste

1	Prüfstand
2	realer Prüfling
3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f	reale Komponente eines Fahrzeugs
4a, 4b, 4c, 4d	Radnabe
5a, 5b, 5c, 5d	Belastungsmaschine
6a, 6b, 6c, 6d	Aktor
7	Fahrzeugrahmen
8	Simulationsmittel
9a, 9b, 9c, 9d	virtuelles Rad
10	Steuerungsmittel
11	Reifenmodell
12a, 12b, 12d, 12c, 12d	Reifen
13	Messanordnung
14	Fahrzeugmodell
15a, 15b, 15d	Felge
16	elektronische Steuereinheit
17	Basis
18a, 18b, 18c, 18d	Flansch
19	Fahrzeug
20	Teststrecke
21	Fixierungsmittel
22a, 22b, 22c, 22d	Lagerung
23a, 23b, 23c, 23d	Wellen
$M_{Soll}(t)$	Soll-Wert des Drehmoments
$N_{Soll}(t)$	Soll-Wert der Drehzahl
$F_{z_Soll}(t)$	Soll-Wert einer Kraft in z-Richtung
$Z_{Soll}(t)$	Soll-Wert der Position in z-Richtung
$F_B(t)$	Soll-Wert einer Bremskraft
$a(t)$	Soll-Wert einer Beschleunigung
$N_{Ist}(t)$	Ist-Wert der Drehzahl
$M_{Ist}(t)$	Ist-Wert des Drehmoments

- 18 -

$Z_{\text{Ist}}(t)$	Ist-Wert der Position in z-Richtung
$F_{z_Ist}(t)$	Ist-Wert der Kraft in z-Richtung

Patentansprüche

1. Prüfstand (1) zum Testen eines realen Prüflings im Fahrbetrieb, wobei der reale Prüfling wenigstens eine reale Komponente (3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f) eines Fahrzeugs (19), welche ein Drehmoment auf eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, aufweist und wobei der Prüfstand (1) aufweist:
 - eine Belastungsmaschine (5a, 5b, 5c, 5d), welche eingerichtet ist, mit der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) drehmomentübertragend verbunden zu werden;
 - einen Aktor (6a, 6b, 6c, 6d), welcher eingerichtet ist, um eine Relativbewegung zwischen der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) einerseits und einem Fahrzeugrahmen (7), welcher die Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) stützt, andererseits zu erzeugen;
 - Simulationsmittel (8) zum Simulieren des Fahrbetriebs, wobei die Simulationsmittel (8) eingerichtet sind, um ein virtuelles Rad (9a, 9b, 9c, 9d) und eine Dynamik des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) in der Weise zu simulieren, als ob es an der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) angeordnet wäre; und
 - Steuerungsmittel (10), welche eingerichtet sind, um den realen Prüfling unter Berücksichtigung der simulierten Dynamik des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) auf dem Prüfstand (1) zu betreiben.
2. Prüfstand (1) nach Anspruch 1, wobei der Prüfstand (1) Fixierungsmittel aufweist, um den realen Prüfling in der Weise zu fixieren, dass die Relativbewegung ausschließlich durch eine Bewegung der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) entsteht.
3. Prüfstand (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Simulationsmittel (8) des Weiteren eingerichtet sind, um eine Bewegung des Fahrzeugrahmens (7) gegenüber einer Fahrbahn zu simulieren, wobei die Steuerungsmittel (10) des Weiteren eingerichtet sind, um die simulierte Bewegung des Fahrzeugrahmens (7) bei der Steuerung des Aktors (6a, 6b, 6c, 6d) in der Weise zu berücksichtigen, dass die Relativbewegung wenigstens im Wesentlichen einer Relativbewegung zwischen der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) und dem Fahrzeugrahmen (7) auf der Fahrbahn (20) entspricht.

4. Prüfstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Simulationsmittel (8) ein Reifenmodell (11) aufweisen, um Eigenschaften eines Reifens (12a, 12b, 12c, 12d) des virtuellen Rads (9a, 9b, 9c, 9d) beim Simulieren zu berücksichtigen, wobei vorzugsweise das Reifenmodell (11) eine Veränderung des Reifens (12a, 12b, 12c, 12d), insbesondere aufgrund der aktuellen Reifengeometrie und/oder der aktuellen Reifentemperatur und/oder eines aktuellen Reifenverschleißes charakterisiert.
5. Prüfstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Simulationsmittel (8) des Weiteren eingerichtet sind, um Simulationsparameter mittels eines selbstlernenden Algorithmus auf der Grundlage von am Prüfstand (1) aufgenommenen Messdaten anzupassen.
6. Prüfstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Aktor (6a, 6b, 6c, 6d) wenigstens im Wesentlichen in vertikaler Richtung wirkt und/oder im Bereich, insbesondere an, der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) angreift.
7. Prüfstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welcher mehrere Belastungsmaschinen (5a, 5b, 5c, 5d) und/oder Aktoren (6a, 6b, 6c, 6d) aufweist, wobei vorzugsweise eine Anzahl an Belastungsmaschinen (5a, 5b, 5c, 5d) der Zahl der Radnaben (4a, 4b, 4c, 4d) entspricht, auf welche mittels einer realen Komponente (3) des realen Prüflings (2) ein Drehmoment aufgebracht werden kann, und/oder vorzugsweise eine Anzahl an Aktoren (6a, 6b, 6c, 6d) der Zahl der Radnaben (4a, 4b, 4c, 4d) entspricht.
8. Messanordnung (13) mit einem Prüfstand (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche und dem realen Prüfling (2), welcher auf dem Prüfstand (1) installiert ist und welcher wenigstens die reale Komponente (3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f) des Fahrzeugs (19), welche ein Drehmoment auf eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, aufweist.
9. Verfahren (100) zum Testen eines realen Prüflings (2), welcher eine reale Komponente (3) eines Fahrzeugs (19), welche ein Drehmoment auf eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, auf einem Prüfstand (1), welcher eine Belastungsmaschine (5a, 5b, 5c, 5d) und einen Aktor (6a, 6b, 6c, 6d) aufweist, insbesondere nach

einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Verfahren (100) die folgende Arbeitsschritte aufweist:

Simulieren (101) einer Fahrt des Fahrzeugs (19) auf einer virtuellen Teststrecke (20) mittels eines Fahrzeugmodells (14), welches ein virtuelles Rad (9a, 9b, 9c, 9d), insbesondere dessen Dynamik, und andere Komponenten des Fahrzeugs, welche nicht real vorhanden sind, abbildet, wobei wenigstens Soll-Werte für ein Drehmoment ($M_{\text{Soll}}(t)$) oder eine Drehzahl ($N_{\text{Soll}}(t)$) der Belastungsmaschine (5a, 5b, 5c, 5d) und Soll-Werte für eine, insbesondere vertikale, Kraft ($F_{z_Soll}(t)$) oder Position ($Z_{\text{Soll}}(t)$) des Aktors (6a, 6b, 6c, 6d) ermittelt werden;

Bereitstellen (102) eines Drehmoments oder einer Drehzahl durch die Belastungsmaschine (5a, 5b, 5c, 5d) an der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) und einer, insbesondere vertikalen, Kraft oder Position durch den Aktor (6a, 6b, 6c, 6d) an der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) in Abhängigkeit der jeweils simulierten Soll-Werte ($M_{\text{Soll}}(t)$; $N_{\text{Soll}}(t)$, $F_{z_Soll}(t)$; $Z_{\text{Soll}}(t)$);

Betreiben (103) des realen Prüflings (2), insbesondere der realen Komponente (3), welche ein Drehmoment auf eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, auf dem Prüfstand in der Weise, dass das Fahrzeug (19) die virtuelle Teststrecke (20) abfährt; und

Messen (104) von Ist-Werten der Drehzahl ($N_{\text{Ist}}(t)$) und/oder des Drehmoments ($M_{\text{Ist}}(t)$) an der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) und/oder Messen von Ist-Werten der, insbesondere vertikalen, Kraft ($F_{z_Ist}(t)$) und/oder Position ($Z_{\text{Ist}}(t)$) der Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d), wobei jeweils wenigstens jener Parameter des Parameterpaars Drehzahl und Drehmoment ($N_{\text{Ist}}(t)$; $M_{\text{Ist}}(t)$) oder des Parameterpaars Kraft und Position ($Z_{\text{Ist}}(t)$; $F_{z_Ist}(t)$) gemessen wird, für welchen keine Soll-Werte ermittelt werden.

10. Verfahren (100) nach Anspruch 9, wobei beim Simulieren (101) der Fahrt des Fahrzeugs des Weiteren Soll-Werte für eine Bremskraft ($F_B(t)$) und/oder eine Fahrzeugbeschleunigung ($a(t)$) mittels des Fahrzeugmodells (14) ermittelt werden, wobei der reale Prüfling (2), insbesondere die reale Komponente (3) des Fahrzeugs, welche ein Drehmoment auf die Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, in Abhängigkeit dieser jeweiligen Soll-Werte betrieben wird.

11. Verfahren (100) nach Anspruch 9, wobei ein Testfahrer Soll-Werte für eine Bremskraft ($F_B(t)$) und/oder eine Fahrzeugbeschleunigung ($a(t)$) beim Betreiben des realen Prüflings (2) vorgibt, wobei der reale Prüfling (2), insbesondere die reale Komponente (3) des Fahrzeugs (19), welche ein Drehmoment auf die wenigstens eine Radnabe (4a, 4b, 4c, 4d) aufbringen kann, in Abhängigkeit dieser jeweiligen Soll-Werte betrieben wird.
12. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, welches iterativ, insbesondere in Echtzeit, ausgeführt wird, wobei beim Simulieren (101) der Fahrt in jedem Zeitschritt die gemessenen Ist-Werte ($N_{Ist}(t)$; $M_{Ist}(t)$, $Z_{Ist}(t)$; $F_{z_Ist}(t)$) aus dem vorhergehenden Zeitschritt berücksichtigt werden.
13. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, des Weiteren den folgenden Arbeitsschritt aufweisend:

Anpassen (105) von Simulationsparametern mittels eines selbstlernenden Algorithmus auf der Grundlage von am Prüfstand (1) aufgenommenen Messdaten, insbesondere der gemessenen Ist-Werte ($N_{Ist}(t)$; $M_{Ist}(t)$, $Z_{Ist}(t)$; $F_{z_Ist}(t)$).
14. Computerprogramm, das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 9 bis 13 auszuführen.
15. Computer-lesbares Medium, auf dem ein Computerprogramm nach Anspruch 14 gespeichert ist.

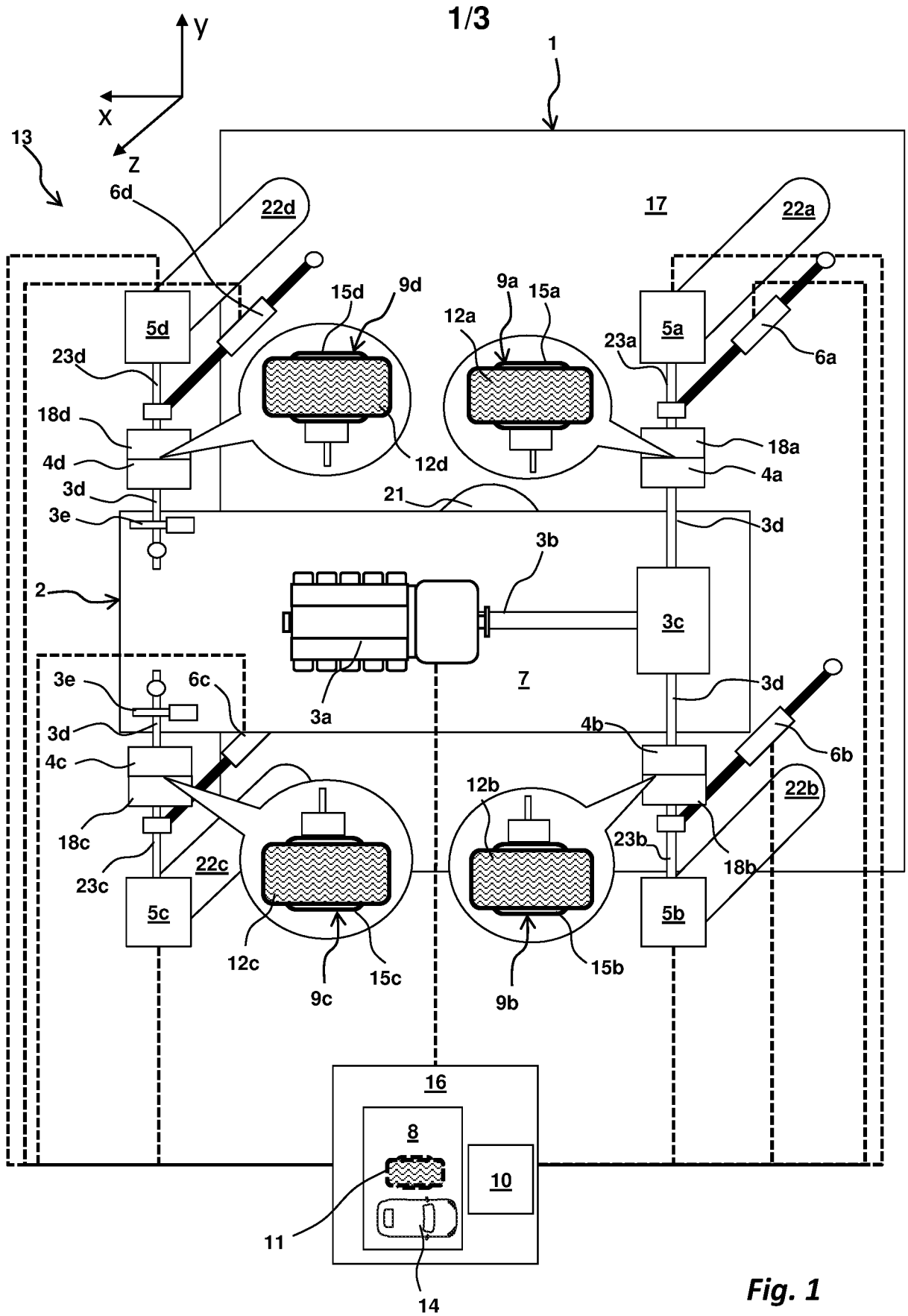


Fig. 1

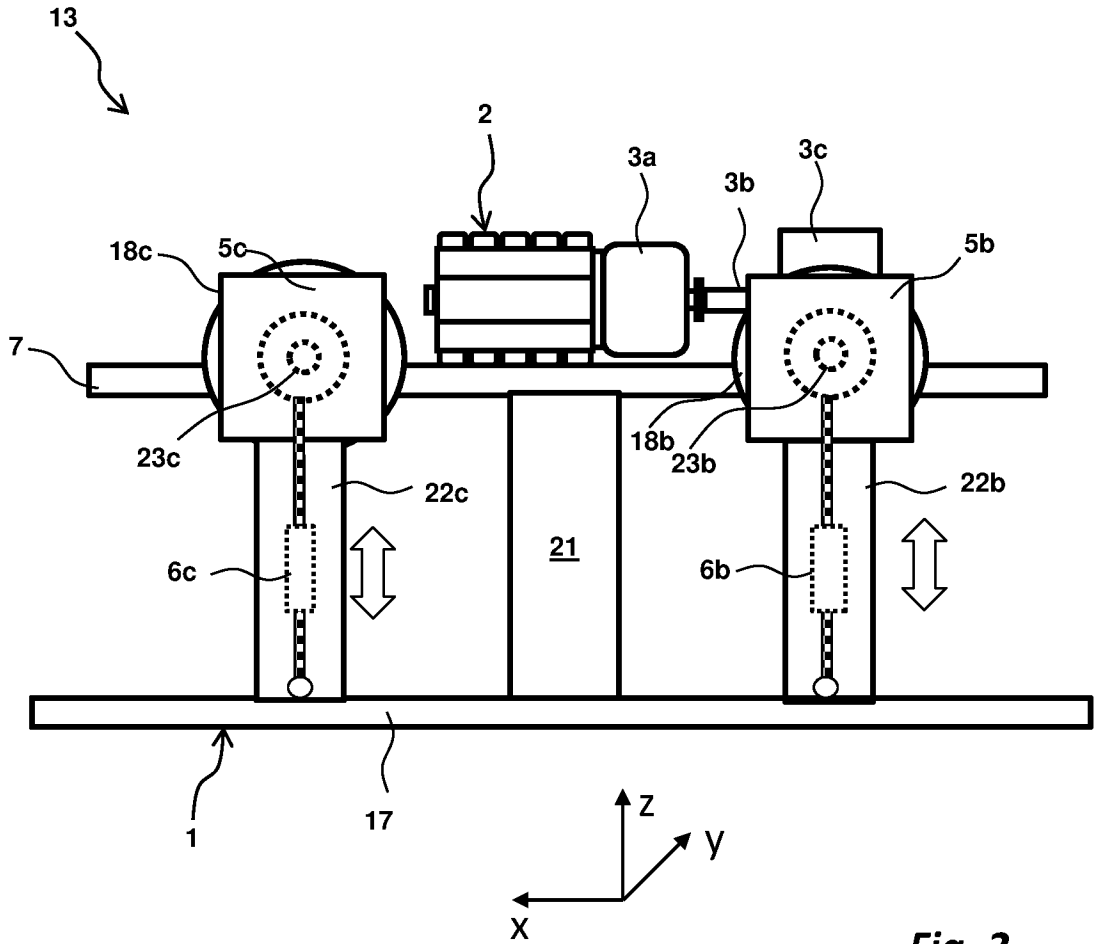


Fig. 2

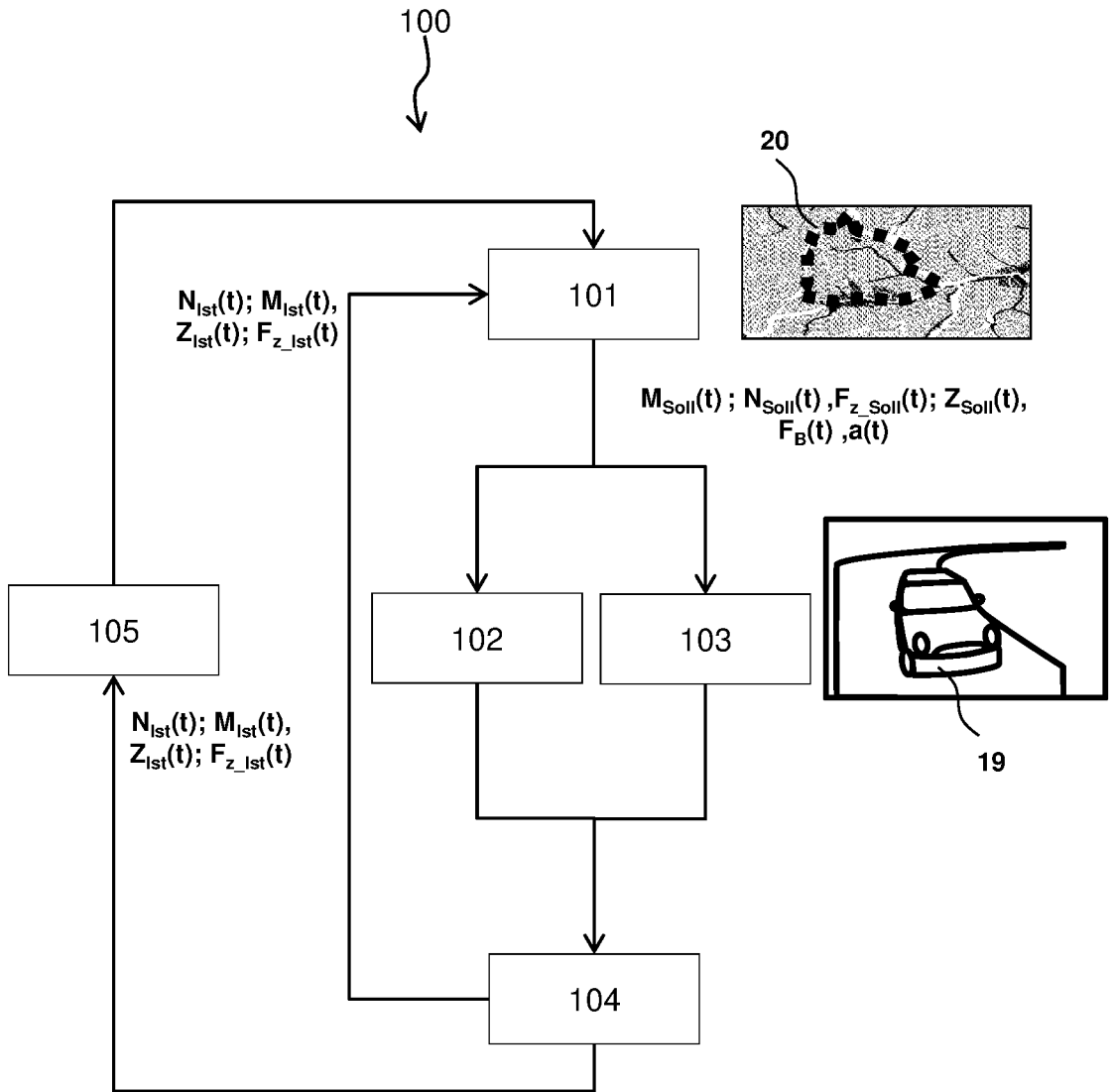


Fig. 3

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC:
G01M 13/025 (2019.01); **G01M 17/06** (2006.01); **B60C 99/00** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC:
G01M 13/025 (2019.01); **G01M 17/06** (2019.01); **B60C 99/006** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
 G01M, B60C

Konsultierte Online-Datenbank:
 WPIAP, EPODOC, PATENW, PATDEW, IEEEExplore, ScienceDirect

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **14.08.2020** eingereichten Ansprüchen **1-15** erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 3801647 A1 (LICENTIA) 03. August 1989 (03.08.1989) Figuren; Zusammenfassung; Spalte 1, Zeilen 20-31; Spalte 3, Zeile 3-30.	1-8
X	EP 1037030 A2 (AVL DEUTSCHLAND) 20. September 2000 (20.09.2000) Figuren; Zusammenfassung; Paragraphen 0008, 0009.	1-8
X	DE 102006035502 B3 (PORSCH) 03. April 2008 (03.04.2008) Figuren; Zusammenfassung; Paragraph 0013.	1-8
X	EP 2161560 A2 (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN) 10. März 2010 (10.03.2010) Figuren; Zusammenfassung; Paragraphen 0047, 0048.	1-8
X	AT 508031 B1 (SEIBT KRISTL & CO) 15. Oktober 2010 (15.10.2010) Figuren; Zusammenfassung; Paragraphen 0007, 0008.	1-8
X	WO 2016102555 A1 (AVL LIST) 30. Juni 2016 (30.06.2016) Figuren; Zusammenfassung; Seite 6, Zeilen 3-29.	1-8
X	WO 2018104270 A1 (AVL LIST) 14. Juni 2018 (14.06.2018) Figuren; Zusammenfassung; Seite 1, Zeilen 1-10; Seite 3, Zeile 34 - Seite 4, Zeile 22; Seite 6, Zeile 31 - Seite 7, Zeile 32.	1-8
A	EP 1596179 A2 (SCHENCK FINAL ASSEMBLY PRODUCTS) 16. November 2005 (16.11.2005) Figuren; Zusammenfassung; Paragraphen 0043, 0044.	1-15
A	EP 2602602 A1 (HUG) 12. Juni 2013 (12.06.2013) Figuren; Zusammenfassung.	1-15
A	EP 2796849 A2 (JTEKT) 29. Oktober 2014 (29.10.2014)	1-15

Datum der Beendigung der Recherche: 21.05.2021 Seite 1 von 2 Prüfer(in): MESA PASCASIO Johannes

^{*)} **Kategorien** der angeführten Dokumente:
X Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
Y Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.
A Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
P Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
E Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
& Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

Kategorie*)	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	Figuren; Zusammenfassung. EP 0338373 A2 (ASEA BROWN BOVERI) 25. Oktober 1989 (25.10.1989) Figuren; Zusammenfassung.	1-15
A	WO 2011022746 A1 (TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN) 03. März 2011 (03.03.2011) Figuren; Zusammenfassung.	1-15