



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 007 715.6**

(22) Anmeldetag: **07.11.2019**

(43) Offenlegungstag: **12.05.2021**

(51) Int Cl.: **B62D 5/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Daimler AG, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Rupp, Matthias, Dipl.-Ing. (FH), 71272 Renningen,
DE; Schreiner, Peter, Dipl.-Ing. (TH), 72119
Ammerbuch, DE; Michalski, Ralph, Dipl.-Ing. (FH),
71735 Eberdingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	103 52 494	A1
DE	198 34 870	A1
DE	10 2004 034 126	A1
DE	10 2017 203 748	A1
EP	1 219 525	A2

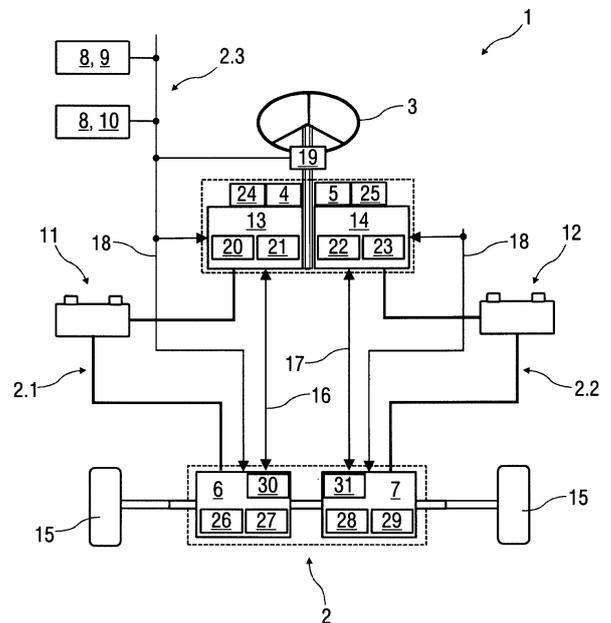
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Steer by Wire System**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Steer-by-Wire-System (2) für ein Fahrzeug (1), umfassend ein erstes Subsystem (2.1) und ein zweites Subsystem (2.2), welche voneinander unabhängig sind und jeweils ausgebildet sind zur Erfassung eines Lenkhandhabewinkels einer Lenkhandhabe (3) des Fahrzeugs (1) mittels jeweils eines Lenkhandhabewinkelsensors (4, 5) und zum Lenken des Fahrzeugs (1) durch Einstellung eines Radwinkels mindestens eines Rades (15) des Fahrzeugs (1) in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels jeweils einer Lenkaktoreinheit (6, 7).

Erfindungsgemäß umfasst das Steer-by-Wire-System (2) ein von den beiden Subsystemen (2.1, 2.2) unabhängiges drittes Subsystem (2.3), welches ausgebildet ist zur Erfassung des Lenkhandhabewinkels der Lenkhandhabe (3) des Fahrzeugs (1) mittels eines dritten Lenkhandhabewinkelsensors (19) und zum Lenken des Fahrzeugs (1) in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels mindestens eines vom ersten Subsystem (2.1) und zweiten Subsystem (2.2) unabhängigen Querführungsbeeinflussungssystems (8).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Steer-by-Wire-System nach den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist, wie in der EP 1 219 525 A2 beschrieben, ein redundantes Steer-by-Wire-System bekannt. Das Steer-by-Wire-System umfasst ein erstes Netzwerk, welches mit einem ersten Controllerpaar für mindestens ein erstes Motorpaar verbunden ist. Das Steer-by-Wire-System umfasst ferner ein zweites Netzwerk, das vom ersten Netzwerk unabhängig ist. Das zweite Netzwerk ist mit einem zweiten Controllerpaar verbunden, das ein zweites Motorpaar in Verbindung mit dem ersten Netzwerk steuert. Schließlich umfasst das Steer-by-Wire-System ein drittes Netzwerk, das mit dem ersten Controllerpaar und dem zweiten Controllerpaar verbunden ist, wobei Informationen über das dritte Netzwerk unabhängig von dem ersten Netzwerk und dem zweiten Netzwerk übertragen werden.

[0003] In der DE 10 2017 203 748 A1 werden ein Steer-by-Wire-System und ein Verfahren zum Datenaustausch in einem Steer-by-Wire-System beschrieben. Das Steer-by-Wire-System umfasst ein erstes Steuergerät, das mindestens einen Lenk-Aktuator steuert, und mindestens ein zweites Steuergerät, das mindestens einen Aktuator an einer Lenkhandhabe steuert, um ein haptisches Moment zu erzeugen. Dem zweiten Steuergerät ist eine Sensorik zur Erfassung eines Lenkradwinkels zugeordnet. Das erste Steuergerät ist mit einem ersten Bussystem verbunden. Das zweite Steuergerät ist mit einem zweiten Bussystem verbunden. Die beiden Bussysteme sind über ein Gateway-Steuergerät miteinander verbunden. Das erste Steuergerät und das zweite Steuergerät sind über ein drittes Bussystem direkt miteinander verbunden.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Steer-by-Wire-System anzugeben.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Steer-by-Wire-System mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0006] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0007] Ein Steer-by-Wire-System für ein Fahrzeug umfasst ein erstes Subsystem und ein zweites Subsystem, welche voneinander unabhängig sind und jeweils ausgebildet sind zur Erfassung eines Lenkhandhabewinkels einer Lenkhandhabe, insbesondere eines Lenkrads, des Fahrzeugs mittels jeweils eines Lenkhandhabewinkelsensors und zum Lenken des Fahrzeugs durch Einstellung eines Radwin-

kels mindestens eines Rades des Fahrzeugs, insbesondere mindestens zweier Räder mindestens einer Achse, insbesondere mindestens einer Vorderachse, des Fahrzeugs, in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels jeweils einer Lenkaktoreinheit, auch als Lenkaktoreinheit bezeichnet.

[0008] Erfindungsgemäß umfasst das Steer-by-Wire-System ein von den beiden Subsystemen unabhängiges drittes Subsystem, welches ausgebildet ist zur Erfassung des Lenkhandhabewinkels der Lenkhandhabe des Fahrzeugs mittels eines dritten Lenkhandhabewinkelsensors und zum Lenken des Fahrzeugs in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels mindestens eines vom ersten Subsystem und zweiten Subsystem, zumindest von den beiden Lenkaktoreinheiten, unabhängigen Querführungsbeeinflussungssystems.

[0009] Der Begriff Steer-by-Wire-System bedeutet, dass keine mechanische Wirkverbindung zwischen der beispielsweise als Lenkrad oder auf andere Weise ausgebildeten Lenkhandhabe und der jeweiligen Lenkaktoreinheit besteht. Die jeweilige Lenkaktoreinheit bringt beispielsweise eine Kraft auf eine Zahnstange oder ein anderes mit dem mindestens einen Rad oder den mehreren Rädern verbundenes Lenkelement auf, um das mindestens eine Rad oder die mehreren Räder entsprechend dem erfassten Lenkhandhabewinkel auszulenkten, d. h. einen entsprechenden Radwinkel einzustellen. Hierzu wird aus dem erfassten Lenkhandhabewinkel beispielsweise ein Sollradwinkel ermittelt und an die jeweilige Lenkaktoreinheit übermittelt oder es wird beispielsweise der Lenkhandhabewinkel an die Lenkaktoreinheit übermittelt und dort der Sollradwinkel ermittelt.

[0010] Das Steer-by-Wire-System ermöglicht eine rein elektrische Erfassung eines Lenkwunsches, insbesondere eines Fahrzeugführers, und eine rein elektrische Übertragung in ein Lenkgetriebe des Fahrzeugs zur Umsetzung einer entsprechenden Kraft an der Zahnstange oder dem anders ausgebildeten Lenkelement. Dadurch können eine mechanische Lenksäule und alle damit verbundenen Nachteile und Restriktionen entfallen.

[0011] Durch die erfindungsgemäße Lösung wird auf besonders vorteilhafte Weise ein vollständig fehler-tolerantes Steer-by-Wire-System realisiert, bei dem nach Auftreten eines Fehlers eine Lenkbarkeit des Fahrzeugs durch die Redundanz des ersten und zweiten Subsystems und zusätzlich durch das dritte Subsystem auch ohne Verwendung einer mechanischen Lenksäule sichergestellt werden kann. Die erfindungsgemäße Lösung ist insbesondere ein Fail-Operational-System, d. h. ein Steer-by-Wire-System, welches auch bei Auftreten eines Fehlers, d. h. bei einem Einfachfehler, weiterhin funktionsfähig ist und somit weiterhin die Lenkfunktion des Fahrzeugs er-

hält. Zudem ist es vorteilhafterweise nicht anfällig für Common-Cause-Fehler, d. h. es kann kein einzelner Fehler auftreten, der sich auf alle drei Subsysteme auswirkt. Ein Ausfall aller drei Subsysteme wird somit durch die erfindungsgemäße Lösung verhindert.

[0012] Vorteilhafterweise ist vorgesehen, dass bei einem Fehler des ersten Subsystems das Fahrzeug mittels des zweiten Subsystems weiterhin lenkbar ist und bei einem Fehler des zweiten Subsystems das Fahrzeug mittels des ersten Subsystems weiterhin lenkbar ist. Sollte der Fall eintreten, dass sowohl das erste Subsystem als auch das zweite Subsystem ausfallen, ist das Fahrzeug weiterhin mittels des dritten Subsystems lenkbar. Dabei umfasst das dritte Subsystem vorteilhafterweise einen von den beiden anderen Subsystemen unabhängigen eigenen Lenkhandhabewinkelsensor und lenkt das Rad oder die Räder des Fahrzeugs zudem vorteilhafterweise nicht auf die vom ersten und zweiten Subsystem verwendete Weise, sondern wirkt auf ein vorteilhafterweise vom ersten und zweiten Subsystem unabhängiges Querführungsbeeinflussungssystem des Fahrzeugs ein, um das Fahrzeug in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel zu lenken. Dadurch wird somit ausgeschlossen, dass Fehler, die zum Ausfall des ersten Subsystems und des zweiten Subsystems führen können, sich auch auf das dritte Subsystem auswirken können.

[0013] Durch diese erfindungsgemäße Lösung kann auf eine Lenksäule oder auf eine andere mechanische Verbindung zwischen gelenktem Rad und Lenkhandhabe vollständig verzichtet werden. Beispielsweise ist auch kein kostenintensives und insbesondere bauraumintensives Vorhalten einer solchen mechanischen Verbindung, welche in einem Notfall, zum Beispiel durch Schließen einer Kupplung, realisiert wird, erforderlich. Durch einen dadurch gewonnenen zusätzlichen Bauraum im Fahrzeug und durch die mittels des Steer-by-Wire-Systems ermöglichte größere Variabilität bezüglich der Ausgestaltung der Lenkung, insbesondere bezüglich der Ausgestaltung und Anordnung der Lenkhandhabe im Fahrzeug, sind neue Innenraumgestaltungs- und -nutzungskonzepte für Fahrzeuge umsetzbar. Beispielsweise ist dadurch eine freie Sicht auf ein Kombiinstrument des Fahrzeugs durch entsprechend veränderte Geometrien der Lenkhandhabe und/oder durch eine klappbare und/oder einziehbare Lenkhandhabe realisierbar. Zudem kann durch die erfindungsgemäße Lösung eine Variantenunabhängigkeit, insbesondere bezüglich Linkslenkerfahrzeugen und Rechtslenkerfahrzeugen, erreicht werden, da keine Bauraumfordernisse bezüglich einer Lenksäule erfüllt werden müssen. Des Weiteren kann mittels der erfindungsgemäßen Lösung ein verbesserter Insassenschutz bei Kollisionen realisiert werden, da die ermöglichte Veränderung bezüglich der Ausgestaltung der Lenkhandhabe auch Ausgestaltungen ermöglicht, durch

welche eine Kollision des Insassen mit der Lenkhandhabe bei einer Kollision des Fahrzeugs vermieden werden kann oder eine Verletzungsgefahr des Insassen an der Lenkhandhabe zumindest minimiert werden kann.

[0014] Zudem ist die erfindungsgemäße Lösung kostengünstig, insbesondere innerhalb eines Kostenrahmens der Fahrzeugindustrie, umsetzbar.

[0015] Das erfindungsgemäße Steer-by-Wire-System ermöglicht durch die nicht mehr vorhandene mechanische Kopplung zwischen Lenkhandhabe und gelenktem Rad des Weiteren eine Vielzahl funktionaler Vorteile und Möglichkeiten, beispielsweise eine variable und geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung, eine Umsetzung einer autonomen Fußgängerabweichfunktion ohne eine Bewegung der Lenkhandhabe, und/oder einen deutlich reduzierten maximalen Lenkeinschlag von beispielsweise kleiner als 180°.

[0016] Das, insbesondere vom ersten und zweiten Subsystem, zumindest von deren Lenkhandhabewinkelsensoren und Lenkaktoreinheiten, unabhängige Querführungsbeeinflussungssystem, welches das dritte Subsystem zum Lenken des Fahrzeugs in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel verwendet, ist beispielsweise ausgebildet als ein Hinterachslenkungssystem des Fahrzeugs und/oder als ein elektronisches Stabilisierungssystem des Fahrzeugs. Vorteilhafterweise ist es ein System, welches ohnehin bereits im Fahrzeug vorhanden ist und unabhängig vom dritten Subsystem für andere Zwecke verwendet wird.

[0017] So ist ein elektronisches Stabilisierungssystem bereits in Fahrzeugen weit verbreitet und beispielsweise aufgrund gesetzlicher Vorschriften bei neu zugelassenen Fahrzeugen oder Fahrzeugtypen stets vorhanden. Ein solches elektronisches Stabilisierungssystem wirkt bei einem vom dritten Subsystem unabhängigen Betrieb insbesondere einer Instabilität des Fahrzeugs, insbesondere einem Ausbrechen des Fahrzeugs, insbesondere einem, zumindest zu starken, Übersteuern oder Untersteuern des Fahrzeugs, durch gezielte radindividuelle Bremsengriffe an einem oder mehreren oder allen Rädern des Fahrzeugs entgegen. Bei der hier beschriebenen Verwendung dieses elektronischen Stabilisierungssystems mittels des dritten Subsystems zum Lenken des Fahrzeugs wird dieses Lenken des Fahrzeugs entsprechend durch derartige gezielte radindividuelle Bremsengriffe an einem oder mehreren oder allen Rädern des Fahrzeugs durchgeführt.

[0018] Ein Hinterachslenkungssystem ist ebenfalls bereits in einigen Fahrzeugen vorhanden und dient beispielsweise einer verbesserten Fahrdynamik des Fahrzeugs durch die mitlenkende Hinterachse. Da-

durch können beispielsweise ein geringerer Wendekreis des Fahrzeugs, ein besseres und stabileres Einlenken in eine Kurve und beispielsweise bessere Einpark- und Ausparkmanöver realisiert werden. Bei der hier beschriebenen Verwendung dieses Hinterachslenkungssystems mittels des dritten Subsystems zum Lenken des Fahrzeugs wird das Fahrzeug, welches in einem Normalbetrieb mittels des ersten und/oder zweiten Subsystems über die Räder einer Vorderachse des Fahrzeugs gelenkt wird, nun mittels des dritten Subsystems und der Hinterachslenkung, zweckmäßigerweise ausschließlich, über die Räder der Hinterachse des Fahrzeugs gelenkt, indem diese entsprechend ausgelenkt werden.

[0019] Durch dieses Lenken des Fahrzeugs mittels des dritten Subsystems und des Querführungsbeeinflussungssystems kann zumindest sichergestellt werden, dass das Fahrzeug sicher zum Stillstand gebracht werden kann und bis zum Stillstand weiterhin lenkbar ist. Beispielsweise kann es dadurch auch noch bis zu einer sicheren Abstellposition gelenkt werden und dort sicher abgestellt werden. Die Situation, dass sich das Fahrzeug unkontrolliert bewegt, d. h. sich noch bewegt, jedoch nicht mehr lenkbar ist, wird auf diese Weise sicher vermieden.

[0020] Das erste Subsystem und das zweite Subsystem umfassen vorteilhafterweise jeweils ein elektrisches Bordnetz des Fahrzeugs zur elektrischen Energieversorgung des jeweiligen Subsystems. Diese beiden elektrischen Bordnetze sind zweckmäßigerweise voneinander unabhängig. Dadurch sind das erste Subsystem und das zweite Subsystem auch unabhängig voneinander mit elektrischer Energie versorgbar, so dass ein Ausfall eines der Bordnetze nicht beide Subsysteme betrifft. Die Bordnetzauslegung gewährleistet vorteilhafterweise eine ausreichende Energieversorgung. Vorteilhafterweise wird das Bordnetz diversitär ausgelegt, so dass ein einzelner Fehler nicht dazu führt, dass beide Bordnetze gleichzeitig ausfallen. Vorteilhafterweise wird eine diversitäre Bordnetz Architektur gewählt, um Common-Cause-Fehler sicher auszuschließen. Vorteilhafterweise haben die zwei Bordnetze eigene und unabhängige Überwachungselemente für „State of Charge“ (SOC) und „State of Health“ (SOH). Vorteilhafterweise wird die elektrische Leitungsverlegung über sogenannte Pre-Drive-Checks als Belastungstest auf zu hohe Übergangswiderstände überprüft. Dazu kann vor Fahrtbeginn kurzzeitig ein hoher Stromfluss initiiert werden, um dabei über das Verhalten der Versorgungsspannung, auf die Qualität der elektrischen Leitungen bzw. Kontaktierungen und auch die Bordnetzstabilität zu schließen.

[0021] Das erste Subsystem und das zweite Subsystem umfassen vorteilhafterweise jeweils eine Kraftrückkopplungsaktoreinheit, auch als Krafrückkopplungsaktuatorinheit bezeichnet, welche zweckmäßi-

gerweise voneinander unabhängig sind. Diese Einheit wird auch als Force-Feedback-Aktoreinheit oder Force-Feedback-Aktuatorinheit bezeichnet. Diese Krafrückkopplungsaktoreinheiten sind vorteilhafterweise mit der Lenkhandhabe gekoppelt, insbesondere mechanisch gekoppelt. Die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit dient insbesondere einer Erzeugung eines geeigneten Lenkgefühls an der Lenkhandhabe, insbesondere durch eine Erzeugung eines haptischen Gegenmoments gegen eine Betätigung der Lenkhandhabe durch den Fahrzeugführer, so dass der Fahrzeugführer eine haptische Rückmeldung auf seine Betätigung der Lenkhandhabe erhält.

[0022] Das erste Subsystem und das zweite Subsystem umfassen vorteilhafterweise jeweils eine Kommunikationsleitung zur Datenübertragung zwischen dem jeweiligen Lenkhandhabewinkelsensor, insbesondere der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit, und der jeweiligen Lenkaktoreinheit, welche zweckmäßigerweise voneinander unabhängig sind. Dadurch wird eine redundante Kommunikation zwischen den Lenkhandhabewinkelsensoren und den Lenkaktoreinheiten sichergestellt, d. h. eine vom jeweiligen anderen Subsystem unabhängige Kommunikation des ersten Subsystems und des zweiten Subsystems.

[0023] Vorteilhafterweise sind das erste Subsystem und das zweite Subsystem jeweils, insbesondere unabhängig voneinander, mit mindestens einem Netzwerk des Fahrzeugs, insbesondere einem Datenbusystem des Fahrzeugs, verbunden. Dadurch wird eine redundante Kommunikation des ersten und zweiten Subsystems mit dem mindestens einen Netzwerk des Fahrzeugs sichergestellt.

[0024] Vorteilhafterweise ist auch das dritte Subsystem, insbesondere dessen dritter Lenkhandhabewinkelsensor, unabhängig vom ersten und zweiten Subsystem mit diesem mindestens einen Netzwerk des Fahrzeugs, insbesondere Datenbusystem des Fahrzeugs, verbunden.

[0025] Die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit umfasst vorteilhafterweise den Lenkhandhabewinkelsensor des jeweiligen Subsystems. D. h. die Krafrückkopplungsaktoreinheit des ersten Subsystems umfasst den Lenkhandhabewinkelsensor des ersten Subsystems und die Krafrückkopplungsaktoreinheit des zweiten Subsystems umfasst den Lenkhandhabewinkelsensor des zweiten Subsystems. Dadurch werden durch die mechanische Kopplung mit der Lenkhandhabe die Erfassung des Lenkhandhabewinkels und die Erzeugung des Lenkgefühls an der Lenkhandhabe ermöglicht. Der Lenkhandhabewinkelsensor des ersten und/oder des zweiten Subsystems ist beispielsweise als ein physikalischer, d. h. als ein physisch vorhandener, Sensor ausgebildet oder als eine Ermittlungseinheit, welche den Lenk-

handhabewinkel gestützt auf den absolut messenden dritten Lenkhandhabewinkelsensor in Verbindung mit einer internen Motorlage eines Aktors seiner Kraft-rückkopplungsaktoreinheit ermittelt. Das Stützen dieser Ermittlung auf den dritten Lenkhandhabewinkelsensor ist dabei insbesondere nur bei einem Starten des Fahrzeugs erforderlich, um eine absolute Position des Lenkhandhabewinkels zu ermitteln. Danach ist vorteilhafterweise die interne Motorlage ausreichend.

[0026] Die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit umfasst vorteilhafterweise zwei Mikrocontrollereinheiten. Dadurch wird eine Fehlersicherheit der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit, insbesondere auch bezüglich eines möglichen Fehlers des Lenkhandhabewinkelsensors, sichergestellt. Dies wird auch als Failsafe bezeichnet. Die beiden Mikrocontrollereinheiten führen jeweils die gleichen Rechenoperationen aus und gleichen Ergebnisse, insbesondere regelmäßig, miteinander ab. Dadurch kann ein Fehler in der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit erkannt werden und das jeweilige Subsystem daraufhin deaktiviert werden. Auch bei einem Ausfall einer der beiden Mikrocontrollereinheiten wird dies von der jeweiligen anderen Mikrocontrollereinheit erkannt und das jeweilige Subsystem daraufhin deaktiviert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein fehlerhaftes Arbeiten des jeweiligen Subsystems, welches zu fehlerhaften Lenkmanövern des Fahrzeugs führen könnte, sicher verhindert wird, denn ein Fehler wird sicher erkannt und daraufhin das Subsystem deaktiviert.

[0027] Die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit umfasst vorteilhafterweise einen Drehmomentsensor. Dieser Drehmomentsensor dient insbesondere einer Erfassung und Regelung der von der Krafrückkopplungsaktoreinheit erzeugten Kraft auf die Lenkhandhabe, um dadurch ein einer jeweiligen Situation angepasstes Lenkgefühl für den Fahrzeugführer an der Lenkhandhabe zu erzeugen. Der jeweilige Drehmomentsensor kann beispielsweise als ein physikalischer, d. h. als ein physisch vorhandener, Sensor ausgebildet sein oder wird, insbesondere in Abhängigkeit von einem jeweiligen Regelungskonzept der Krafrückkopplungsaktoreinheit, auf andere Weise realisiert.

[0028] Die jeweilige Lenkaktoreinheit umfasst vorteilhafterweise zwei Mikrocontrollereinheiten. Dadurch wird eine Fehlersicherheit der jeweiligen Lenkaktoreinheit sichergestellt. Dies wird auch als Failsafe bezeichnet. Die beiden Mikrocontrollereinheiten führen jeweils die gleichen Rechenoperationen aus und gleichen Ergebnisse, insbesondere regelmäßig, miteinander ab. Dadurch kann ein Fehler in der jeweiligen Lenkaktoreinheit erkannt werden und das jeweilige Subsystem daraufhin deaktiviert werden. Auch bei einem Ausfall einer der beiden Mikrocontrollereinheiten

wird dies von der jeweiligen anderen Mikrocontrollereinheit erkannt und das jeweilige Subsystem daraufhin deaktiviert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein fehlerhaftes Arbeiten des jeweiligen Subsystems, welches zu fehlerhaften Lenkmanövern des Fahrzeugs führen könnte, sicher verhindert wird, denn ein Fehler wird sicher erkannt und daraufhin das Subsystem deaktiviert.

[0029] Die jeweilige Lenkaktoreinheit umfasst vorteilhafterweise einen Zahnstangenpositionssensor. Dieser Zahnstangenpositionssensor dient einer Erfassung einer Position einer mit dem zu lenkenden Rad oder mit den zu lenkenden Rädern gekoppelten Zahnstange und dadurch einer Erfassung des Radwinkels, um diesen einstellen zu können. Bei einer Verwendung eines anderen mit dem mindestens einen Rad oder den mehreren Rädern verbundenen Lenkelementes alternativ zur Zahnstange ist dieser Positionssensor als ein entsprechender Lenkelementpositionssensor ausgebildet. Der jeweilige Sensor, d. h. der jeweilige Zahnstangenpositionssensor oder andere Lenkelementpositionssensor ist zweckmäßigerweise eigensicher und vorteilhafterweise „True-Power-On-fähig“, d. h. er kann bei einem Start des Fahrzeugs eine jeweilige absolute Position des Radwinkels bestimmen.

[0030] Der jeweilige Zahnstangenpositionssensor ist beispielsweise direkt auf der Zahnstange angeordnet oder derart angeordnet, dass er einen Winkel einer auf die Zahnstange wirkenden Eingangswelle bestimmt. Die Eingangswelle wird von den Lenkaktoreinheiten, insbesondere von einem Lenkaktor, insbesondere einem Elektromotor, der jeweiligen Lenkaktoreinheit angetrieben. Beispielsweise wirken die Lenkaktoreinheiten auf dieselbe Eingangswelle oder jede Lenkaktoreinheit wirkt auf eine eigene Eingangswelle.

[0031] Das Steer-by-Wire-System umfasst somit vorteilhafterweise eine doppelte Failsafe-Architektur durch das erste und zweite Subsystem, welche voneinander unabhängig sind und jeweils Failsafe, d. h. eigensicher, sind. Das erste und zweite Subsystem bilden somit zwei getrennte und eigensichere Kanäle zwischen der Lenkhandhabe und dem mindestens einem zu lenkenden Rad oder den mehreren zu lenkenden Rädern. Das erste und zweite Subsystem, insbesondere deren realisierte Redundanz, können dabei beispielsweise bezüglich Hardware und/oder Software beispielsweise homogen ausgebildet sein, d. h. beide gleich, oder diversitär ausgebildet sein, d. h. voneinander abweichend. Das dritte Subsystem bildet eine weitere Rückfallebene für eine, insbesondere theoretische, Restfehlerwahrscheinlichkeit, dass sowohl das erste Subsystem als auch das zweite Subsystem fehlerbehaftet ausfallen. Durch die Redundanz des ersten und zweiten Subsystems und insbesondere durch das zusätzliche dritte Subsystem

tem ist das Steer-by-Wire-System ein Fail-Operational-System, d. h. ein System, welches auch bei Auftreten eines Fehlers oder sogar bei Auftreten mehrerer Fehler, insbesondere sowohl im ersten als auch im zweiten Subsystem, weiterhin funktionsfähig ist, so dass das Fahrzeug auch dann weiterhin mittels des Steer-by-Wire-Systems lenkbar ist.

[0032] Das Steer-by-Wire-System ermöglicht insbesondere den Verzicht auf eine mechanische und ebenfalls auf eine hydraulische Rückfallebene im Fehlerfall, mit den oben bereits geschilderten Vorteilen.

[0033] Die Lenkaktoreinheiten und/oder die Kraftrückkopplungsaktoreinheiten umfassen vorteilhafterweise jeweils einen Elektromotor als Aktor. Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Steer-by-Wire-Systems sicherzustellen, sind diese Elektromotoren vorteilhafterweise jeweils als EC-Maschinen (electronically commutated), d. h. als elektronisch kommutierte Maschinen, ausgebildet, und somit nicht als bürstenbehaftete Motoren ausgelegt.

[0034] Die Mikrocontrollereinheiten der jeweiligen Lenkaktoreinheit und/oder der jeweiligen Kraftrückkopplungsaktoreinheit umfassen beispielsweise jeweils zwei Mikrocontroller oder jeweils einen Mikrocontroller mit zwei Kernen, d. h. jeweils einen Dualcore-Mikrocontroller, welcher dann zweckmäßigerweise in einem so genannten Lockstep-Betrieb betrieben wird. Durch beide Varianten wird die Eigensicherheit des ersten Subsystems und des zweiten Subsystems sichergestellt.

[0035] Wie oben bereits beschrieben, wird bei einem Fehler im ersten Subsystem oder im zweiten Subsystem, beispielsweise in der Sensorik, in einem Aktor, insbesondere Elektromotor, in der Elektronik, im elektrischen Bordnetz oder in einer anderen Komponente des jeweiligen Subsystems, das jeweilige Subsystem deaktiviert, d. h. abgeschaltet. Das andere Subsystem bleibt funktional und ermöglicht weiterhin die vollständige Funktion des Steer-by-Wire-Systems. Selbst bei einem Ausfall des ersten Subsystems und des zweiten Subsystems bleibt das dritte Subsystem funktional und dadurch wird weiterhin die Lenkbarkeit des Fahrzeugs mittels des Steer-by-Wire-Systems sichergestellt.

[0036] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0037] Dabei zeigen:

Fig. 1 schematisch ein Steer-by-Wire-System,

Fig. 2 schematisch das Steer-by-Wire-System aus **Fig. 1** bei einem Fehler eines ersten Subsystems,

Fig. 3 schematisch das Steer-by-Wire-System aus **Fig. 1** bei einem Fehler eines zweiten Subsystems, und

Fig. 4 schematisch das Steer-by-Wire-System aus **Fig. 1** bei einem Fehler des ersten und zweiten Subsystems.

[0038] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0039] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Fahrzeugs **1** mit einem Ausführungsbeispiel eines Steer-by-Wire-Systems **2** für das Fahrzeug **1**. Bisher werden in Fahrzeugen **1** vorwiegend elektromechanische Lenksysteme eingesetzt. D. h. eine Lenkunterstützung, insbesondere mittels einer Servolenkung, wird elektrisch über einen an einem Lenkgetriebe verbauten Elektromotor mit Steuergerät realisiert. Ein Lenkwunsch eines Fahrzeugführers wird dabei stets über eine Drehung eines Lenkrads des Fahrzeugs **1** und eine mitdrehende Lenksäule an das Lenkgetriebe übertragen. In dem Lenkgetriebe ist ein Drehmomentensensor angeordnet, der vom Steuergerät eingelesen wird. Dieses Lenkmoment wird mit entsprechenden Softwarealgorithmen in eine Sollkraft umgewandelt, welche über den Elektromotor in die Lenkungsmechanik eingeleitet wird. Würde ein Fehler auftreten, könnte die Lenkunterstützung ausfallen. Die Lenkbarkeit des Fahrzeugs **1** bleibt dann jedoch über die Mechanik sichergestellt.

[0040] Das im Folgenden näher beschriebene Steer-by-Wire-System **2** ermöglicht im Gegensatz dazu eine rein elektrische Erfassung des Lenkwunsches und eine rein elektrische Übertragung in das Lenkgetriebe zur Umsetzung einer Kraft an einer Zahnstange. Dadurch können die mechanische Lenksäule und alle damit verbundenen Nachteile und Restriktionen entfallen. Dieses Steer-by-Wire-System **2** ist ein vollständig fehlertolerantes Lenksystem, bei dem nach Auftreten eines Fehlers die Lenkbarkeit des Fahrzeugs **1** durch eine Redundanz in einer Architektur des Lenksystems auch ohne Verwendung einer mechanischen Lenksäule sichergestellt werden kann. Das Steer-by-Wire-System **2** ist somit ein Fail-Operational-System, welches bei einem Auftreten eines Einfachfehlers weiterhin die Lenkbarkeit des Fahrzeugs **1** sicherstellt und es ermöglicht, das Fahrzeug **1** zumindest innerhalb einer vorgegebenen Zeit an einem sicheren Ort zum Stehen zu bringen. Zudem ist das Steer-by-Wire-System **2** vorteilhafterweise nicht anfällig für Common-Cause-Fehler, d. h. für Fehler, welche sich auf alle im Folgenden näher beschriebenen Subsysteme **2.1**, **2.2**, **2.3** des Steer-by-Wire-Systems **2** auswirken und dadurch zum Ausfall des gesamten Steer-by-Wire-Systems **2** führen würden. Zudem ist das Steer-by-Wire-System **2** kostengünstig realisierbar.

[0041] Das Steer-by-Wire-System 2 ist besonders vorteilhaft zur Umsetzung automatisierter oder autonomer Fahrfunktionen, beispielsweise gemäß SAE-Level 3, 4 oder 5, für welche ein Lenkwunsch des Fahrzeugführers nicht mehr oder nur noch selten benötigt wird, da die Lenkung dann von einem entsprechenden Steuergerät zur Durchführung der automatisierten oder autonomen Fahrfunktionen angesteuert wird. Das Steer-by-Wire-System 2 ermöglicht es beispielsweise, eine zum Beispiel als Lenkrad ausgebildete Lenkhandhabe 3 des Fahrzeugs 1 einzuklappen oder einzufahren und dadurch aus einem Innenraum des Fahrzeugs 1 zeitweise und zumindest teilweise zu entfernen und/oder die Lenkhandhabe 3 in einer anderen Form, beispielsweise abgeflacht, auszubilden, um dadurch beispielsweise eine freie Sicht auf ein Kombiinstrument des Fahrzeugs 1 zu ermöglichen.

[0042] Zudem ermöglicht das Steer-by-Wire-System 2 beispielsweise auch größere Freiheiten bei anderen Assistenzfunktionen, zum Beispiel eine Durchführung eines autonomen Fußgängerausweichmanövers ohne eine Bewegung der Lenkhandhabe 3. Des Weiteren kann eine variable Lenkübersetzung realisiert werden, zum Beispiel eine geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung. Beispielsweise kann ein Parkvorgang mit einem geringen Lenkeinschlag kleiner als 180° durch eine hohe Lenkübersetzung realisiert werden und es kann eine geringe Lenkübersetzung bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten für eine indirekte Lenkung und somit eine stabile Fahrzeugquerführung vorgesehen sein.

[0043] Das Steer-by-Wire-System 2 verzichtet vollständig auf eine mechanische oder hydraulische Rückfallebene, da sonst viele Funktions-, Bauraum- und Kostenvorteile des Steer-By-Wire-Systems 2 im Fahrzeug 1 nicht erschlossen werden können, da immer noch eine Lenksäule, beispielsweise mit einer in einem Notfall schließbaren Kupplung, verbaut werden müsste.

[0044] Um das beschriebene Steer-by-Wire-System 2 zu realisieren, umfasst es, wie in Fig. 1 gezeigt, drei voneinander unabhängige Subsysteme 2.1, 2.2, 2.3. Das erste Subsystem 2.1 und das zweite Subsystem 2.2 sind jeweils ausgebildet zur Erfassung eines Lenkhandhabewinkels der Lenkhandhabe 3 des Fahrzeugs 1 mittels jeweils eines Lenkhandhabewinkelsensors 4, 5 und zum Lenken des Fahrzeugs 1 durch Einstellung eines Radwinkels mindestens eines Rades 15 des Fahrzeugs 1, im dargestellten Beispiel zweier Räder 15 einer Achse, insbesondere einer Vorderachse, des Fahrzeugs 1, in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels jeweils einer Lenkaktoreinheit 6, 7. D. h. das vom zweiten Subsystem 2.2 und dritten Subsystem 2.3 unabhängige erste Subsystem 2.1 weist den ersten Lenkhandhabewinkelsensor 4 zur Erfassung des Lenk-

handhabewinkels der Lenkhandhabe 3 des Fahrzeugs 1 und die erste Lenkaktoreinheit 6 zur Einstellung des Radwinkels auf und das vom ersten Subsystem 2.1 und dritten Subsystem 2.3 unabhängige zweite Subsystem 2.2 weist den zweiten Lenkhandhabewinkelsensor 5 zur Erfassung des Lenkhandhabewinkels der Lenkhandhabe 3 des Fahrzeugs 1 und die zweite Lenkaktoreinheit 7 zur Einstellung des Radwinkels auf.

[0045] Die Lenkaktoreinheiten 6, 7 dienen insbesondere einer Umsetzung einer Lenkwunschvorgabe des Fahrzeugführers, welche dieser über die Betätigung der Lenkhandhabe 3 äußert, und/oder einer Umsetzung einer Lenkwunschvorgabe eines Fahrerassistenzsystems des Fahrzeugs 1 bei SAE-Level 2 oder eines teilautomatisierten Fahrsystems bei SAE-Level 3 oder eines hochautomatisierten oder autonomen Fahrsystemen bei SAE-Level 4 oder 5.

[0046] Zusätzlich ist das vom ersten Subsystem 2.1 und zweiten Subsystem 2.2 unabhängige dritte Subsystem 2.3 vorgesehen, welches ausgebildet ist zur Erfassung des Lenkhandhabewinkels der Lenkhandhabe 3 des Fahrzeugs 1 mittels eines dritten Lenkhandhabewinkelsensors 19 und zum Lenken des Fahrzeugs 1 in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels mindestens eines vom ersten Subsystem 2.1 und zweiten Subsystem 2.2 unabhängigen Querführungsbeeinflussungssystems 8. Dieses Querführungsbeeinflussungssystem 8 ist beispielsweise ausgebildet als ein Hinterachslenkungssystem 9 des Fahrzeugs 1 oder als ein elektronisches Stabilisierungssystem 10 des Fahrzeugs 1.

[0047] Im hier dargestellten Beispiel sind zwei Querführungsbeeinflussungssysteme 8 vorgesehen, welche vom dritten Subsystem 2.3 auf die beschriebene Weise verwendet werden, das Hinterachslenkungssystem 9 des Fahrzeugs 1 und das elektronische Stabilisierungssystem 10 des Fahrzeugs 1. Diese beiden Systeme 9, 10 des Fahrzeugs 1 sind vorteilhafterweise ohnehin bereits im Fahrzeug 1 vorhanden und werden auch für andere Zwecke verwendet.

[0048] Das elektronische Stabilisierungssystem 10 ist in Fahrzeugen 1 weit verbreitet und beispielsweise aufgrund gesetzlicher Vorschriften bei neu zugelassenen Fahrzeugen 1 oder Fahrzeugtypen stets vorhanden. Ein solches elektronisches Stabilisierungssystem 10 wirkt bei einem vom dritten Subsystem 2.3 unabhängigen Betrieb insbesondere einer Instabilität des Fahrzeugs 1, insbesondere einem Ausbrechen des Fahrzeugs 1, insbesondere einem, zumindest zu starken, Übersteuern oder Untersteuern des Fahrzeugs 1, durch gezielte radindividuelle Bremsingriffe an einem oder mehreren oder allen Rädern 15 des Fahrzeugs 1 entgegen. Bei der hier beschriebenen Verwendung dieses elektronischen Stabilisie-

rungssystem **10** mittels des dritten Subsystems **2.3** zum Lenken des Fahrzeugs **1** wird dieses Lenken des Fahrzeugs **1** entsprechend durch derartige gezielte radindividuelle Bremsengriffe an einem oder mehreren oder allen Rädern **15** des Fahrzeugs **1** durchgeführt.

[0049] Das Hinterachslenkungssystem **9** ist ebenfalls bereits in einigen Fahrzeugen **1** vorhanden und dient beispielsweise einer verbesserten Fahrdynamik des Fahrzeugs **1** durch die mitlenkende Hinterachse. Dadurch können beispielsweise ein geringerer Wendekreis des Fahrzeugs **1**, ein besseres und stabileres Einlenken in eine Kurve und beispielsweise bessere Einpark- und Ausparkmanöver realisiert werden. Bei der hier beschriebenen Verwendung dieses Hinterachslenkungssystems **9** mittels des dritten Subsystems **2.3** zum Lenken des Fahrzeugs **1** wird das Fahrzeug **1**, welches in einem Normalbetrieb mittels des ersten Subsystems **2.1** und/oder zweiten Subsystems **2.2** über die Räder **15** der Vorderachse des Fahrzeugs **1** gelenkt wird, nun mittels des dritten Subsystems **2.3** und der Hinterachslenkung über die Räder **15** der Hinterachse des Fahrzeugs **1** gelenkt, indem diese entsprechend ausgelenkt werden.

[0050] Durch dieses Lenken des Fahrzeugs **1** mittels des dritten Subsystems **2.3** und des mindestens einen Querführungsbeeinflussungssystems **8**, im hier dargestellten Beispiel mittels der beiden Querführungsbeeinflussungssysteme **8**, kann zumindest sichergestellt werden, dass das Fahrzeug **1** sicher zum Stillstand gebracht werden kann und bis zum Stillstand weiterhin lenkbar ist. Beispielsweise kann es dadurch auch noch bis zu einer sicheren Abstellposition gelenkt werden und dort sicher abgestellt werden. Die Situation, dass sich das Fahrzeug **1** unkontrolliert bewegt, d. h. sich noch bewegt, jedoch nicht mehr lenkbar ist, wird auf diese Weise sicher vermieden.

[0051] Die jeweilige Lenkaktoreinheit **6, 7** umfasst im dargestellten Beispiel zwei Mikrocontrollereinheiten **26, 27, 28, 29**. Dadurch wird eine Fehlersicherheit der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** sichergestellt. Dies wird auch als Failsafe bezeichnet. Die beiden Mikrocontrollereinheiten **26, 27, 28, 29** der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** führen jeweils die gleichen Rechenoperationen aus und gleichen Ergebnisse, insbesondere regelmäßig, miteinander ab. Dadurch kann ein Fehler in der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** erkannt werden und das jeweilige Subsystem **2.1, 2.2** daraufhin deaktiviert werden. Auch bei einem Ausfall einer der beiden Mikrocontrollereinheiten **26, 27, 28, 29** der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** wird dies von der jeweiligen anderen Mikrocontrollereinheit **27, 26, 29, 28** erkannt und das jeweilige Subsystem **2.1, 2.2** daraufhin deaktiviert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein fehlerhaftes Arbeiten des jeweiligen Subsystems **2.1, 2.2**, welches zu fehlerhaften Lenk-

manövern des Fahrzeugs **1** führen könnte, sicher verhindert wird, denn ein Fehler wird sicher erkannt und daraufhin das Subsystem **2.1, 2.2** deaktiviert.

[0052] Des Weiteren umfasst im dargestellten Beispiel die erste Lenkaktoreinheit **6** einen ersten Zahnstangenpositionssensor **30** und die zweite Lenkaktoreinheit **7** einen zweiten Zahnstangenpositionssensor **31**. Der jeweilige Zahnstangenpositionssensor **30, 31** dient einer Erfassung einer Position der mit den zu lenkenden Rädern **15** gekoppelten Zahnstange und dadurch einer Erfassung des Radwinkels, um diesen einstellen zu können. Der jeweilige Zahnstangenpositionssensor **30, 31** ist zweckmäßigerweise eigen-sicher und vorteilhafterweise „True-Power-On-fähig“, d. h. er kann bei einem Start des Fahrzeugs **1** eine jeweilige absolute Position des Radwinkels bestimmen.

[0053] Der jeweilige Zahnstangenpositionssensor **30, 31** ist beispielsweise direkt auf der Zahnstange angeordnet oder derart angeordnet, dass er einen Winkel einer auf die Zahnstange wirkenden Eingangswelle bestimmt. Die Eingangswelle wird von den Lenkaktoreinheiten **6, 7**, insbesondere von einem Lenkaktor, insbesondere einem Elektromotor, der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** angetrieben. Beispielsweise wirken die Lenkaktoreinheiten **6, 7** auf dieselbe Eingangswelle oder jede Lenkaktoreinheit **6, 7** wirkt auf eine eigene Eingangswelle.

[0054] Um ein Lenkgefühl an der Lenkhandhabe **3** für den Fahrzeugführer zu erzeugen und ihm dadurch eine haptische Rückmeldung auf seine Betätigung der Lenkhandhabe **3** zu geben, umfasst im dargestellten Beispiel zudem das erste Subsystem **2.1** eine erste Krafrückkopplungsaktoreinheit **13** und das zweite Subsystem **2.2** umfasst eine zweite Krafrückkopplungsaktoreinheit **14**, welche voneinander unabhängig sind. Diese Krafrückkopplungsaktoreinheiten **13, 14** werden auch als Force-Feedback-Aktoreinheit oder Handmomentensimulator bezeichnet. Sie sind jeweils mit der Lenkhandhabe **3** gekoppelt, insbesondere mechanisch gekoppelt. Beispielsweise werden entsprechende Signale, welche eine Rückmeldung bezüglich einer Interaktion der gelenkten Räder **15** mit einer Fahrbahn geben, d. h. ein so genanntes Roadfeedback, mittels der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** erfasst und an die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** weitergeleitet.

[0055] Im dargestellten Beispiel umfasst die erste Krafrückkopplungsaktoreinheit **13** den ersten Lenkhandhabewinkelsensor **4** und die zweite Krafrückkopplungsaktoreinheit **14** umfasst den zweiten Lenkhandhabewinkelsensor **5**. Dadurch wird mittels der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** über deren Lenkhandhabewinkelsensor **4, 5** ein jeweiliger Lenkwunsch eines Fahrzeugführers, welcher

diesen durch eine entsprechende Betätigung der Lenkhandhabe **3** äußert, erfasst.

[0056] Der erste Lenkhandhabewinkelsensor **4** und/oder der zweite Lenkhandhabewinkelsensor **5** sind beispielsweise jeweils als ein physikalischer, d. h. als ein physisch vorhandener, Sensor ausgebildet oder als eine Ermittlungseinheit, welche den Lenkhandhabewinkel gestützt auf den absolut messenden dritten Lenkhandhabewinkelsensor **19** in Verbindung mit einer internen Motorlage eines Aktors seiner Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** ermittelt. Das Stützen dieser Ermittlung auf den dritten Lenkhandhabewinkelsensor **19** ist dabei insbesondere nur bei einem Starten des Fahrzeugs **1** erforderlich, um eine absolute Position des Lenkhandhabewinkels zu ermitteln. Danach ist vorteilhafterweise die interne Motorlage ausreichend.

[0057] Im dargestellten Beispiel umfasst die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** zudem zwei Mikrocontrollereinheiten **20, 21, 22, 23**. Dadurch wird eine Fehlersicherheit der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14**, insbesondere auch bezüglich eines möglichen Fehlers des jeweiligen Lenkhandhabewinkelsensors **4, 5**, sichergestellt. Dies wird auch als Failsafe bezeichnet. Die beiden Mikrocontrollereinheiten **20, 21, 22, 23** der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** führen jeweils die gleichen Rechenoperationen aus und gleichen Ergebnisse, insbesondere regelmäßig, miteinander ab. Dadurch kann ein Fehler in der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** erkannt werden und das jeweilige Subsystem **2.1, 2.2** daraufhin deaktiviert werden. Auch bei einem Ausfall einer der beiden Mikrocontrollereinheiten **20, 21, 22, 23** der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** wird dies von der jeweiligen anderen Mikrocontrollereinheit **21, 20, 23, 22** erkannt und das jeweilige Subsystem **2.1, 2.2** daraufhin deaktiviert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein fehlerhaftes Arbeiten des jeweiligen Subsystems **2.1, 2.2**, welches zu fehlerhaften Lenkmanövern des Fahrzeugs **1** führen könnte, sicher verhindert wird, denn ein Fehler wird sicher erkannt und daraufhin das Subsystem **2.1, 2.2** deaktiviert.

[0058] Des Weiteren umfasst im dargestellten Beispiel die erste Krafrückkopplungsaktoreinheit **13** einen ersten Drehmomentsensor **24** und die zweite Krafrückkopplungsaktoreinheit **14** einen zweiten Drehmomentsensor **25**. Der jeweilige Drehmomentsensor **24, 25** dient insbesondere einer Erfassung und Regelung der von der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** erzeugten Kraft auf die Lenkhandhabe **3**, um dadurch ein einer jeweiligen Situation angepasstes Lenkgefühl für den Fahrzeugführer an der Lenkhandhabe **3** zu erzeugen. Der jeweilige Drehmomentsensor **24, 25** kann beispielsweise als ein physikalischer, d. h. als ein physisch vorhandener, Sensor ausgebildet sein oder wird, insbesondere

in Abhängigkeit von einem jeweiligen Regelungskonzept der Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14**, auf andere Weise realisiert.

[0059] Die Lenkaktoreinheiten **6, 7** und/oder die Krafrückkopplungsaktoreinheiten **13, 14** umfassen vorteilhafterweise jeweils einen Elektromotor als Aktor. Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Steer-by-Wire-Systems **2** sicherzustellen, sind diese Elektromotoren vorteilhafterweise jeweils als EC-Maschinen (electronically commutated), d. h. als elektronisch kommutierte Maschinen, ausgebildet, und somit nicht als bürstenbehaftete Motoren ausgelegt.

[0060] Die Mikrocontrollereinheiten **26, 27, 28, 29, 20, 21, 22, 23** der jeweiligen Lenkaktoreinheit **6, 7** und/oder der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit **13, 14** umfassen beispielsweise jeweils zwei Mikrocontroller oder jeweils einen Mikrocontroller mit zwei Kernen, d. h. jeweils einen Dualcore-Mikrocontroller, welcher dann zweckmäßigerweise in einem so genannten Lockstep-Betrieb betrieben wird. Durch beide Varianten wird die Eigensicherheit des ersten Subsystems **2.1** und des zweiten Subsystems **2.2** sichergestellt.

[0061] In einer vorteilhaften Ausführungsform sind die Krafrückkopplungsaktoreinheiten **13, 14**, insbesondere deren Lenkhandhabewinkelsensoren **4, 5**, und der dritte Lenkhandhabewinkelsensor **19** sowie vorteilhafterweise auch die Lenkaktoreinheiten **6, 7** jeweils in einem eigenen Gehäuse angeordnet, d. h. die Krafrückkopplungsaktoreinheiten **13, 14** sind nicht als eine gemeinsame integrierte Einheit in einem gemeinsamen Gehäuse ausgebildet. Dies gilt vorteilhafterweise ebenso für die Lenkaktoreinheiten **6, 7**. Dadurch werden auch diesbezügliche Common-Cause-Fehler, d. h. Fehler, die sich gleichzeitig auf mehrere, insbesondere auf alle drei, Subsysteme **2.1, 2.2, 2.3** auswirken können, beispielsweise Fehler aufgrund in das Gehäuse eindringenden Wassers, vermieden.

[0062] Selbst wenn in einer anderen Ausführungsform die Krafrückkopplungsaktoreinheiten **13, 14**, insbesondere deren Lenkhandhabewinkelsensoren **4, 5** in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind und auch die Lenkaktoreinheiten **6, 7** in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind, ist das Steer-by-Wire-System **2** über das dritte Subsystem **2.3** gegen Common-Cause-Fehler abgesichert, da dessen dritter Lenkhandhabewinkelsensor **19** unabhängig ist vom ersten und zweiten Subsystem **2.1, 2.2**, insbesondere nicht mit den beiden anderen Lenkhandhabewinkelsensoren **4, 5** in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet ist, und zudem das mindestens eine Querführungsbeeinflussungssystem **8** unabhängig ist von den Lenkaktoreinheiten **6, 7**.

[0063] Ein solcher Common-Cause-Fehler, d. h. ein Einzelfehler, der sämtliche Redundanzebenen des Steer-by-Wire-System 2 zum Ausfall bringen würde, kann somit nicht auftreten. Dies ist ein besonderer Vorteil dieses Steer-by-Wire-Systems 2, da ein Ausfall des ersten und/oder zweiten Subsystems 2.1, 2.2, beispielsweise durch einen Ausfall eines oder mehrerer der Mikrocontrollereinheiten 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, zum Beispiel bei einem Wassereintritt oder einem Platinendefekt, nicht zum Ausfall des Steer-by-Wire-Systems 2 führt.

[0064] Um die Unabhängigkeit des ersten Subsystems 2.1 und des zweiten Subsystems 2.2 auch bezüglich einer elektrischen Energieversorgung sicherzustellen, umfasst im dargestellten Beispiel das erste Subsystem 2.1 ein erstes elektrisches Bordnetz 11 des Fahrzeugs 1 zur elektrischen Energieversorgung des ersten Subsystems 2.1 und das zweite Subsystem 2.2 umfasst ein zweites elektrisches Bordnetz 12 des Fahrzeugs 1 zur elektrischen Energieversorgung des zweiten Subsystems 2.2, wobei diese beiden elektrischen Bordnetze 11, 12 voneinander unabhängig sind. Dadurch sind das erste Subsystem 2.1 und das zweite Subsystem 2.2 auch unabhängig voneinander mit elektrischer Energie versorgbar, so dass ein Ausfall eines der elektrischen Bordnetze 11, 12 nicht beide Subsysteme 2.1, 2.2 betrifft. Die beiden elektrischen Bordnetze 11, 12 sind vorteilhafterweise ASIL-D-fähig (ASIL = Automotive Safety Integrity Level).

[0065] Im dargestellten Beispiel umfasst das Weiteren das erste Subsystem 2.1 eine erste Kommunikationsleitung 16 zur Datenübertragung zwischen dem ersten Lenkhandhabewinkelsensor 4, insbesondere der ersten Krafrückkopplungsaktoreinheit 13, und der ersten Lenkaktoreinheit 6, und das zweite Subsystem 2.2 umfasst eine zweite Kommunikationsleitung 17 zur Datenübertragung zwischen dem zweiten Lenkhandhabewinkelsensor 5, insbesondere der zweiten Krafrückkopplungsaktoreinheit 14, und der zweiten Lenkaktoreinheit 7, welche voneinander unabhängig sind. Dadurch wird eine redundante Kommunikation zwischen den Lenkhandhabewinkelsensoren 4, 5 und den Lenkaktoreinheiten 6, 7 sichergestellt, d. h. eine vom jeweiligen anderen Subsystem 2.1, 2.2 unabhängige Kommunikation des ersten Subsystems 2.1 und des zweiten Subsystems 2.2.

[0066] Im dargestellten Beispiel sind zudem das erste Subsystem 2.1 und das zweite Subsystem 2.2 unabhängig voneinander mit mindestens einem Netzwerk 18 des Fahrzeugs 1, insbesondere einem Datenbussystem des Fahrzeugs 1, verbunden.

[0067] Dadurch wird eine redundante Kommunikation des ersten Subsystems 2.1 und des zweiten Subsystems 2.2 mit dem mindestens einen Netzwerk 18 des Fahrzeugs 1 sichergestellt.

[0068] Vorteilhafterweise ist auch der dritte Lenkhandhabewinkelsensor 19 unabhängig vom ersten und zweiten Subsystem 2.1, 2.2 mit diesem mindestens einen Netzwerk 18 des Fahrzeugs 1, insbesondere Datenbussystem des Fahrzeugs 1, verbunden.

[0069] Das Steer-by-Wire-System 2 umfasst somit vorteilhafterweise eine doppelte Failsafe-Architektur durch das erste Subsystem 2.1 und das zweite Subsystem 2.2, welche voneinander unabhängig sind und jeweils Failsafe, d. h. eigensicher, und vorteilhafterweise redundant sind, insbesondere bezüglich der Mikrocontroller 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29. Das erste Subsystem 2.1 und das zweite Subsystem 2.2 bilden somit zwei getrennte und eigensichere Kanäle zwischen der Lenkhandhabe 3 und den zu lenkenden Rädern 15. Das erste Subsystem 2.1 und das zweite Subsystem 2.2, insbesondere deren realisierte Redundanz, können dabei beispielsweise bezüglich Hardware und/oder Software beispielsweise homogen ausgebildet sein, d. h. beide gleich, oder diversitär ausgebildet sein, d. h. voneinander abweichend. Das dritte Subsystem 2.3 bildet eine weitere Rückfallebene für eine, insbesondere theoretische, Restfehlerwahrscheinlichkeit, dass sowohl das erste Subsystem 2.1 als auch das zweite Subsystem 2.2 fehlerbehaftet ausfallen. Durch die Redundanz des ersten Subsystems 2.1 und zweiten Subsystems 2.2 und insbesondere durch das zusätzliche dritte Subsystem 2.3 ist das Steer-by-Wire-System 2 ein Fail-Operational-System, d. h. ein System, welches auch bei Auftreten eines Fehlers oder sogar bei Auftreten mehrerer Fehler, insbesondere sowohl im ersten Subsystem 2.1 als auch im zweiten Subsystem 2.2, weiterhin funktionsfähig ist, so dass das Fahrzeug 1 auch dann weiterhin mittels des Steer-by-Wire-Systems 2 lenkbar ist. Eine mechanische Verbindung zwischen der Lenkhandhabe 3 und den gelenkten Rädern 15 wird somit nicht mehr benötigt.

[0070] Bei einem Fehler des ersten Subsystems 2.1, wie in Fig. 2 mittels eines Fehlersymbols FS schematisch dargestellt, ist das Fahrzeug 1 mittels des zweiten Subsystems 2.2 weiterhin lenkbar, und bei einem Fehler des zweiten Subsystems 2.2, wie in Fig. 3 mittels des Fehlersymbols FS schematisch dargestellt, ist das Fahrzeug 1 mittels des ersten Subsystems 2.1 weiterhin lenkbar. Sollte der Fall eintreten, dass sowohl das erste Subsystem 2.1 als auch das zweite Subsystem 2.2 ausfallen, wie in Fig. 4 mittels des Fehlersymbols FS schematisch dargestellt, ist das Fahrzeug 1 weiterhin mittels des dritten Subsystems 2.3 lenkbar. Dabei umfasst das dritte Subsystem 2.3 vorteilhafterweise den von den beiden anderen Subsystemen 2.1, 2.2 unabhängigen eigenen dritten Lenkhandhabewinkelsensor 19 und lenkt die Räder 15 des Fahrzeugs 1 zudem vorteilhafterweise nicht auf die vom ersten Subsystem 2.1 und zweiten Subsystem 2.2 verwendete Weise, sondern wirkt auf mindestens ein vorteilhafterweise vom ers-

ten Subsystem **2.1** und zweiten Subsystem **2.2** unabhängiges Querführungsbeeinflussungssystem **8** des Fahrzeugs **1** ein, um das Fahrzeug **1** in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel zu lenken. Dadurch wird somit ausgeschlossen, dass Fehler, die zum Ausfall des ersten Subsystems **2.1** und des zweiten Subsystems **2.2** führen können, sich auch auf das dritte Subsystem **2.3** auswirken können. Fehler, welche zum Deaktivieren des jeweiligen Subsystems **2.1**, **2.2** führen, betreffen beispielsweise dessen Sensorik, Elektronik, Aktorik, insbesondere Elektromotoren, und/oder dessen elektrisches Bordnetz **11**, **12**.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- EP 1219525 A2 [0002]
- DE 102017203748 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Steer-by-Wire-System (2) für ein Fahrzeug (1), umfassend ein erstes Subsystem (2.1) und ein zweites Subsystem (2.2), welche voneinander unabhängig sind und jeweils ausgebildet sind zur Erfassung eines Lenkhandhabewinkels einer Lenkhandhabe (3) des Fahrzeugs (1) mittels jeweils eines Lenkhandhabewinkelsensors (4, 5) und zum Lenken des Fahrzeugs (1) durch Einstellung eines Radwinkels mindestens eines Rades (15) des Fahrzeugs (1) in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels jeweils einer Lenkaktoreinheit (6, 7), **gekennzeichnet durch** ein von den beiden Subsystemen (2.1, 2.2) unabhängiges drittes Subsystem (2.3), welches ausgebildet ist zur Erfassung des Lenkhandhabewinkels der Lenkhandhabe (3) des Fahrzeugs (1) mittels eines dritten Lenkhandhabewinkelsensors (19) und zum Lenken des Fahrzeugs (1) in Abhängigkeit von dem erfassten Lenkhandhabewinkel mittels mindestens eines vom ersten Subsystem (2.1) und zweiten Subsystem (2.2) unabhängigen Querführungsbeeinflussungssystems (8).

2. Steer-by-Wire-System (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Querführungsbeeinflussungssystem (8) ausgebildet ist als ein Hinterachslenkungssystem (9) des Fahrzeugs (1) und/oder als ein elektronisches Stabilisierungssystem (10) des Fahrzeugs (1).

3. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Subsystem (2.1) und das zweite Subsystem (2.2) jeweils ein elektrisches Bordnetz (11, 12) des Fahrzeugs (1) zur elektrischen Energieversorgung des jeweiligen Subsystems (2.1, 2.2) umfassen.

4. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Subsystem (2.1) und das zweite Subsystem (2.2) jeweils eine Krafrückkopplungsaktoreinheit (13, 14) umfassen.

5. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Subsystem (2.1) und das zweite Subsystem (2.2) jeweils eine Kommunikationsleitung (16, 17) zur Datenübertragung zwischen dem jeweiligen Lenkhandhabewinkelsensor (4, 5), insbesondere der jeweiligen Krafrückkopplungsaktoreinheit (13, 14), und der jeweiligen Lenkaktoreinheit (6, 7) umfassen.

6. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Subsystem (2.1) und das zweite Subsystem (2.2) jeweils mit mindestens einem Netzwerk (18) des Fahrzeugs (1) verbunden sind.

7. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit (13, 14) den Lenkhandhabewinkelsensor (4, 5) und zwei Mikrocontrollereinheiten (20, 21, 22, 23) umfasst.

8. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die jeweilige Krafrückkopplungsaktoreinheit (13, 14) einen Drehmomentsensor (24, 25) umfasst.

9. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die jeweilige Lenkaktoreinheit (6, 7) zwei Mikrocontrollereinheiten (26, 27, 28, 29) umfasst.

10. Steer-by-Wire-System (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die jeweilige Lenkaktoreinheit (6, 7) einen Zahnstangenpositionssensor (30, 31) umfasst.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

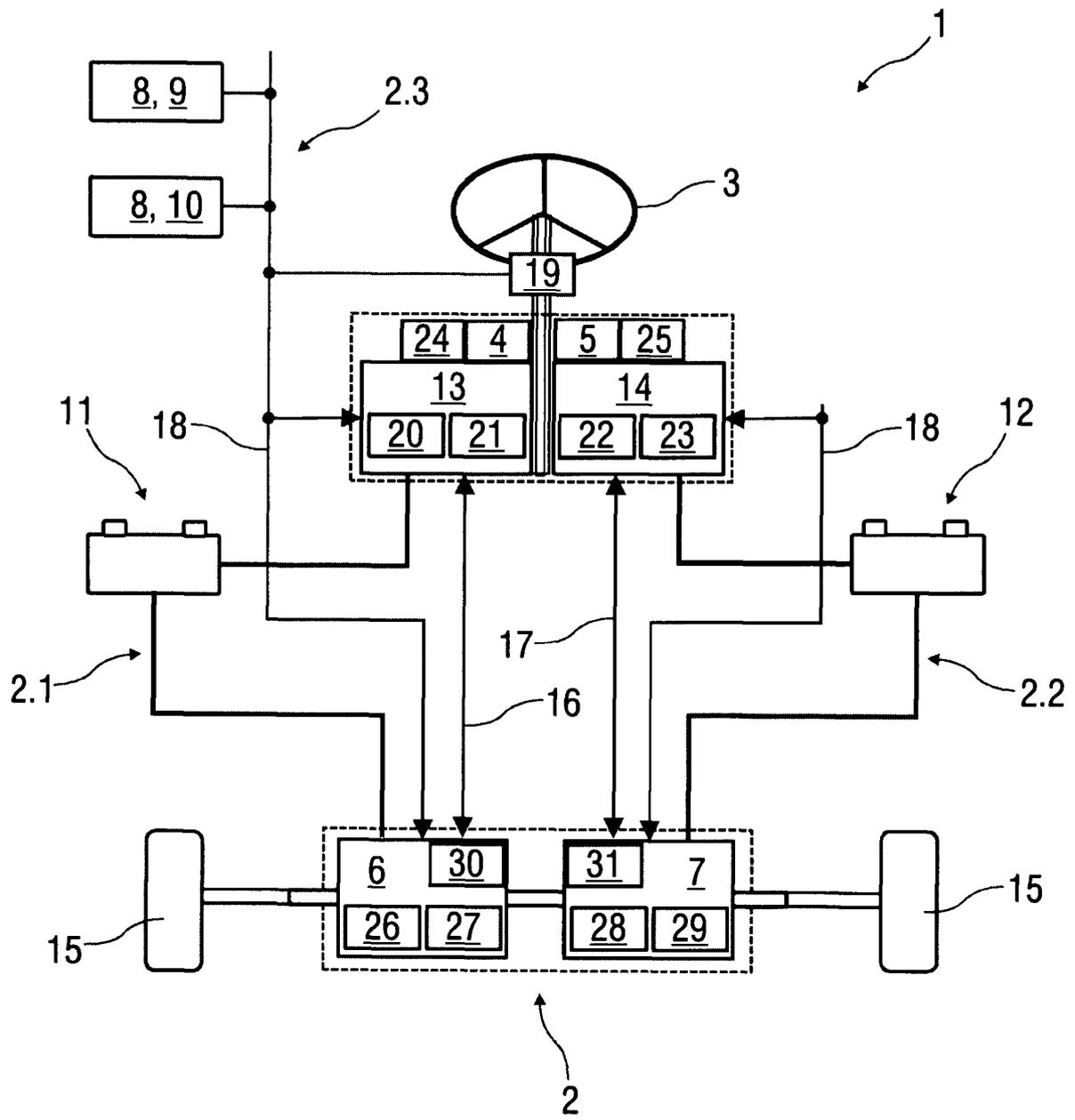


FIG 1

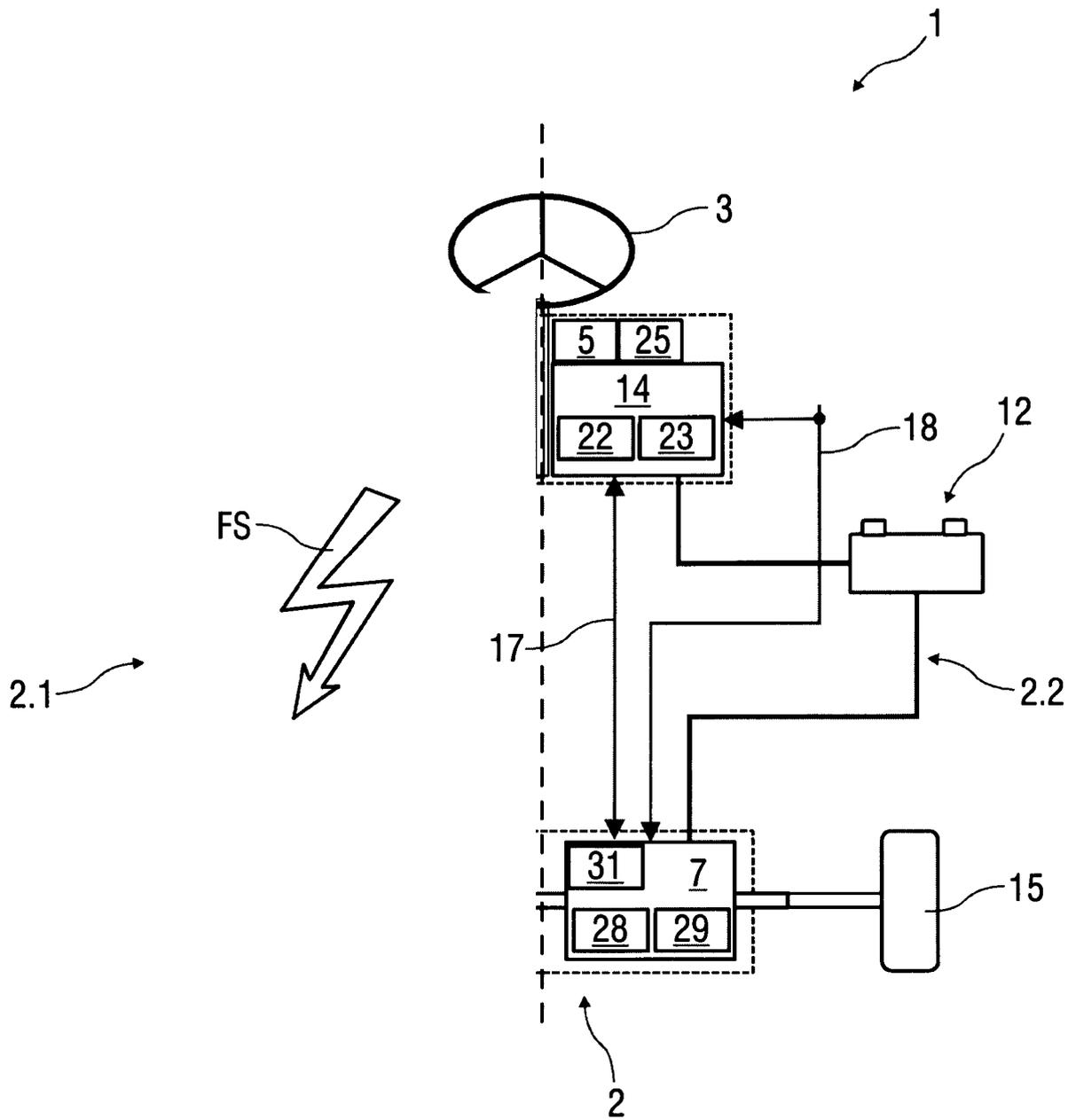


FIG 2

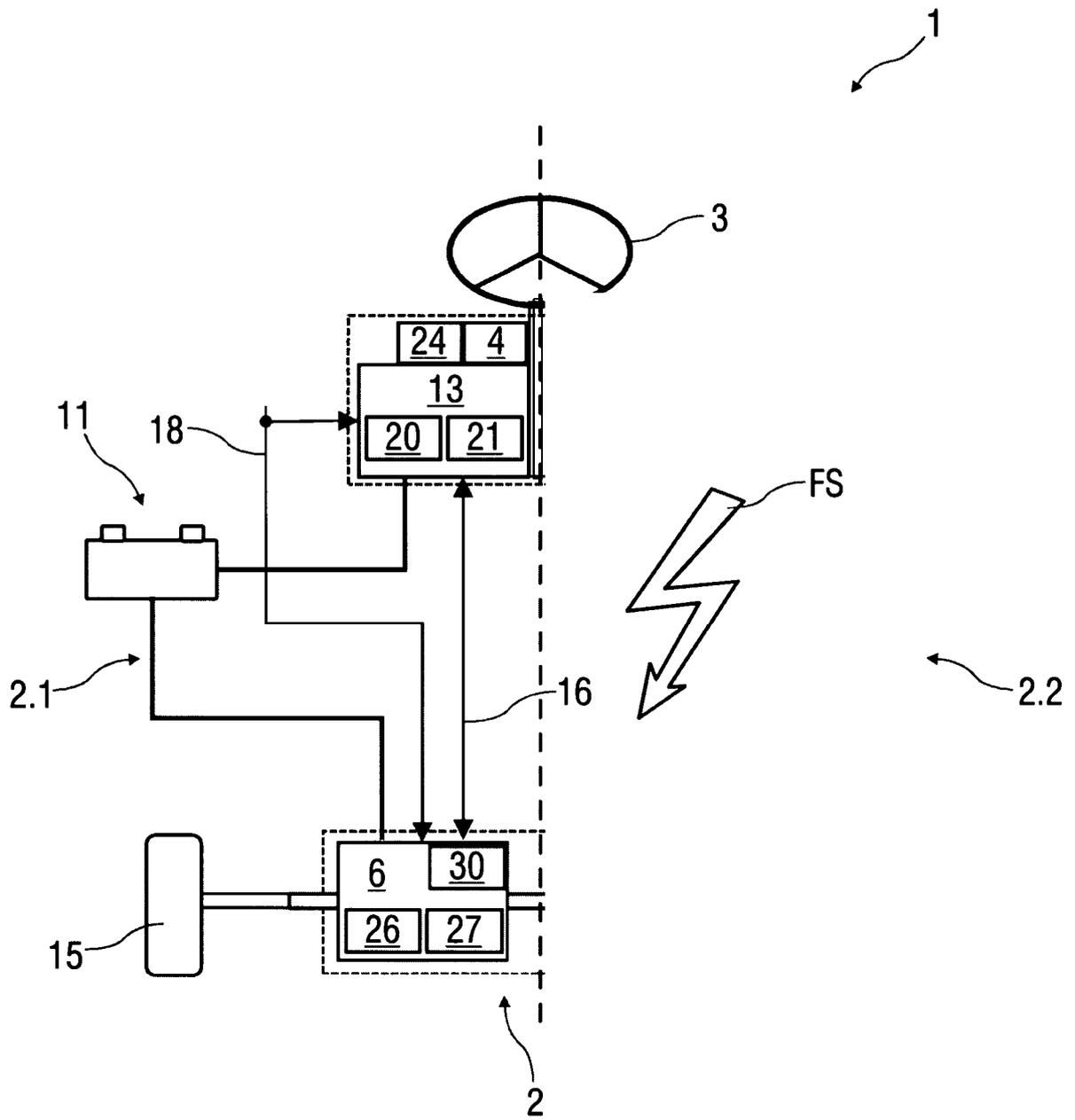


FIG 3

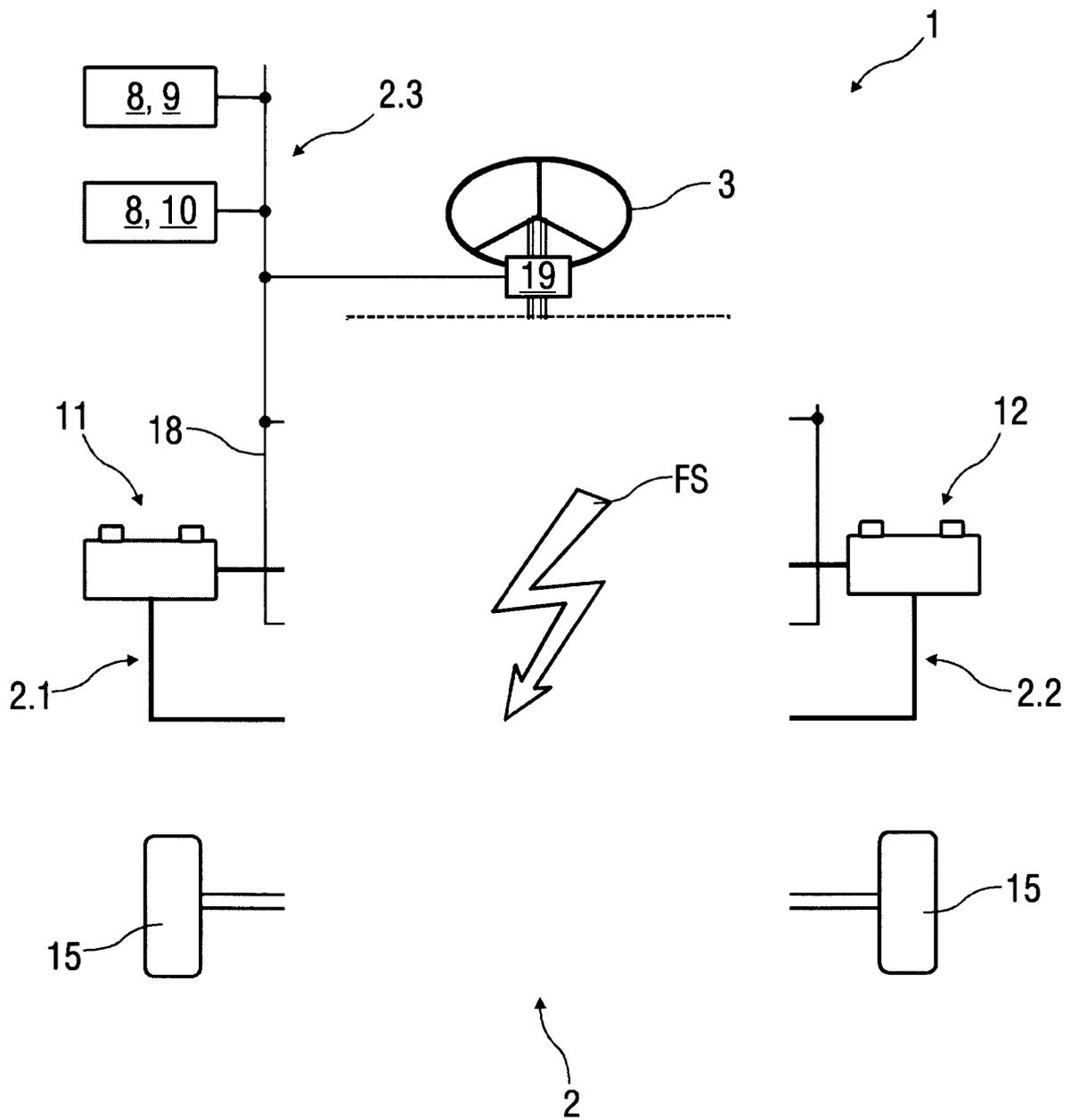


FIG 4