



(10) **DE 10 2016 210 126 B4** 2021.07.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 210 126.9**  
(22) Anmeldetag: **08.06.2016**  
(43) Offenlegungstag: **14.12.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **01.07.2021**

(51) Int Cl.: **B60W 30/02 (2012.01)**  
**B60W 10/08 (2006.01)**  
**B60W 10/20 (2006.01)**  
**B62D 6/00 (2006.01)**  
**B62D 9/00 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 91074  
Herzogenaurach, DE**

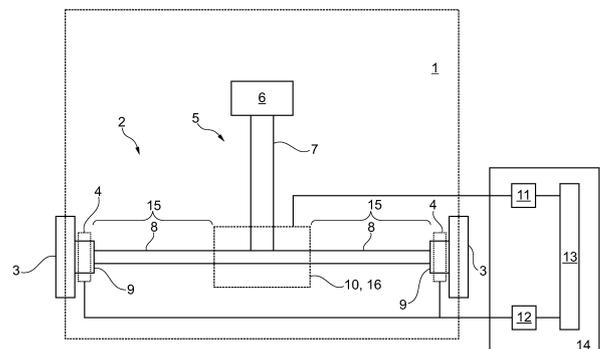
(72) Erfinder:  
**Seiffer, Alexander, 76131 Karlsruhe, DE; Römer,  
Jürgen, 76133 Karlsruhe, DE; Mayer, Marcel  
Philipp, 75305 Neuenbürg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>10 2006 026 863</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2007 043 599</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 001 136</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2009 025 058</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs sowie Fahrzeug zur Umsetzung des Verfahrens**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs (1), wobei das Fahrzeug (1) mindestens eine gelenkte Achse (2) mit angetriebenen Rädern (3) aufweist, wobei die angetriebenen Räder (3) über einen radselektiven Antrieb (4) angetrieben werden, wobei das Fahrzeug (1) ein Lenksystem (5) mit einer Lenkkrafteinrichtung (10) aufweist, wobei das Fahrzeug (1) ein erstes Lenkkraftmodul (11) zum Ansteuern der Lenkkrafteinrichtung (10) und ein zweites Lenkkraftmodul (12) zum Ansteuern des radselektiven Antriebs (4) aufweist, gekennzeichnet durch ein Aktormodul (13) zum Ansteuern des ersten und des zweiten Lenkkraftmoduls (11,12), wobei diese angesteuert werden, so dass ein Zwischenabschnitt (15) des Lenksystems (5) zwischen der Lenkkrafteinrichtung (10) und den angetriebenen Rädern (3) elastisch verspannt wird, wobei das Aktormodul (13) eine Steuereinrichtung für die Stärke der elastischen Verspannung als eine Stellgröße bildet.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung ein Fahrzeug zum Umsetzen des Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

**[0002]** Radselektive Traktionsantriebe ermöglichen durch gezieltes Verteilen der Antriebsleistung auf einzelne Räder eine Beeinflussung der Querdynamik des Fahrzeugs durch Variation vornehmlich längsdynamischer Größen. Durch die Nutzung radselektiver Traktionsantriebe an der gelenkten Achse eines Fahrzeugs kann ein Einlenken der Räder durch eine gezielte Einstellung von Differenzen der Antriebsleistung erzeugt werden.

**[0003]** In der Druckschrift DE 10 2009 025 058 A1 wird ein Kraftfahrzeug offenbart, welches eine Fahrzeuglenkung mit mechanisch bedingter Lenkübersetzung sowie mindestens eine Vorrichtung zur Verteilung eines Antriebsmoments auf die Räder einer angetriebenen Fahrzeugachse gemäß einem vorgebbaren Verteilungssollwert umfasst. Weiterhin ist ein Steuergerät vorgesehen, welches im Linearbereich der Querdynamik, in dem sich ein Normalfahrer üblicherweise bewegt, in Abhängigkeit von Signalen am Fahrzeug befindlicher Sensoren sowie im Steuergerät abgelegter Algorithmen den Verteilungssollwert derart ermittelt, dass einem über die Fahrzeuglenkung erzeugten Giermoment ein durch die mindestens eine Vorrichtung zur Verteilung eines Antriebsmoments erzeugtes zusätzliches Giermoment überlagert wird. Hierdurch lässt sich die Wirkung einer direkten, indirekten oder variablen Lenkübersetzung erzielen.

**[0004]** In der Druckschrift DE 10 2007 043 599 A1 wird bei einem Verfahren zur Durchführung eines Lenkvorganges in einem Fahrzeug vom Fahrer ein Lenkwinkel vorgegeben, der über ein Lenksystem in einen Radlenkwinkel umgesetzt wird. Mittels eines Zusatzaktuators wird eine Momentenverteilung zwischen mindestens einem linken und einem rechten Fahrzeugrad durchgeführt. Über die Momentenverteilung wird eine veränderliche Lenkübersetzung realisiert, indem über die Lenkwirkung des Zusatzaktuators auf die Fahrzeugbewegung dem vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel ein Zusatzlenkwinkel überlagert wird.

**[0005]** In der Druckschrift DE 10 2008 001 136 A1 wird ein Verfahren zum Betätigen eines Lenkaktuators in einem Fahrzeug mit einer einstellbaren Kupplung vorgestellt, die eine variable Verteilung des Antriebsmoments zwischen einem linken und einem rechten Rad ermöglicht. Gemäß der Druckschrift wird der Lenkaktor abhängig von der Kupplungseinstellung derart geregelt, dass ein durch eine Än-

derung der Momentenverteilung verursachtes, auf die Lenkung wirkendes Moment wenigstens teilweise kompensiert wird.

**[0006]** Die DE 10 2006 026 863 A1 beschreibt eine Einzelradaufhängung für ein lenkbares Rad, wobei das Rad mit einem als Schwenklager ausgebildeten Radträger verbunden ist und ein Lenkhebel einerseits fest mit dem Radträger und andererseits gelenkig mit einer Spurstange verbunden ist.

**[0007]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und ein Fahrzeug mit dem Verfahren vorzuschlagen, welche ein verbessertes Lenkverhalten bei dem Fahrzeug ermöglichen. Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch Fahrzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Bevorzugte oder vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den beigegeführten Figuren.

**[0008]** Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs. Das Fahrzeug weist mindestens oder genau eine gelenkte Achse mit angetriebenen Rädern auf. Vorzugsweise ist die gelenkte Achse als eine Vorderachse ausgebildet. Das Fahrzeug weist ein Lenksystem zur Lenkung der gelenkten und angetriebenen Achse auf. Das Lenksystem weist vorzugsweise ein Lenkrad oder eine andere Mensch-Maschinen-Schnittstelle zur Eingabe eines Lenkbefehls, eine Lenksäule, ein Lenkgetriebe auf, wobei das Lenkgetriebe über Spurstangen als Teil des Lenksystems mit Radträgern wirkverbunden ist.

**[0009]** Die Lenkung des Fahrzeuges über das Lenksystem ermöglicht dem Fahrer, Einfluss auf die Querdynamik des Fahrzeuges zu nehmen und so das Fahrzeug in die gewünschte Richtung zu steuern. Der Fahrerwunsch wird durch Drehen des Lenkrades oder der Mensch-Maschinen-Schnittstelle zur Eingabe eines Lenkbefehls in Form des Lenkradwinkels  $\phi_H$  an das Lenksystem übergeben, wobei der Fahrer ein Lenkmoment ( $M_H$ ) aufzubringen hat.

**[0010]** Das Fahrzeug weist eine Lenkkrafteinrichtung, insbesondere Lenkkraftunterstützungseinrichtung (LKU), sowie ein erstes Lenkkraftmodul zum Ansteuern der Lenkkrafteinrichtung auf. Das Lenkkraftmodul kann als ein Softwaremodul, ein Hardwaremodul oder als eine Kombination davon ausgebildet sein.

**[0011]** Bei dem Fahrzeug mit der Lenkkrafteinrichtung wird das Lenkmoment durch einen Aktor reduziert, um dem Fahrer ein komfortables Lenken zu ermöglichen. Z.B. ist vorgesehen, dass die Lenksäule die Bewegung zum Lenkgetriebe überträgt. Dort wird die rotative Bewegung der Lenksäule in eine transla-

torische Bewegung der Spurstangen überführt. Diese übertragen die Bewegung auf die Radträger, welche eine Rotation (Lenkwinkel  $\phi$ ) um die jeweilige Lenkachse ausführen.

**[0012]** Das Übersetzungsverhältnis zwischen Lenkradwinkel und Einschlagwinkel der Räder wird kinematische Lenkübersetzung

$$i_s = \frac{\phi_H}{\phi}$$

genannt. Sie bestimmt zum einen den notwendigen Lenkradwinkel, der für einen gewissen Einschlag der Räder erforderlich ist, zum anderen beeinflusst sie aber auch, wie stark die an den Rädern anliegenden Kräfte auf das Lenkrad übertragen werden. Bei eingeschlagener Lenkung eines fahrenden Fahrzeuges bauen sich am Reifen-Fahrbahn-Kontakt Kräfte auf, die die Querbewegung des Fahrzeuges beeinflussen. Die Summe der am Rad angreifenden Querkräfte wirkt in Form einer Seitenkraft und zusammen mit den Längskräften als Giernmoment (Moment um die Hochachse) auf den Fahrzeugaufbau, wodurch eine Drehung des Fahrzeuges um die Hochachse ermöglicht wird.

**[0013]** Im Folgenden werden die Kräfte betrachtet, die am Reifen-Fahrbahn-Kontakt angreifen und über Radträger, Spurstangen und Lenkgetriebe das Lenkradmoment erzeugen. Die Kräfte und ihre Angriffspunkte am Rad werden hier als gegeben betrachtet. Für eine detailliertere Betrachtung des Kraftaufbaus an der Reifenkontaktfläche wird auf die Literatur verwiesen.

**[0014]** In der **Fig. 1** sind schematisch ein linkes Vorderrad mit ausgewählten Aufhängungspunkten und Komponenten des Fahrwerks dargestellt, sowie die Kräfte, die an der Reifenaufstandsfläche (Latsch) angreifen. Die Kräfte lassen sich in die Komponenten  $F_{W,x}$  (Antriebs- bzw. Bremskraft),  $F_{W,y}$  (Seitenkraft) und  $F_{W,z}$  (Radlast) zerlegen. Mit den sich ergebenden Hebelarmen um die Lenkachse (Achse zwischen Punkten E und G) erhält man für jeden Kraftvektor ein resultierendes Moment. Die Summe dieser Momente (beider Räder) ergeben das Lenkmoment.

**[0015]** Bei herkömmlichen Antriebskonzepten, bei denen die Antriebsmomente an beiden Rädern gleich groß sind, hat gemäß z.B. Pfeffer & Harrer, 2013 die Seitenkraft  $F_{W,y}$  den größten Einfluss auf das Lenkmoment. Die Rückstellwirkung durch die Radlast  $F_w$ , z fällt dagegen gering aus (insbesondere bei schneller Kurvenfahrt) und wird hier nicht weiter betrachtet. Entscheidend für das umgesetzte Konzept der Lenkkraftunterstützung ist die Wirkung der Antriebs- bzw. Bremskraft  $F_{w,x}$  auf das Lenkmoment. Im Folgenden wird deshalb betrachtet, wie sich das Lenkmoment

aus den beiden Komponenten  $F_{W,y}$  und  $F_{w,x}$  rechnerisch bestimmen lässt.

**[0016]** Wie in der **Fig. 1** gezeigt, greift die Kraft  $F_{w,x}$  im Punkt W an und steht senkrecht zur YZ-Ebene. Um den Einfluss auf das Moment um die Lenkachse zu ermitteln, wird davon ausgegangen, dass das Antriebsmoment im Fahrzeugaufbau (und nicht im Radträger) abgestützt ist und über eine Gelenkwelle auf die Achse des Rades übertragen wird. Dies ist bei bevorzugt verwendeten, innenliegenden Antrieben der Fall, zu denen die konventionellen Antriebsstränge und die radnahen Antriebe gehören. Da das Rad nur im Radlager Kräfte auf den Radträger übertragen kann, verschiebt man zur Berechnung des Momentes die Kraft  $F_{w,x}$  in den Mittelpunkt des Rades. Der Störkrafthebelarm  $r_a$ , der senkrecht auf der Lenkachse steht, stellt damit den wirksamen Hebelarm dar, mit dem die Kraft  $F_{w,x}$  ein Moment um die Lenkachse erzeugt.

**[0017]** Hier wird im Folgenden modellhaft von kleinen Spreizungs- und Nachlaufwinkeln ausgegangen. Damit ergeben sich folgende Zusammenhänge zwischen der Antriebs- bzw. Bremskraft  $F_{w,x}$  und den dazugehörigen Komponenten des Lenkmomentes  $M_{A,a/b}$ .

$$M_{A,a} \approx F_{W,x} \cdot r_a$$

Die Seitenkraft  $F_{W,y}$  greift nicht im Punkt W, sondern in einem um den Reifennachlauf  $r_{\tau,T}$  verschobenen Punkt. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang für die von der Seitenkraft induzierte Komponente des Lenkmomentes  $M_S$ :

$$M_S \approx F_{W,y} \cdot (r_{\tau,k} + r_{\tau,T})$$

Beim Konzept einer Lenkkraftunterstützung mittels radselektiver Antriebe wird das Lenkradmoment dadurch reduziert, dass das Antriebsmoment in geeigneter Weise auf die beiden Räder der gelenkten Achse verteilt wird. Bei der folgenden Herleitung wird zum Zwecke einer anschaulicheren Betrachtung davon ausgegangen, dass der Spreizungswinkel und der Nachlaufwinkel  $0^\circ$  betragen, die Nachlaufstrecke  $r_\tau$  und die Lenkübersetzung  $i_s$  konstant sind und der Lenkwinkel beider Räder identisch ist.

**[0018]** Beim Durchfahren einer Linkskurve ergeben sich die in **Fig. 2** links dargestellten Kräfte auf das Lenksystem. Das Antriebsmoment wird gleichmäßig auf beide Räder verteilt, wodurch an jedem Rad die Antriebskraft  $F_{A,l}=F_{A,r}$  anliegt. Bei der Kurvenfahrt bauen sich die Seitenkräfte  $F_{S,l}$  und  $F_{S,r}$  auf. Für das Lenkradmoment erhält man unter diesen Bedingungen:

$$M_H = \frac{1}{i_s} \left[ r_r \cdot (F_{s,l} + F_{s,r}) + \underbrace{r_a (F_{A,l} - F_{A,r})}_{=0} \right]$$

bei gleichmäßig verteiltem Antriebsmoment  
<math>\lt;math>

bei Verlagerung des Antriebsmomentes auf das rechte Rad

**[0019]** Die beiden Seitenkräfte tragen jeweils mit gleichem Vorzeichen zum Gesamtmoment bei, wohingegen die Antriebskräfte eine positive und eine negative Komponente

ergeben. Bei gleichmäßiger Verteilung der Antriebskräfte hebt sich deren Wirkung gegenseitig auf. An dieser Stelle knüpft das Konzept einer Lenkkraftunterstützung mittels radselektiver Antriebe an. Durch Verlagerung des Antriebsmomentes auf das kurvenäußere Rad (**Fig. 2**, rechts) erzeugen die beiden Antriebskräfte ein Moment um die Lenkachse, welches dem Moment der Seitenkraft entgegenwirkt.

**[0020]** Die Umverteilung der Antriebsmomente hat des Weiteren auch Einfluss auf die Fahrzeugquerdynamik, da die beiden Kraftvektoren  $F_{A,l}$  und  $F_{A,r}$  einen Beitrag zum Giermoment (Moment um die z-Achse des Fahrzeugs) leisten (siehe Torque Vectoring).

**[0021]** Torque Vectoring bezeichnet ein Verfahren, bei dem die Antriebsmomentverteilung eines Fahrzeuges variabel an jedem Rad vorgegeben werden kann, um damit entsprechend der Fahrsituation das Fahrzeugverhalten zu optimieren. Dies wird bei konventionellen Antrieben mit Verbrennungsmotor entweder über zwei regelbare Kupplungen oder über ein Überlagerungsgetriebe (Achsverteilergetriebe) umgesetzt.

**[0022]** Bei dem erfindungsgemäßen Fahrzeug mit einem radselektiven Antrieb, insbesondere mit radindividuellen elektrischen Antrieben, kann Torque Vectoring über das Ansteuern der einzelnen Radantriebe realisiert werden. Zur Ansteuerung des radselektiven Antriebs weist das Fahrzeug ein zweites Lenkkraftmodul auf. Das zweite Lenkkraftmodul kann in den gleichen Varianten wie das erste Lenkkraftmodul aufgebaut sein. Mittels Torque Vectoring wird die Fahrdynamik, insbesondere das Giermoment, beeinflusst, wodurch sich optional folgende Anwendungen ergeben:

- Agilitätssteigerung (zusätzliches Giermoment zur Verbesserung des Einlenkverhaltens)
- Gierdämpfung (stabilisierendes Giermoment, der Gierrate entgegengesetzt)
- Erhöhung der Fahrsicherheit
- Verbesserung des Komforts

**[0023]** Ein weiterer Effekt des Torque Vectorings ist die mögliche Reduktion des Lenkwinkelbedarfs in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung. Neben

dem Torque Vectoring stellt das „Elektronische Stabilitätsprogramm“ (ESP) eine weitere Möglichkeit der Fahrdynamikregelung dar. Beim ESP wird aber ausschließlich durch Abbremsen einzelner Räder das Giermoment beeinflusst. Torque Vectoring kann somit als Erweiterung der Fahrdynamikregelung für den Antriebszustand gesehen werden.

**[0024]** Bei einer Lenkkraftunterstützung mittels radselektivem Antrieb wird Torque Vectoring an der gelenkten Achse eingesetzt, wobei konventionell die Reduktion des Lenkradmomentes im Vordergrund steht. Die Beeinflussung des Giermoments ist dabei zwangsweise auch vorhanden, sodass oben genannte Effekte ebenfalls in Erscheinung treten können.

**[0025]** Die Lenkkrafteinrichtung dient dazu, das vom Fahrer aufzubringende Lenkradmoment auf ein gewünschtes Maß zu reduzieren. Vorzugswiese werden zwei Grundbauarten unterschieden, die alternativ verwendet werden können: die hydraulisch unterstützten Lenksysteme (HPS, hydraulic power steering) und die elektrisch unterstützten Lenksysteme (EPS, electric power steering), welche der Standard in aktuellen PKWs sind. Bei einer elektromechanischen Lenkungsanlage wird das Unterstützungsmoment der Lenkkrafteinrichtung durch einen Elektromotor bereitgestellt und je nach Bauart direkt an der Lenksäule oder im Lenkgetriebe eingeleitet. Das Lenkradmoment wird über einen Drehmomentsensor gemessen und an ein Steuergerät gemeldet. Dieses berechnet daraus das nötige Unterstützungsmoment, das der Elektromotor erzeugt und über ein Getriebe in das Lenksystem einleitet. Des Weiteren kann mit einem EPS-System über das Steuergerät auch eine Vielzahl an Zusatzfunktionen realisiert werden, die den Einsatz von modernen Fahrerassistenzsystemen ermöglichen (z. B. Parkassistent, Spurhalteassistent).

**[0026]** Optional ergänzend ist eine Überlagerungslenkung vorgesehen. Die Überlagerungslenkung verändert die Lenkübersetzung, indem sie zusätzlich zu dem vom Fahrer gestellten Lenkradwinkel in einem Überlagerungsgetriebe einen Stellwinkel einbringt, ohne den Lenkradwinkel zu verändern. Dadurch wird in Abhängigkeit vom Fahrzustand die Direktheit der Lenkung angepasst. Somit können ein stabiles, indirektes Lenkverhalten (große Lenkübersetzung) bei hohen Geschwindigkeiten und ein direktes, agiles Lenken (kleine Lenkübersetzung) bei Stadtfahrten und beim Einparken realisiert werden. Auch stabilisierende Lenkeingriffe der Assistenzsysteme sind ohne störende Rückmeldung an den Fahrer möglich. Die Überlagerungslenkung wird bevorzugt mit den zuvor beschriebenen Komponenten umgesetzt.

**[0027]** Im Rahmen der Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Fahrzeug ein Aktormodul aufweist,

wobei das Aktormodul programmtechnisch und/oder schaltungstechnisch ausgebildet ist, das erste und das zweite Lenkkraftmodul anzusteuern. Das Aktormodul kann als ein Softwaremodul und/oder als ein Hardwaremodul ausgebildet sein.

**[0028]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Aktormodul die beiden anderen Module derart ansteuert, dass ein Zwischenabschnitt des Lenksystems zwischen der Lenkkrafteinrichtung und den angetriebenen Rädern elastisch verspannt wird. Das Aktormodul bildet eine Steuereinrichtung zur Kontrolle der Stärke der elastischen Verspannung. Insbesondere wird ein Steuer- und/oder Regelkreis gebildet, wobei die Stärke der elastischen Verspannung eine Stellgröße bildet. Die Stärke der elastischen Verspannung kann beispielsweise als eine elastische Verformung der Spurstangen hervorgebracht durch Axialkräfte in den Spurstangen als Teil des Zwischenabschnitts ausgebildet sein. Beispielsweise kann ein Wert für die elastische Verspannung als ein Sollwert z.B. von einem einer Steuereinrichtung über eine Schnittstelle vorgegeben werden, welcher dann über das Aktormodul als Steuereinrichtung eingestellt wird.

**[0029]** Es ist dabei eine Überlegung der Erfindung, dass durch eine gezielte und gemeinsame Ansteuerung des ersten und des zweiten Lenkkraftmoduls die Stärke der elastischen Verspannung gezielt eingestellt und dadurch in die Fahrzeugdynamik eingegriffen werden kann. Insbesondere werden durch den Einsatz einer Lenkkraftunterstützung mittels radselektiver Antriebe die elastokinematischen Effekte im Lenksystem reduziert, da die Unterstützungskraft direkt am Radaufstandspunkt eingebracht wird. Dadurch wird das gesamte Lenksystem entlastet, was geringere elastische Verformungen zur Folge hat. Bei der konventionellen Lenkkraftunterstützungseinrichtung hingegen wird nur der Teil des Lenksystems entlastet, der sich zwischen Lenkrad und Lenkkraftunterstützungseinrichtung befindet.

**[0030]** Ein gezieltes Ausnutzen dieses Effektes in Kombination mit dem auftretenden Torque-Vectoring ermöglicht eine gezielte Beeinflussung der Direktheit des Fahrzeugs und/oder eine Variation des Lenkwinkelbedarfs.

**[0031]** Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist durch das Aktormodul eine Verspannung des Zwischenabschnitts einstellbar. Vorzugsweise wird die Verspannung des Zwischenabschnitts in Abhängigkeit einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs eingestellt. Vorzugsweise wird die Verspannung bei konstanter Geschwindigkeit konstant gehalten. In dieser Ausgestaltung ist es möglich, bei einer Lenkwinkeländerung bei niedriger Geschwindigkeit (z.B. kleiner als 30km/h) eine geringere Verspannung in dem Zwischenabschnitt und somit eine resultierende hö-

here Direktheit in dem Lenksystem einzustellen und erst bei einer Lenkwinkeländerung bei höheren Geschwindigkeiten (z.B. größer als 100 km/h) die Verspannung zu erhöhen und insbesondere die Direktheit zu erniedrigen.

**[0032]** Es ist besonders bevorzugt, dass das Aktormodul ausgebildet ist, das erste Lenkkraftmodul zum Ändern des Lenkwinkels in eine erste Richtung und zeitgleich das zweite Lenkkraftmodul zum Ändern des Lenkwinkels in eine zweite Richtung anzusteuern. Alternativ oder ergänzend werden die beiden Lenkkraftmodule angesteuert, den Lenkwinkel in gegensinnige Richtungen zu verdrehen. Durch das gegensinnige Verdrehen wird der Zwischenabschnitt des Lenksystems zwischen dem radselektiven Antrieb und der Lenkkrafteinrichtung elastisch verspannt.

**[0033]** Bei einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass das Aktormodul eine Eingangsschnittstelle zur Übernahme einer Information über eine überlagerte Lenkwinkeländerung aufweist, wobei das Aktormodul ausgebildet ist, in Abhängigkeit der überlagerten Lenkwinkeländerung als eine Eingangsgröße das erste und das zweite Lenkkraftmodul anzusteuern, so dass der überlagerte Lenkwinkel realisiert und die daraus resultierende Lenkradwinkeländerung kompensiert und/oder verkleinert ist. Vorzugsweise weist das Fahrzeug ein Assistenzsystem auf, welche die Lenkwinkeländerung einleitet.

**[0034]** In Kombination mit einem derartigen Assistenzsystemen, das Lenkkorrekturen ausführt (z.B. Spurhalteassistent) können somit weitere Effekte ausgenutzt werden: Durch Kombination der Lenkkraftunterstützung mittels radselektiver Antriebe mit der Lenkkrafteinrichtung ergeben sich zwei Möglichkeiten zur Einleitung der Unterstützungskraft. Diese befinden sich zum einen im Rad-Straße-Kontakt und zum anderen im Lenksystem. Das am Lenkrad anliegende Lenkradmoment kann durch Kombination der beiden Unterstützungskräfte beeinflusst werden. Dadurch ergibt sich ein weiterer Freiheitsgrad, welcher bei vorgegebenem Lenkradmoment eine beliebige Verteilung der beiden Unterstützungskräfte zulässt. Die Verteilung der Unterstützungskräfte beeinflusst wiederum die Belastung des Lenksystems zwischen dem Radaufstandspunkt und der Lenkkrafteinrichtung. Da diese Belastung zu einer elastischen Deformation und damit zu einem Differenzwinkel führt, lässt sich auf diese Weise gezielt ein Differenzwinkel aufprägen ohne das Lenkradmoment und somit den Fahrer zu beeinflussen. Dies hat einen erhöhten Komfort bei Assistenzsystemen (bspw. Spurhalteassistent) zur Folge, da die Lenkkrafteinrichtung und/oder der radselektive Antrieb Rückwirkungen des durch die radselektiven Antriebe erzeugten Lenkeingriffs auf den Fahrer kompensieren kann.

**[0035]** Prinzipiell kann der radselektive Antrieb z.B. als zwei voneinander unabhängig ausgebildete radnahe Antriebe ausgebildet sein.

**[0036]** Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist der radselektive Antrieb als zwei Elektromotoren ausgebildet, wobei jedem der angetriebenen Räder ein Elektromotor zugeordnet ist. Insbesondere sind die Elektromotoren als Radnabenmotoren ausgebildet. In dieser Ausgestaltung sind keine konstruktiven Ergänzungen notwendig, um den radselektiven Antrieb für eine Steuerung der Lenkkräfte zu verwenden.

**[0037]** Einen weiteren Gegenstand der Erfindung betrifft ein Fahrzeug, welches wie zuvor beschrieben realisiert ist. Das Fahrzeug ist zur Umsetzung des zuvor beschriebenen Verfahrens ausgebildet.

**[0038]** Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung sowie der Figuren. Diese zeigen:

**Fig. 1** Reifen-Fahrbahn-Kontakt angreifende Kräfte am Beispiel des linken Vorderrades nach Pfeffer, P., & Harrer, M. (Hrsg.). (2013). Lenkungshandbuch : Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen. Wiesbaden: Springer Vieweg;

**Fig. 2** Funktionsprinzip einer Lenkkraftunterstützung mittels radselektiver Antriebe; links ohne und rechts mit Lenkkraftunterstützung; Lenkgeometrie vereinfacht (Spreizungswinkel  $0^\circ$ , Nachlaufwinkel  $0^\circ$ );

**Fig. 3** Lineares Einspurmodell einer Lenkung, stationäre Kreisfahrt;

**Fig. 4** Graph zur Darstellung von dem Lenkwinkel über den Lenkradwinkel, Einflüsse des Torque Vectoring und der Elastokinematik;

**Fig. 5** Graph zur Illustration der Reduktion der Auswirkung des Lenkeingriffs am Lenkrad;

**Fig. 6** schematische Darstellung eines Fahrzeugs zur Umsetzung des Verfahrens.

**[0039]** Zum Durchfahren einer Kurve mit definiertem Radius  $R$  wird (gemäß Einspurmodell, **Fig. 3**) bei einem Fahrzeug mit Radstand  $l$  ein Lenkwinkel  $\delta$  bestehend aus Ackermann-Lenkswinkel und Differenz der Schräglaufwinkel  $\alpha_v$  und  $\alpha_h$  benötigt:

$$\delta = \frac{l}{R} + \alpha_v - \alpha_h$$

Zwischen Lenkradwinkel und Lenkwinkel besteht aufgrund kinematischer Zusammenhänge/Ketten im Lenksystem eine definierte Abhängigkeit. Wird das

System als starr betrachtet und treten keine elastischen Effekte auf, wird dieser Zusammenhang als Lenkübersetzung bezeichnet. Das Verhältnis zwischen Lenkradwinkel und Lenkwinkel ist im Allgemeinen während des Fahrbetriebs jedoch aufgrund elastischer Verformungen des Lenksystems inkl. Radträger (Kräfte auf Radaufhängung) nicht konstant. Diese elastischen Verformungen wirken einer Lenkbewegung entgegen, das Lenksystem wird in eine Geradeausstellung „gedrückt“. Je größer die das Lenkmoment beeinflussenden Kräfte sind, desto größer ist die elastische Verformung und damit der Lenkaufwand des Fahrers. Das heißt, dass der benötigte Lenkradwinkel zum Durchfahren einer Kurve hierdurch vergrößert wird. Der zum Erreichen eines Lenkwinkels am Rad notwendige Lenkradwinkel wird im Folgenden als Lenkradwinkelbedarf bezeichnet.

**[0040]** Dieser Lenkradwinkelbedarf wird des Weiteren durch das mittels radselektiver Antriebe erzeugte Torque Vectoring beeinflusst. Das durch das Torque Vectoring hervorgerufene (und die Kurvenfahrt begünstigende) Giermoment reduziert einerseits den vorderen Schräglaufwinkel und erhöht andererseits den hinteren Schräglaufwinkel. Wie aus der eingangs erwähnten Beziehung deutlich wird, wird dadurch der Lenkwinkel zum Erreichen des gleichen Kurvenradius geringer als bei konventionellen Systemen. Weiterhin werden durch die Reduktion des vorderen Schräglaufwinkels die Seitenkräfte vorne reduziert. Dies hat eine Reduktion der Rückstellkräfte und damit einen weiteren Einfluss auf das Lenkmoment/Lenkradmoment zur Folge. Ebenso wird der elastokinematische Effekt beeinflusst, was eine nochmalige Verringerung des Lenkradwinkelbedarfs zur Folge hat. In **Fig. 4** werden diese beiden Effekte schematisch dargestellt. Bei gleich bleibendem Lenkradwinkel wird durch das Torque Vectoring der wirkende Lenkwinkel erhöht bzw. wird bei gleichem Kurvenradius der notwendige Lenkradwinkel verringert. Ein gegenläufiger Effekt wird durch die elastokinematischen Effekte erzielt. Hierbei wird bei gleich bleibendem Lenkradwinkel der wirkende Lenkwinkel reduziert bzw. der zur Durchfahrt eines gleichen Kurvenradius benötigte Lenkradwinkel erhöht.

**[0041]** Der mittels elastischem Verspannen realisierbare Korrekturwinkel ist wegen der limitierenden Festigkeiten der Komponenten des Lenksystems begrenzt. Das System ist aber in der Lage kleine Korrekturen ohne Rückwirkung auf den Fahrer durchzuführen und kann bei größeren Lenkwinkelkorrekturen diese gedämpft und in reduziertem Umfang an den Fahrer weiterleiten. Somit ist eine Glättung des durch Assistenzsysteme hervorgerufenen Lenkradwinkelverlaufs und eine damit verbundene Steigerung des Fahrkomforts realisierbar.

**[0042]** In der **Fig. 5** ist zunächst eine Situation A gezeigt, wobei durch das Assistenzsystem eine Lenk-

winkeländerung bewirkt, was durch den Ausschlag der Kurve nach oben zu erkennen ist. Durch das elastische Verspannen wurde der Korrekturingriff vollständig kompensiert, so dass an dem Lenkradwinkel keine Änderung zu erkennen ist. In der Situation B ist die Lenkwinkeländerung jedoch stärker ausgefallen, so dass eine vollständige Kompensation der Auswirkung auf den Lenkradwinkel nicht möglich ist. In der Situation B erfolgte somit nur eine Dämpfung des Korrekturingriffs an dem Lenkradwinkel. Bei den gezeigten Fällen wird die spürbare Wirkung des Korrekturingriffs an dem Lenkrad entweder vollständig unterdrückt (Situation A) oder zumindest teilweise unterdrückt (Situation B). Bei der Grafik wird davon ausgegangen, dass der Lenkwinkel um  $\pm 0,3^\circ$  gestellt werden kann, die kinematische Lenkübersetzung ist konstant und beträgt 13.

**[0043]** Die Fig. 6 zeigt in einer schematischen Darstellung ein Fahrzeug 1 zur Umsetzung des zu vorbeschriebenen Verfahrens. Das Fahrzeug 1 weist eine gelenkte Achse 2 sowie eine nicht gelenkte Achse (nicht dargestellt) auf. An der gelenkten Achse 2 sind angetriebene Räder 3 angeordnet, wobei die angetriebenen Räder 3 durch einen radselektiven Antrieb angetrieben werden, welche durch zwei Elektromotoren 4 realisiert ist. Die Elektromotoren 4 sind unmittelbar an den angetriebenen Rädern 3 angeordnet. Beispielsweise sind die Elektromotoren 4 als Radnabentmotoren ausgebildet. Jeden den angetriebenen Räder 3 ist ein Elektromotor 4 exklusiv zugeordnet.

**[0044]** Das Fahrzeug 1 weist ein Lenksystem 5 auf, welches ein Lenkrad 6 zur Betätigung für den Fahrer, eine Lenksäule 7 sowie Kopplungselemente, ausgebildet als Spurstangen 8, zur Übertragung des Lenkmoments an Radträger 9 aufweist. Das Lenksystem 5 weist eine Lenkkrafteinrichtung 10 auf, welche ergänzend oder auch ausschließlich ein Lenkmoment in das Lenksystem 5 einbringen kann.

**[0045]** Zur Steuerung der Lenkkrafteinrichtung 10 weist das Fahrzeug 1 ein erstes Lenkkraftmodul 11 auf. Zum Ansteuern des radselektiven Antriebs weist das Fahrzeug 1 ein zweites Lenkkraftmodul 12 auf. Ferner weist das Fahrzeug 1 ein Aktormodul 13 auf, welches ausgebildet ist, das erste und das zweite Lenkkraftmodul 11, 12 zu kontrollieren. Beispielsweise sind die Lenkkraftmodule 11, 12 und das Aktormodul 13 in eine Steuereinrichtung 14 integriert. Die Steuereinrichtung 14 kann eine zentrale Steuereinrichtung des Fahrzeugs 1 sein, es kann sich jedoch auch um dezentrale Steuerungsmodule handeln.

**[0046]** Zwischen der Lenkkrafteinrichtung 10 und den angetriebenen Rädern 3 ist ein Zwischenabschnitt 15 des Lenksystems 5 angeordnet. Das Aktormodul 13 ist ausgebildet, das erste und das zweite Lenkkraftmodul 11, 12 so anzusteuern, dass der Zwischenabschnitt 15 elastisch verspannt wird. Dies wird erreicht,

indem die Lenkkrafteinrichtung 10 und der radselektive Antrieb so angesteuert werden, dass ein gegenläufiger Lenkwinkel an den angetriebenen Rädern 3 erzeugt würde. Durch das Verspannen des Zwischenabschnitts 15 ist das möglich, die Direktheit des Lenksystems 5 zu beeinflussen oder Eingriffe von Assistenzsystemen 16, welche zu einer Lenkwinkeländerung führen, so zu dämpfen oder zu kompensieren, dass es zu keiner Lenkradwinkeländerung oder nur zu einer gedämpften Lenkradwinkeländerung kommt.

#### Bezugszeichenliste

1	Fahrzeug
2	gelenkte Achse
3	angetriebene Räder
4	Elektromotor des radselektiven Antriebs
5	Lenksystem
6	Lenkrad
7	Lenksäule
8	Spurstangen
9	Radträger
10	Lenkkrafteinrichtung
11	erstes Lenkkraftmodul
12	zweites Lenkkraftmodul
13	Aktormodul
14	Steuereinrichtung
15	Zwischenabschnitt
16	Fahrerassistenzsystem

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs (1), wobei das Fahrzeug (1) mindestens eine gelenkte Achse (2) mit angetriebenen Rädern (3) aufweist, wobei die angetriebenen Räder (3) über einen radselektiven Antrieb (4) angetrieben werden, wobei das Fahrzeug (1) ein Lenksystem (5) mit einer Lenkkrafteinrichtung (10) aufweist, wobei das Fahrzeug (1) ein erstes Lenkkraftmodul (11) zum Ansteuern der Lenkkrafteinrichtung (10) und ein zweites Lenkkraftmodul (12) zum Ansteuern des radselektiven Antriebs (4) aufweist, **gekennzeichnet durch** ein Aktormodul (13) zum Ansteuern des ersten und des zweiten Lenkkraftmoduls (11,12), wobei diese angesteuert werden, so dass ein Zwischenabschnitt (15) des Lenksystems (5) zwischen der Lenkkrafteinrichtung (10) und den angetriebenen Rädern (3) elastisch verspannt wird, wobei das Aktormodul (13) eine Steuereinrichtung für die Stärke der elastischen Verspannung als eine Stellgröße bildet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Aktormodul (13) eine Verspannung des Zwischenabschnitts (15) einstellbar ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aktormodul (13) ausgebildet ist, das erste Lenkkraftmodul (11) zum Ändern des Lenkwinkels in eine erste Richtung und zeitgleich das zweite Lenkkraftmodul (12) zum Ändern des Lenkwinkels in eine zweite Richtung anzusteuern, so dass der Zwischenabschnitt (15) des Lenksystems (5) zwischen dem radselektiven Antrieb (4) und der Lenkkrafteinrichtung (10) elastisch verspannt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aktormodul (13) eine Eingangsschnittstelle für eine Fahrzeuggeschwindigkeit aufweist, wobei die Verspannung in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit als eine Eingangsgröße eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aktormodul (13) eine Eingangsschnittstelle zur Übernahme einer Information über eine überlagerte Lenkwinkeländerung aufweist, wobei das Aktormodul (13) ausgebildet ist, in Abhängigkeit der überlagerten Lenkwinkeländerung als eine Eingangsgröße das erste und das zweite Lenkkraftmodul (11,12) anzusteuern, so dass der überlagerte Lenkwinkel unverändert und die daraus resultierende Lenkradwinkeländerung kompensiert und/oder verkleinert ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lenkwinkeländerung durch ein Fahrerassistenzsystem (16) eingeleitet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elastische Verspannung zeitgleich und/oder synchronisiert zu der überlagerten Lenkwinkeländerung durchgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lenkkrafteinrichtung (10) fremdenergiebetrieben ist und insbesondere als eine elektrische oder als eine pneumatische oder als eine hydraulische Lenkkrafteinrichtung ausgebildet ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der radselektive Antrieb zwei Elektromotoren (4) aufweist, wobei jedem der angetriebenen Räder (3) ein Elektromotor (4) zugeordnet ist.

10. Fahrzeug mit einer gelenkten Achse (2) mit zwei angetriebenen Rädern (3), wobei die angetrie-

benen Räder (3) über einen radselektiven Antrieb (4) angetrieben werden, mit einem Lenksystem (5), wobei das Lenksystem (5) eine Lenkkrafteinrichtung (10) aufweist, mit einem ersten Lenkkraftmodul (11) zum Ansteuern der Lenkkrafteinrichtung (10) und mit einem zweiten Lenkkraftmodul (12) zum Ansteuern des radselektiven Antriebs (4), **gekennzeichnet durch** ein Aktormodul (13) zum Ansteuern des ersten und des zweiten Lenkkraftmoduls (11,12), wobei das Aktormodul (13) ausgebildet ist, diese anzusteuern, so dass ein Zwischenabschnitt (15) des Lenksystems (5) zwischen der Lenkkrafteinrichtung (10) und den angetriebenen Rädern (3) elastisch verspannt wird, wobei das Aktormodul (13) eine Steuereinrichtung für die Stärke der elastischen Verspannung als eine Stellgröße bildet.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen



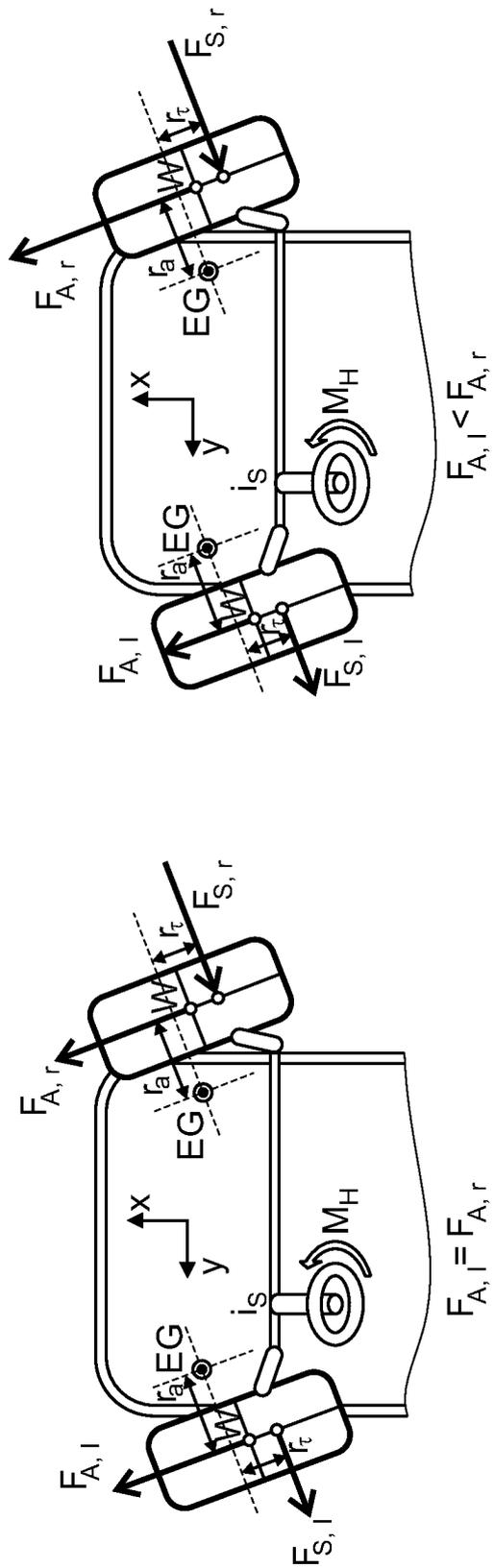


Fig. 2

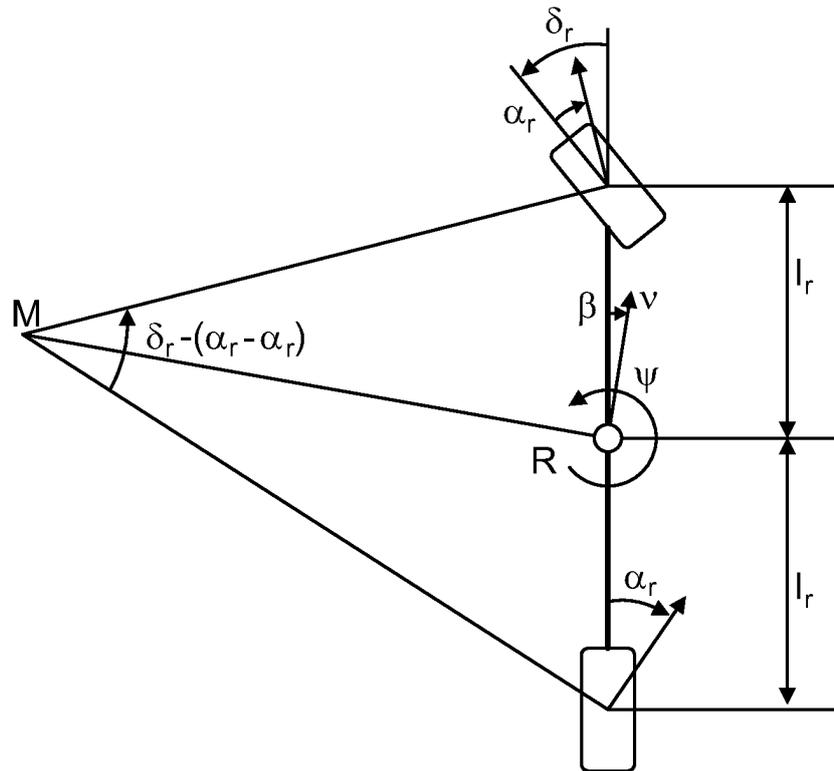


Fig. 3

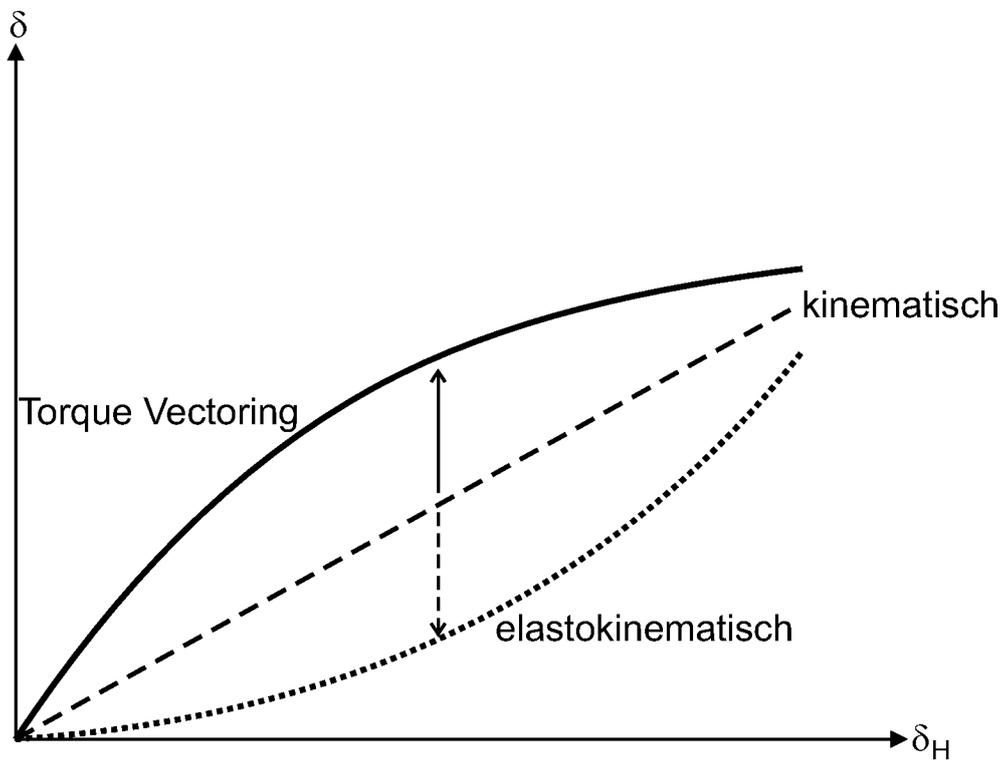


Fig. 4

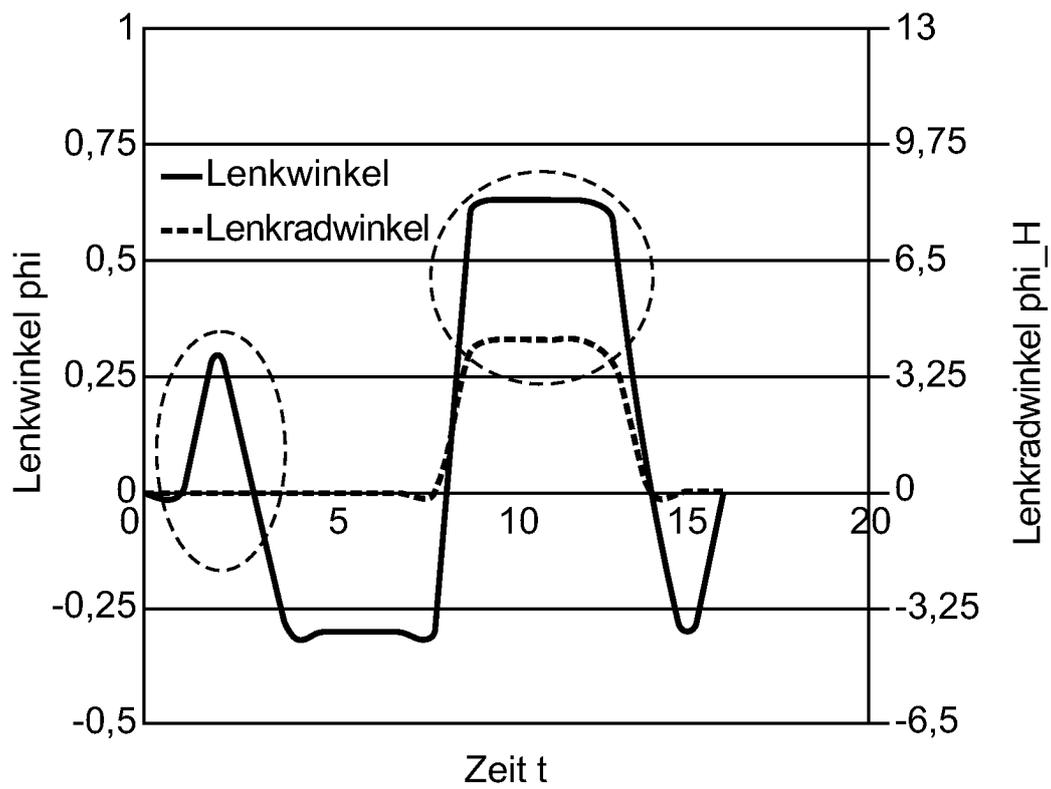


Fig. 5

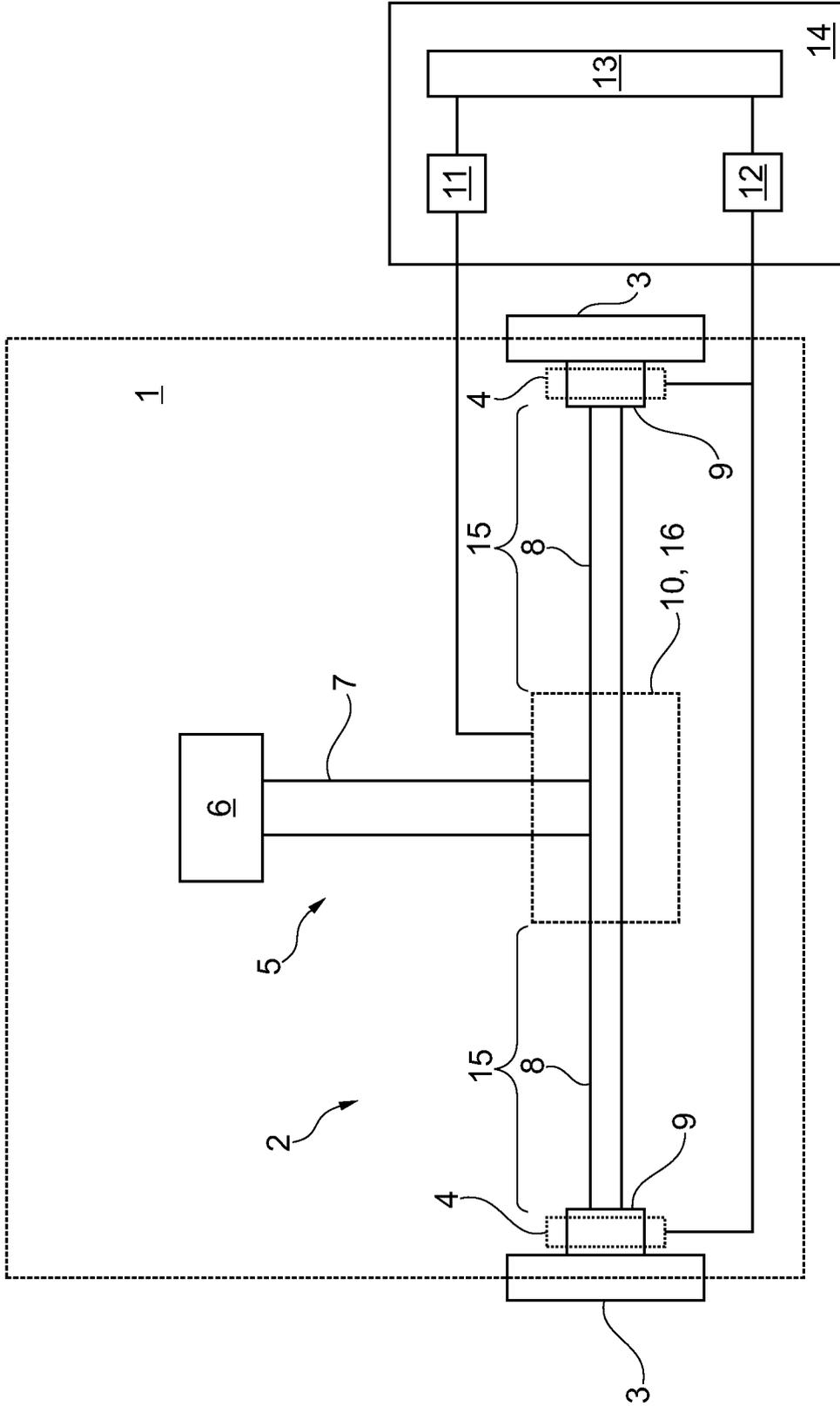


Fig. 6