



(10) **DE 10 2011 077 181 A1 2012.12.13**

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 077 181.6**

(51) Int Cl.: **B62M 6/45 (2012.01)**

(22) Anmeldetag: **08.06.2011**

**B62M 6/40 (2012.01)**

(43) Offenlegungstag: **13.12.2012**

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

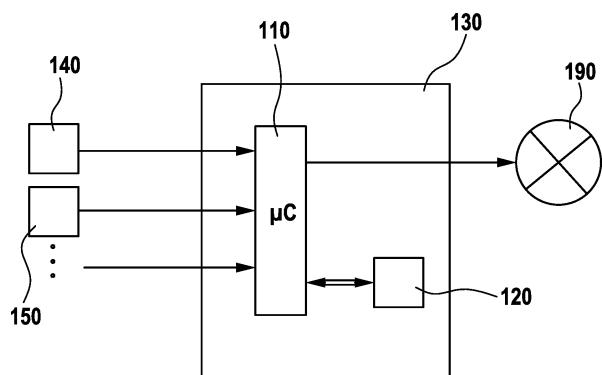
**Gerundt, Oliver, 71292, Friolzheim, DE; Dasbach, Gregor, Mondeville, FR; Immendoerfer, Ingo, 71732, Tamm, DE; Diekmann, Ralf, 71679, Asperg, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Verschleißerkennung an einem Elektrofahrrad**

(57) Zusammenfassung: Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verschleißerkennung an mindestens einer Komponente eines Elektrofahrrads vorgeschlagen, wobei der Betriebszustand der mindestens einen Komponente mit Hilfe mindestens eines Sensors (140, 150, ...) überwacht wird und die Belastung der Komponente über die Betriebsdauer erfasst wird, und wobei die Notwendigkeit der Wartung auf einer Anzeigeeinheit (190) angezeigt wird, sobald eine für diese Komponente definierte Dauerbelastungsschwelle erreicht ist, um den Fahrer rechtzeitig auf die Notwendigkeit einer Wartung hinzuweisen.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ganz allgemein ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verschleißerkennung an mindestens einer Komponente eines Elektrofahrrads.

**[0002]** Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erkennung von Verschleiß am Kettenantrieb eines Elektrofahrrads, wobei der Kettenantrieb einen Elektromotor umfasst, der mindestens eine Antriebswelle mit mindestens einem Kettenrad antreibt, mindestens eine Abtriebswelle, die ebenfalls mit mindestens einem Kettenrad ausgestattet ist, und mindestens eine geschlossene Kette, die über ein Kettenrad der Antriebswelle und ein Kettenrad der Abtriebswelle geführt ist, so dass die Kette das auf die Antriebswelle wirkende Drehmoment auf die Abtriebswelle überträgt.

**[0003]** Viele Komponenten eines Fahrrads sind nicht dauerfest, sondern nur betriebsfest ausgelegt und müssen deshalb regelmäßig gewartet oder sogar ausgetauscht werden. So sollten beispielsweise die Bremsen und die Fahrradbeleuchtung regelmäßig gewartet werden, um die Betriebssicherheit des Fahrrads zu gewährleisten. Auch andere Komponenten, wie z.B. der Rahmen, unterliegen einer Abnutzung bzw. Ermüdung, die zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit des Fahrrads führen kann. Bei einigen Fahrradkomponenten, wie z.B. den Bremsen, der Schaltung und der Fahrradgabel, sind deshalb Wartungsintervalle vorgeschrieben. Diese festen Zeitintervalle sind aber nicht an die tatsächliche, individuelle Belastung und Abnutzung des Fahrrads angepasst.

**[0004]** Der Wirkungsgrad des Antriebs eines Elektrofahrrads hängt wesentlich vom Zustand der Kette, der Kettenblätter und Ritzel ab. Als Fahrradkette werden in der Praxis meist Rollen-Hülsenketten oder Lagerkragenketten benutzt. Beim Betrieb tritt im Innern der Kette, insbesondere zwischen den Hülsen bzw. Lagerkragen und den entsprechenden Rollen, eine Verschleißreibung auf, die zu einer Vergrößerung der Kettenteilung und im Ergebnis zu einer Verlängerung der Kette führen. Da die Teilung der Kette dann nicht mehr auf den Zahnabstand der Kettenräder, d.h. des Kettenblatts und Ritzels, abgestimmt ist, sinkt der Wirkungsgrad der Drehmomentübertragung. Außerdem werden die Kettenräder verstärkt abgenutzt. Dabei hängt der Verschleiß wesentlich vom Verschmutzungsgrad der Kette und der Kettenräder ab, da Dreck wie ein Schleifmittel wirkt. Nur bei frühzeitigem Wechsel der Kette können Ritzel und Kettenblätter weiterverwendet werden.

**[0005]** Die regelmäßige Überprüfung und Wartung der Kette kommt also nicht nur dem Wirkungsgrad des Kettenantriebs zu Gute. Auch die Laufleistung von Kette und Kettenrädern lässt sich dadurch deutlich verbessern.

**[0006]** Bei nach Norm gefertigten Kettenblättern kann der Kettenverschleiß von Hand geprüft werden. Lässt sich die Kette um mehr als 5mm vom Zahnrückenzahn abheben, ist die Verschleißgrenze erreicht, und die Kette sollte ausgetauscht werden. Mit Hilfe einer Kettenlehre oder einem Kettenkaliber kann eine Verschleißprüfung unabhängig von der Art des Kettenblatts vorgenommen werden. Dabei wird die Länge der Kette über eine definierte Anzahl von Kettengliedern gemessen. Beide Verfahren basieren auf einer manuellen Prüfung und können nicht bei laufendem Betrieb, d.h. während der Fahrt, durchgeführt werden. Die Prüfverfahren erfordern Fachkenntnisse und werden nicht zwangsläufig regelmäßig durchgeführt.

## Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Mit der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, den Alterungszustand einzelner Komponenten des Elektrofahrrads automatisch zu überwachen, um den Fahrer rechtzeitig auf die Notwendigkeit einer Wartung hinzuweisen.

**[0008]** Dazu wird der Betriebszustand mindestens einer ausgewählten Komponente mit Hilfe mindestens eines Sensors überwacht. Dabei wird die Belastung dieser Komponente über die Betriebsdauer des Elektrofahrrads erfasst. Erfindungsgemäß wird dem Fahrer die Notwendigkeit der Wartung auf einer Anzeigeeinheit angezeigt, sobald eine für die Komponente definierte Dauerbelastungsschwelle erreicht ist.

**[0009]** Das erfindungsgemäße Verfahren eröffnet die Möglichkeit, die Wartungsintervalle bedarfsgerecht zu wählen, also in Abhängigkeit von der tatsächlich auftretenden Abnutzung der überwachten Komponente. Dadurch kann die Wartung eines Elektrofahrrads sehr effizient gestaltet werden. Durch rechtzeitig vorgenommene Wartungsmaßnahmen wird die Lebensdauer des Gesamtsystems verlängert. Außerdem beugen rechtzeitig durchgeführte Wartungsmaßnahmen einem Ausfall oder einer Funktionseinschränkung der überwachten Komponente während der Fahrt vor. Damit trägt das erfindungsgemäße Verfahren wesentlich dazu bei, die Verkehrssicherheit des Elektrofahrrads zu gewährleisten.

**[0010]** Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Elektrofahrrad mit mindestens einem Sensor zum Überwachen des Betriebszustands mindestens einer Komponente ausgestattet. Mit Hilfe dieses Sensors wird die Belastung der überwach-

ten Komponente erfasst. Des Weiteren umfasst die erfundungsgemäße Vorrichtung zur Verschleißerkennung eine Auswerteeinheit zur Auswertung des Sensorsignals, wobei die Auswerteeinheit einen Speicher zum Abspeichern der aufsummierten Belastungen umfasst. Mindestens eine Anzeigeeinheit dient zur Wiedergabe von Wartungsinformationen, wenn eine vorgegebene Dauerbelastungsschwelle für die überwachte Komponente erreicht ist. Dabei kann es sich um eine optische und/oder akustische Anzeigeeinrichtung handeln. Nach erfolgter Wartung kann der Speicher, in dem die Summe der Belastungen abgelegt ist, wieder zurückgesetzt werden, um dem Neuzustand der Komponente Rechnung zu tragen.

**[0011]** An dieser Stelle sei angemerkt, dass die erfundungsgemäße Vorrichtung auch mehrere voneinander unabhängige Sensoren zur Überwachung einer Komponente umfassen kann. Außerdem lassen sich mit Hilfe der erfundungsgemäßen Vorrichtung auch mehrere voneinander unabhängige Komponenten überwachen. In beiden Fällen umfasst die erfundungsgemäße Vorrichtung dann ein ganzes Cluster von Sensoren und entsprechende Mittel zur Auswertung der Sensorsignale.

**[0012]** Wie bereits angedeutet, gibt es viele verschiedene Möglichkeiten zum Einsatz und damit zur Ausgestaltung des erfundungsgemäßen Verfahrens und der erfundungsgemäßen Vorrichtung.

**[0013]** So können beispielsweise die Vibrationen des Rahmens und/oder Lenkers mit Hilfe mindestens eines Beschleunigungssensors überwacht werden, um Belastungen zu erfassen, die oberhalb des Lastprofils der jeweiligen Komponente liegen. Erfundungsgemäß werden diese Belastungen aufsummiert und mit einer vorgegebenen Betriebsfestigkeitsgrenze für die Komponente verglichen, um den Fahrer bei Erreichen oder Überschreiten dieser Betriebsfestigkeitsgrenze auf die Möglichkeit eines Rahmen- bzw. Lenkerbruchs hinzuweisen.

**[0014]** Das Vibrationsspektrum kann weiterhin zur Abschätzung des Reifendrucks herangezogen werden. Dadurch kann der Fahrer auf einen zu geringen Reifendruck hingewiesen werden, um die Gefahr eines Platzens zu verringern.

**[0015]** Auch die Lebensdauer der Batterie bzw. des Akkus eines Elektrofahrrads kann mit Hilfe des erfundungsgemäßen Verfahrens überwacht werden. Dazu kann beispielsweise einfach die Anzahl der Laufzyklen erfasst werden, da diese einen limitierenden Faktor für die Lebensdauer der Batterie darstellt. Erfundungsgemäß wird der Fahrer dann automatisch rechtzeitig auf die Notwendigkeit eines Batteriewechsels hingewiesen, so dass er die Einsatzfähigkeit des Fahrrads sicherstellen kann.

**[0016]** Besonders wichtig im Hinblick auf die Verkehrssicherheit des Elektrofahrrads ist die Überwachung des Betriebszustands der Bremsen. Durch Beobachtung des Geschwindigkeitsverlaufs kann abgeschätzt werden, wann gebremst wurde und wie viel Energie durch das Bremsen abgebaut wurde. Daraus lässt sich abschätzen, wann die Bremsbeläge der Bremsanlage erneuert werden müssen. Alternativ oder ergänzend zum Geschwindigkeitsverlauf kann auch einfach die Anzahl der Bremsvorgänge erfasst werden, beispielsweise mit Hilfe eines Schalters, um diese dann mit einer vorbestimmten Maximalanzahl von Bremsvorgängen zu vergleichen.

**[0017]** Eine besonders vorteilhafte Anwendung des erfundungsgemäßen Verfahrens besteht in der Überwachung der Komponenten des Kettenantriebs, da der Wirkungsgrad des Kettenantriebs wesentlich vom Zustand der Kette und der Kettenräder abhängt. Im Fall der Fahrradkette können der Verschleißerkennung unterschiedliche Kriterien zugrunde gelegt werden.

**[0018]** Bei einer Kettenschaltung hat die Anzahl der Schaltvorgänge einen wesentlichen Einfluss auf die Alterung der Kette. Dementsprechend wird der Verschleißerkennung der Kette in einer Variante des erfundungsgemäßen Verfahrens die Anzahl der Schaltvorgänge zugrunde gelegt.

**[0019]** Alternativ oder auch ergänzend dazu kann der Betriebszustand der Kette mit Hilfe mindestens eines Sensors überwacht werden, der die auf die Kette wirkenden Drehmomente und insbesondere kritische Drehmomente erfasst. Damit können sowohl die beim Schalten auftretenden Drehmomente erfasst werden als auch die mechanischen Belastungen der Kette im Fahrbetrieb. So kann mit Hilfe einer geeigneten Drehmomentsensorik beispielsweise bestimmt werden, wie oft kritische Drehmomente auftreten und wann eine bestimmte Betriebsfestigkeitsgrenze (Wöhlerkurve) überschritten ist, so dass die Notwendigkeit einer Wartung besteht.

**[0020]** Die Gangwahl ist entscheidend für den Verschleiß des Ritzelpakets. Häufiges Verwenden eines bestimmten Gangs führt zur vorzeitigen Abnutzung des entsprechenden Ritzels. Hier kann eine sensorgestützte Gangerkennung für eine präzise Evaluierung des Verschleißes eingesetzt werden.

**[0021]** In einer besonders vorteilhaften Variante des erfundungsgemäßen Verfahrens wird der Motorstrom des Elektromotors erfasst, um den Betriebszustand der Kraft-/Moment-übertragenden Bauteile des Kettenantriebs zu überwachen. Erfundungsgemäß wird dazu der Rippelanteil dieses Stromsignals ermittelt und mit dem Rippelanteil eines Vergleichssignals verglichen. Das Vergleichssignal entspricht dem Stromsignal, das erfasst wird, wenn der Kettenantrieb mit

einer neuwertigen Kette und neuwertigen Kettenräder ausgestattet ist. Ein Verschleißzustand wird dann identifiziert, wenn die Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals ein vorgegebenes Maß übersteigt. Wesentlich ist, dass sich im Rippelanteil des Motorstromsignals sowohl die Abnutzung der Kette als auch die Abnutzung der Kettenräder wiederspiegelt.

**[0022]** Die Verschleißerkennung anhand des Rippelanteils des Motorstromsignals basiert auf den folgenden Überlegungen:

Jeder Elektromotor besitzt eine eigene Drehmomentenwelligkeit, die auf sogenannte Rippelmomente zurückzuführen ist. Diese Rippelmomente treten unabhängig von der konkreten Topologie des Elektromotors auf und setzen sich typischerweise aus zwei Anteilen zusammensetzen, nämlich aus magnetischen Rastmomenten (Cogging torque) und elektrodynamischen Rastmomenten. Die magnetischen Rastmomente sind auf den mechanischen Aufbau des Elektromotors zurückzuführen, und zwar im Wesentlichen auf das Vorhandensein von Nuten im Rotor und/oder Stator und auf die magnetischen Pole im Falle einer permanenterregten elektrischen Maschine. Die elektrodynamischen Rastmomente sind auf die Bestromung des Motors und insbesondere auf die Stromwendung (Kommutierung) zurückzuführen. Im Falle eines DC-Motors ist die Kommutierung mechanisch realisiert. Sie kann aber auch elektronisch realisiert sein, wie im Falle eines BLDC-Motors.

**[0023]** Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass die Drehmomentenwelligkeit des Elektromotors durch die Art der Drehmomentübertragung des Kettenantriebs beeinflusst wird.

**[0024]** Die Fahrradkette umschließt ein Kettenrad wie ein Vieleck, so dass der wirksame Durchmesser des Rades schwankt. Dementsprechend schwankt bei konstanter Winkelgeschwindigkeit des antreibenden Kettenrades auch die Kettengeschwindigkeit. Dieser Effekt wird als Polygoneffekt bezeichnet. Insbesondere bei Kettenrädern mit einer kleineren Anzahl von Zähnen, wie sie im Kettenantrieb von Elektrofahrrädern verwendet werden, ist dieser Effekt stark ausgeprägt. Aufgrund des Polygoneffekts treten Zusatzkräfte auf, die sich auf die Drehmomentenwelligkeit des Elektromotors auswirken.

**[0025]** Längt sich die Kette, so ändert sich die wirksame Kettenteilung. Außerdem werden die Kettenräder verstärkt abgenutzt, wodurch sich der wirksame Durchmesser des antreibenden Kettenrades verändert. Beide Effekte beeinflussen die Drehmomentenwelligkeit des Elektromotors.

**[0026]** Die Drehmomentenwelligkeit des Elektromotors spiegelt sich in der Motorstromwelligkeit wieder,

da zwischen dem Lastmoment  $M$  des Motors und dem gemessenen Motorstrom  $I$  der linearer Zusammenhang:  $M = k \cdot \Phi \cdot I$ , besteht, wobei  $k \cdot \Phi$  eine Motorkonstante ist. Damit entspricht der Rippelanteil des Lastmoments  $M$  dem Rippelanteil des Motorstroms  $I$ .

**[0027]** Erfindungsgemäß wird auf der Basis des erfassten Motorstroms die verschleißbedingte Abweichung der Drehmomentenwelligkeit vom Neuzustand des Kettenantriebs ermittelt und ausgewertet.

**[0028]** Da ein Verschleiß am Kettenantrieb in der Regel zu einer Vergrößerung der Rippelamplitude führt, wird in einer vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens die Amplitude des Rippelanteils des erfassten Stromsignals mit der Amplitude des Rippelanteils des Vergleichssignals verglichen. Dazu kann aus dem Quotienten der maximalen Amplitude des Rippelanteils des erfassten Stromsignals und der Motorfrequenz eine Kenngröße gebildet werden, um diese mit der entsprechenden Kenngröße des Vergleichssignals zu vergleichen. In diesem Fall wird ein Verschleißzustand dann identifiziert, wenn die Amplitude bzw. die Kenngröße des erfassten Stromsignals signifikant größer ist als ein definierter Schwellwert.

**[0029]** Der Motorstrom kann mit Hilfe der bereits vorhandenen Sensorik eines Elektrofahrrads permanent überwacht werden. Da die Abnutzung der Drehmomentübertragenden Teile des Kettenantriebs aber nicht plötzlich auftritt, sondern der Verschleißzustand das Ergebnis einer dauerhaften Benutzung ist, muss das Stromsignal nicht kontinuierlich analysiert werden. Vielmehr reicht es aus, das Stromsignal regelmäßig zu analysieren. Es empfiehlt sich, die Signalanalyse jeweils für einen bestimmten Betriebsfall des Elektromotors vorzunehmen, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Dafür bietet sich der stationäre Betriebsfall an. In diesem Fall ist der gemittelte Motorstrom über eine vorgegebene Mindestdauer konstant, so dass eine Veränderung der Drehmomentenwelligkeit aufgrund von Beschleunigungs- oder Bremsvorgängen ausgeschlossen werden kann. Die Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals kann automatisch, in bestimmten Zeitabständen ermittelt werden oder auch wahlweise, über eine entsprechende Benutzerschnittstelle initiiert, ermittelt werden.

**[0030]** Je nach Auswertealgorithmus kann es sinnvoll sein, einen Verschleißzustand nur dann anzuzeigen, wenn das Mittel der Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals über eine bestimmte Dauer ein vorgegebenes Maß übersteigt.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0031] Wie bereits voranstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszustalten und weiterzubilden. Dazu wird einerseits auf die dem unabhängigen Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche verwiesen und andererseits auf die nachfolgende Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Figuren.

[0032] [Fig. 1](#) zeigt das Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Verschleißerkennung an einem Elektrofahrrad und

[0033] [Fig. 2](#) zeigt das Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verschleißerkennung,

[0034] [Fig. 3](#) zeigt einen möglichen Aufbau des Kettenantriebs eines Elektrofahrrads in schematischer Darstellung,

[0035] [Fig. 4](#) zeigt ein Schaltbild eines BLDC-Antriebs mit einem Sensor zur Motorstromerfassung,

[0036] [Fig. 5](#) veranschaulicht die Zusammensetzung und die Auswirkung des Rippelanteils auf das Lastmoment eines Elektromotors anhand eines Diagramms, das die Winkelabhängigkeit der einzelnen Signale wiedergibt, und

[0037] [Fig. 6](#) zeigt das Bediendisplay eines Elektrofahrrads, auf dem auch Wartungsinformationen angezeigt werden können.

## Ausführungsformen der Erfindung

[0038] Das Blockschaltbild der [Fig. 1](#) veranschaulicht das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten einer Vorrichtung 100 zur Verschleißerkennung an einem Elektrofahrrad gemäß dem im Flussdiagramm der [Fig. 2](#) dargestellten Verfahren. Die Vorrichtung 100 umfasst eine Reihe von Sensoren 140, 150, ..., die Informationen über den Betriebszustand und die Belastung der zu überwachenden Komponenten des Elektrofahrrads erfassen. Diese Sensorinformationen werden einem µC 110 zugeleitet, der zum Abspeichern und Abrufen von Daten mit einem Datenspeicher 120 verbunden ist. Der µC 110 bildet zusammen mit dem Datenspeicher 120 eine Auswerteeinheit 130. Schließlich umfasst die Vorrichtung 100 noch eine Anzeigeeinheit 190, die der µC 110 ansteuert, wenn die Auswertung der Sensorinformationen ergibt, dass eine vorgegebene Dauerbelastungsschwelle für eine oder mehrere der überwachten Fahrradkomponenten erreicht ist.

[0039] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Verschleißerkennung kann entweder automatisch durch-

geführt werden, beispielsweise immer oder in regelmäßigen Zeitintervallen während des Fahrbetriebs, oder auch manuell gestartet werden. In einem ersten Verfahrensschritt 210 nach dem Start 200 werden mit Hilfe der Sensoren 140, 150, ... Messgrößen erfasst. Auf der Basis dieser Messgrößen werden in einem weiteren Verfahrensschritt 220 Informationen über den Betriebszustand und die Belastung der zu überwachenden Fahrradkomponenten ermittelt. Im Verfahrensschritt 230 werden die so gewonnenen Informationen mit einer für die jeweilige Fahrradkomponente definierten Dauerbelastungsschwelle verglichen. Ist die Dauerbelastungsschwelle erreicht oder überschritten, werden entsprechende Wartungsinformationen auf der Anzeigeeinheit 190 angezeigt, bevor das Verfahren wiederholt wird. Andernfalls kehrt das Verfahren direkt zum Start 200 zurück.

[0040] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Verschleißerkennung an mindestens einer Komponente eines Elektrofahrrads wird nachfolgend beispielhaft für den in [Fig. 3](#) dargestellten Kettenantrieb 10 eines Elektrofahrrads beschrieben.

[0041] Dieser Kettenantrieb 10 umfasst einen Elektromotor 1, der die Antriebswelle 2 antreibt. Außerdem sitzen auf der Antriebswelle 2 die Kurbelarme 3 mit den Pedalen 4 für den Fahrer. Die Antriebswelle 2 ist mit mindestens einem Kettenblatt 5 ausgestattet. Die Hinterradachse bildet die Abtriebswelle 6 des Kettenantriebs 10. Auf der Abtriebswelle 6 sitzt mindestens ein Ritzel 7. Die Antriebswelle 2 und die Abtriebswelle 6 sind über eine geschlossene Kette 8 wirkverbunden, die über ein Kettenblatt 5 der Antriebswelle 2 und ein Ritzel 7 der Abtriebswelle 6 geführt ist. Auf diese Weise überträgt die Kette 8 das auf die Antriebswelle 2 wirkende Drehmoment auf die Abtriebswelle 6 und auf das Hinterrad. Schließlich umfasst der Kettenantrieb 10 noch eine Schaltschwinge mit zwei Kettenräddchen 9, die an der Hinterradachse angeordnet ist und Teil einer Kettenschaltung ist. Ein drittes Kettenräddchen 11 dient als Kettenführung zum Elektromotor 1.

[0042] Im hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Elektromotor 1 im Bereich der Antriebswelle 2 angeordnet.

[0043] Bei dem Elektromotor 1 handelt es sich um einen BLDC-Motor. Die Kommutierung wird hier mit Hilfe der in [Fig. 4](#) dargestellten Ansteuer-Schaltung 20 realisiert. Diese Schaltung 20 umfasst einen Stromsensor 21, mit dem der Motorstrom erfasst wird. Der Pfeil 22 deutet an, dass das Stromsignal einer Auswerteeinheit zugeleitet wird. Durch entsprechende Auswertung des Motorstromsignals kann der Zustand der Kette und Kettenräder des Kettenantriebs überwacht werden und rechtzeitig auf einen Verschleiß am Kettenantrieb hingewiesen werden.

**[0044]** Dazu wird der Rippelanteil des erfassten Stromsignals ermittelt und mit dem Rippelanteil eines Vergleichssignals verglichen, nämlich mit dem Rippelanteil des Stromsignals, das beim Betrieb des Elektromotors mit neuwertigem Kettenantrieb erfasst wurde.

**[0045]** Zwischen dem Motorstrom  $I$  und dem Lastmoment  $M$  des Elektromotors besteht ein linearer Zusammenhang  $M = k \cdot \Phi \cdot I$ . Deshalb entspricht auch der Rippelanteil, d.h. die winkelabhängige Welligkeit, des gemessenen Motorstroms dem Rippelanteil des Lastmoments des Elektromotors. Dies wird durch das Diagramm in [Fig. 5](#) veranschaulicht, insbesondere durch die Kurven **31**, die die Winkelabhängigkeit des Motorstroms darstellt, und die Kurve **32**, die die Winkelabhängigkeit des Motor-Lastmoments wiedergibt. Dieses Motorlastmoment wird von magnetischen Rastmomenten, der sogenannten cogging torque, und elektrodynamischen Rastmomenten überlagert. Deren Winkelabhängigkeit ist hier in den Kurven **33** und **34** dargestellt. Daraus ergibt sich die Kurve **35** als Gesamtmoment des Elektromotors **10**.

**[0046]** Bei einem Verschleiß des Kettenantriebs treten zusätzliche Rastmomente auf, die das Gesamtmoment des Elektromotors und insbesondere den Rippelanteil des Gesamtmoments und damit auch des Motorstroms verstärken. Aus der Amplitude des Rippelanteils lässt sich eine Kenngröße, beispielsweise der Quotient aus maximaler Amplitude des Rippelanteils und Motorfrequenz, ableiten, die dann einfach mit einem vorgegebenen Schwellwert verglichen werden kann. Dieser Schwellwert wird ausgehend von der entsprechenden Kenngröße des Vergleichssignals bestimmt und in einem Speicher der Motorsteuerung **20** abgelegt.

**[0047]** Obwohl der Motorstrom kontinuierlich erfasst wird, reicht es aus, den Rippelanteil des Stromsignals bzw. dessen Kenngröße in regelmäßigen Abständen zu ermitteln und mit dem abgespeicherten Schwellwert zu vergleichen. Dies erfolgt vorteilhafterweise automatisch, kann aber auch über eine entsprechende Schnittstelle vom Fahrer initiiert werden.

**[0048]** Der Zustand des Kettenantriebs wird erst dann als Verschleißzustand identifiziert, wenn die Kenngröße des gemessenen Stromsignals den abgespeicherten Schwellwert signifikant überschreitet. In diesem Zusammenhang erweist es sich als sinnvoll, dem Schwellwertvergleich einen Mittelwert aus mehreren aufeinanderfolgenden Messungen zugrunde zu legen oder eine Vergleichshysteres einzubauen.

**[0049]** Ist die Verschleißgrenze erreicht, wird ein Wartungshinweis an den Fahrer abgesetzt, beispielsweise durch ein entsprechendes Symbol **41** auf einem Bediendisplay **40**, wie es in [Fig. 6](#) dargestellt

ist. Bei dem Symbol **41** handelt es sich um die Darstellung einer Kette als Zeichen dafür, dass die Kette ersetzt werden sollte. Als weiteres Symbol kann eine Kette mit einem Ritzel dargestellt werden, um darauf hinzuweisen, dass sowohl die Kette als auch ein Ritzel ersetzt werden müssen. Nach entsprechender Wartung wird die Anzeige entweder manuell oder automatisch zurückgesetzt, da die ermittelte Kenngröße des Stromsignals nun wieder unterhalb des Schwellwerts liegt.

**[0050]** Auf einem größeren Display können dem Fahrer auch detailliertere Informationen über den Zustand des Kettenantriebs und die erforderlichen Wartungsmaßnahmen gegeben werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verschleißerkennung an mindestens einer Komponente eines Elektrofahrrads,
  - bei dem der Betriebszustand der mindestens einen Komponente des Fahrrads mit Hilfe mindestens eines Sensors (**140, 150, ...**) überwacht wird und die Belastung der Komponente über die Betriebsdauer erfasst wird, und
  - bei dem die Notwendigkeit der Wartung auf einer Anzeigeeinheit (**190**) angezeigt wird, sobald eine für diese Komponente definierte Dauerbelastungsschwelle erreicht ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Vibrationen des Rahmens und/oder Lenkers mit Hilfe mindestens eines Beschleunigungssensors erfasst werden und dass angezeigt wird, sobald eine vorgegebene Betriebsfestigkeitsgrenze erreicht oder überschritten wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Ladezyklen der Fahrzeugbatterie mit Hilfe mindestens eines Sensors erfasst wird und dass angezeigt wird, sobald eine vorgegebene Anzahl von Ladezyklen erreicht oder überschritten wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustand der Bremsen mit Hilfe mindestens eines Sensors überwacht wird, indem der Geschwindigkeitsverlauf des Fahrzeugs erfasst wird und/oder die Anzahl der Bremsvorgänge erfasst bzw. ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustand der Kette mit Hilfe mindestens eines Sensors überwacht wird, der die Anzahl der Schaltvorgänge erfasst.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustand der Kette mit Hilfe mindestens eines Sensors über-

wacht wird, der die eingebrachten Drehmomente und insbesondere kritische Drehmomente erfasst.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustand der Kette mit Hilfe mindestens eines Sensors überwacht wird, der die zurückgelegte Fahrstrecke erfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustand der Kette mit Hilfe mindestens eines Sensors überwacht wird, der den eingelegten Gang erfasst.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass ein Beschleunigungssensor einen zu geringen und/oder zu hohen Reifendruck erkennt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, zur Verschleißerkennung am Kettenantrieb, wobei der Kettenantrieb (**10**)

- einen Elektromotor (**1**), der mindestens eine Antriebswelle (**2**) mit mindestens einem Kettenrad (**5**) antreibt,
- mindestens eine Abtriebswelle (**6**), die ebenfalls mit mindestens einem Kettenrad (**7**) ausgestattet ist, und
- mindestens eine geschlossene Kette (**8**), die über ein Kettenrad (**5**) der Antriebswelle (**2**) und ein Kettenrad (**7**) der Abtriebswelle (**6**) geführt ist, so dass die Kette (**8**) das auf die Antriebswelle (**2**) wirkende Drehmoment auf die Abtriebswelle (**6**) überträgt, umfasst, dadurch gekennzeichnet,
- dass der Motorstrom erfasst wird,
- dass der Rippelanteil dieses Stromsignals ermittelt wird und mit dem Rippelanteil eines Vergleichssignals verglichen wird, wobei das Vergleichssignal dem Stromsignal entspricht, das erfasst wird, wenn der Kettenantrieb mit einer neuwertigen Kette und neuwertigen Kettenräder ausgestattet ist, und
- dass ein Verschleißzustand dann identifiziert wird, wenn die Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals ein vorgegebenes Maß übersteigt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitude des Rippelanteils des erfassten Stromsignals mit der Amplitude des Rippelanteils des Vergleichssignals verglichen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Quotienten der maximalen Amplitude des Rippelanteils des erfassten Stromsignals und der Motorfrequenz eine Kenngröße gebildet wird, die mit der entsprechenden Kenngröße des Vergleichssignals verglichen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verschleißzustand dann identifiziert wird, wenn die Amplitude bzw.

die Kenngröße des erfassten Stromsignals signifikant größer ist als ein definierter Schwellwert.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals lediglich im stationären Betriebsfall des Elektromotors ermittelt wird, d.h. wenn der gemittelte Motorstrom über eine vorgegebene Mindestdauer konstant ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals automatisch, in bestimmten Zeitabständen ermittelt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals wahlweise über eine entsprechende Benutzeroberfläche initierbar ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verschleißzustand nur dann angezeigt wird, wenn das Mittel der Abweichung zwischen dem Rippelanteil des erfassten Stromsignals und dem Rippelanteil des Vergleichssignals über eine bestimmte Dauer ein vorgegebenes Maß übersteigt.

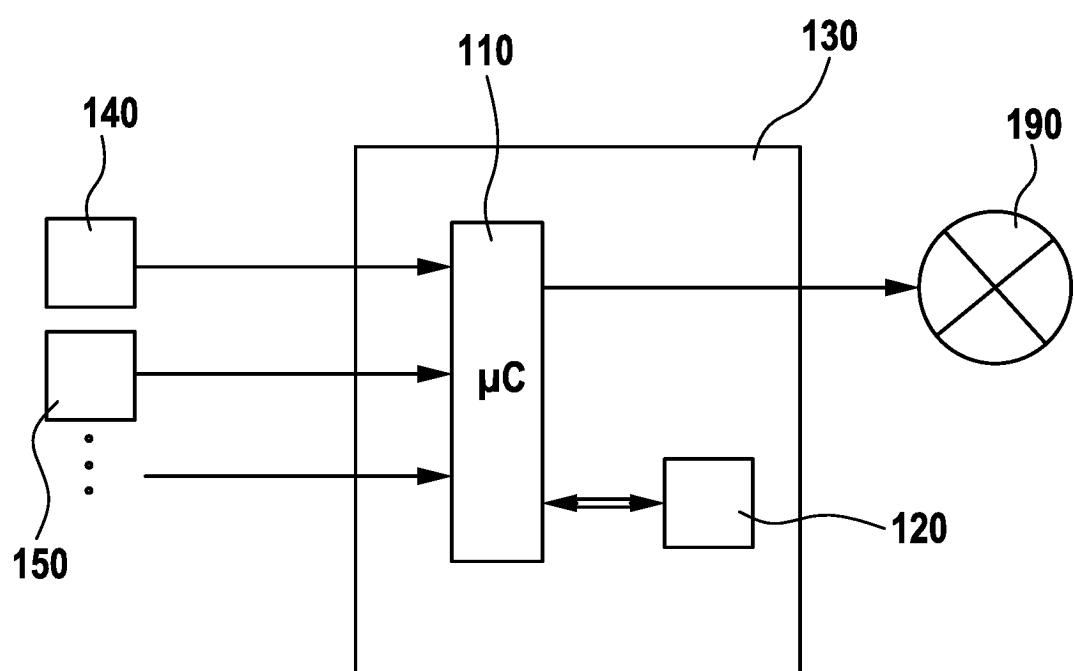
18. Vorrichtung (**100**) zur Verschleißerkennung an Elektrofahrrädern, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17, umfassend

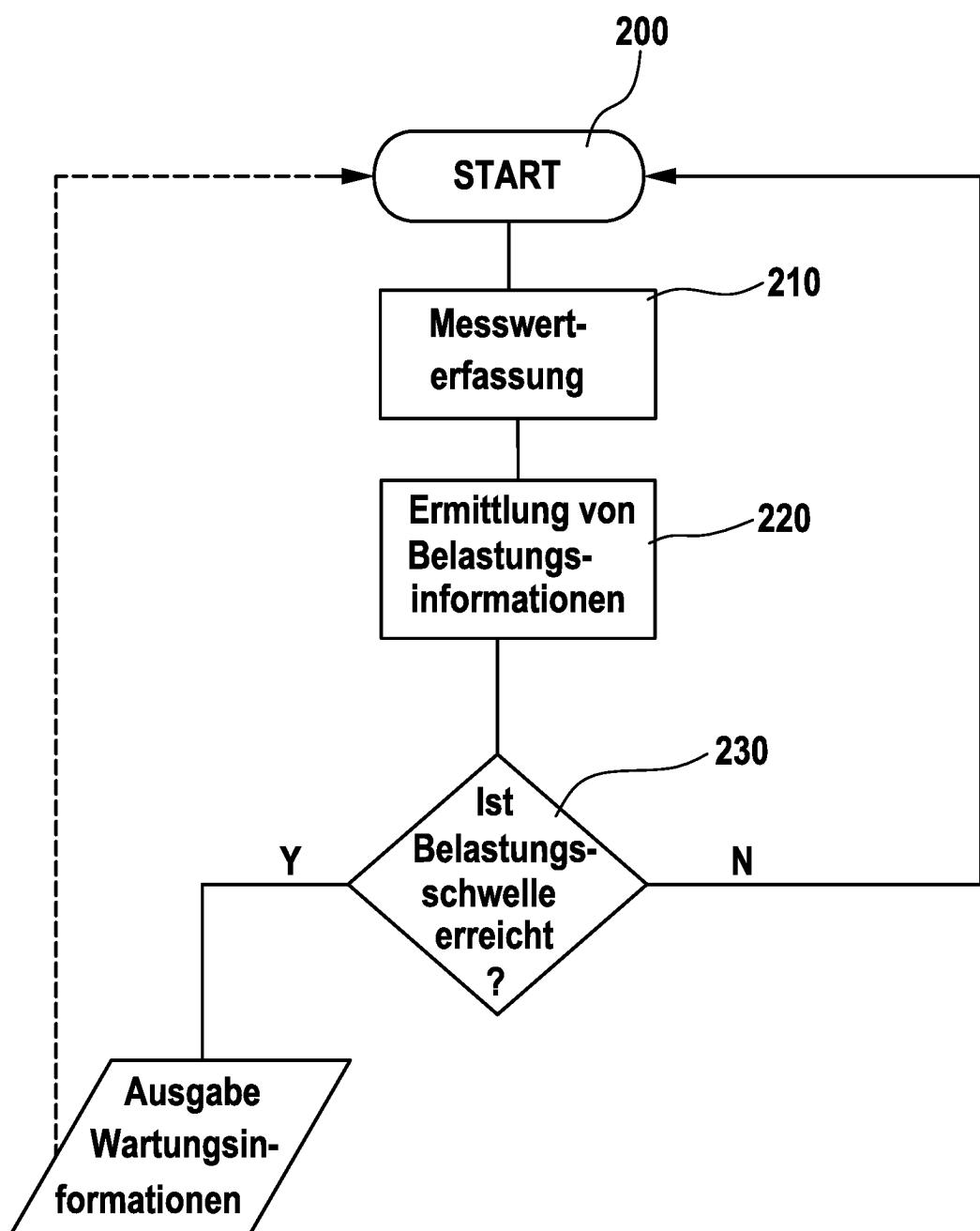
- mindestens einen Sensor (**140, 150, ...**) zum Überwachen des Betriebszustands mindestens einer Komponente des Elektrofahrrads und zum Erfassen der Belastung dieser Komponente,
- eine Auswerteeinheit (**130**) mit mindestens einem Speicher (**120**) zur Auswertung des Sensorsignals und
- mindestens eine Anzeigeeinheit (**190**) zur Wiedergabe von Wartungsinformationen, wenn eine vorgegebene Dauerbelastungsschwelle für die überwachte Komponente erreicht ist.

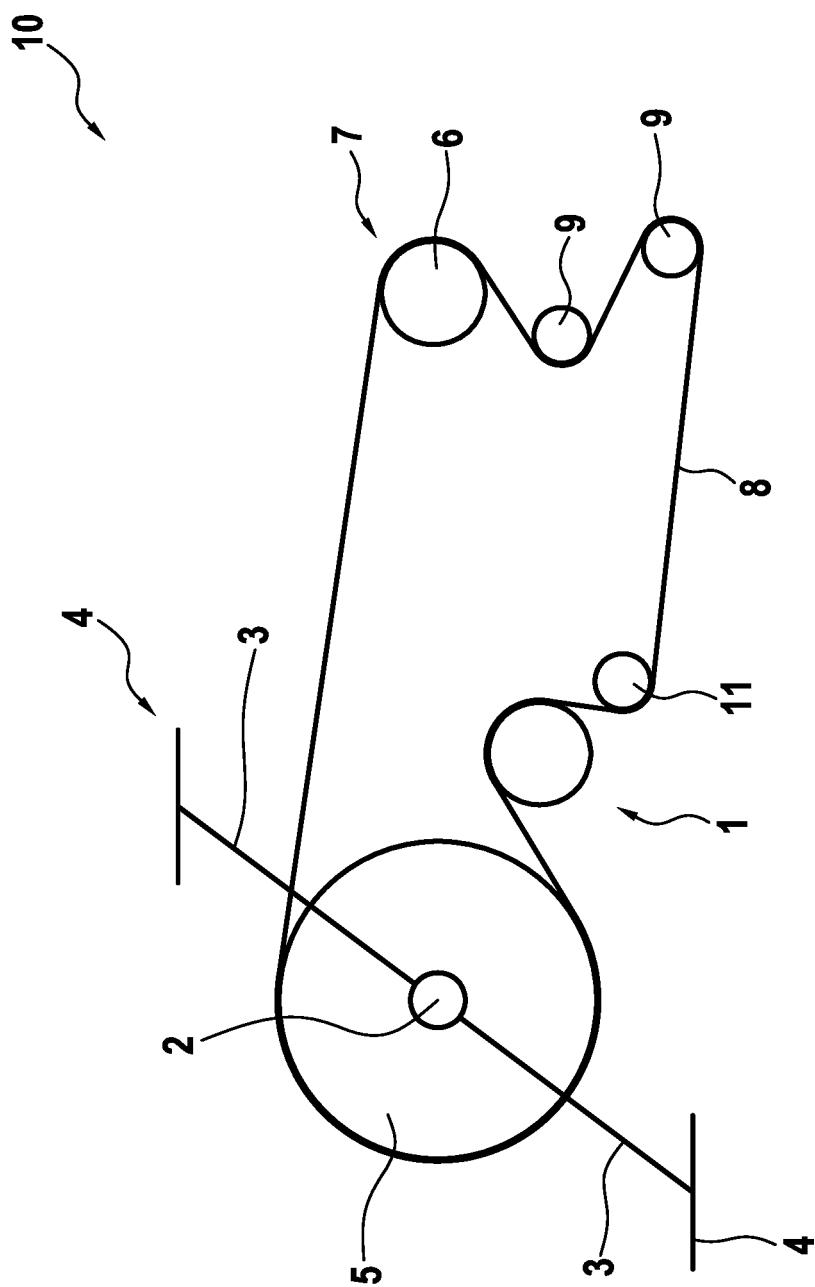
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

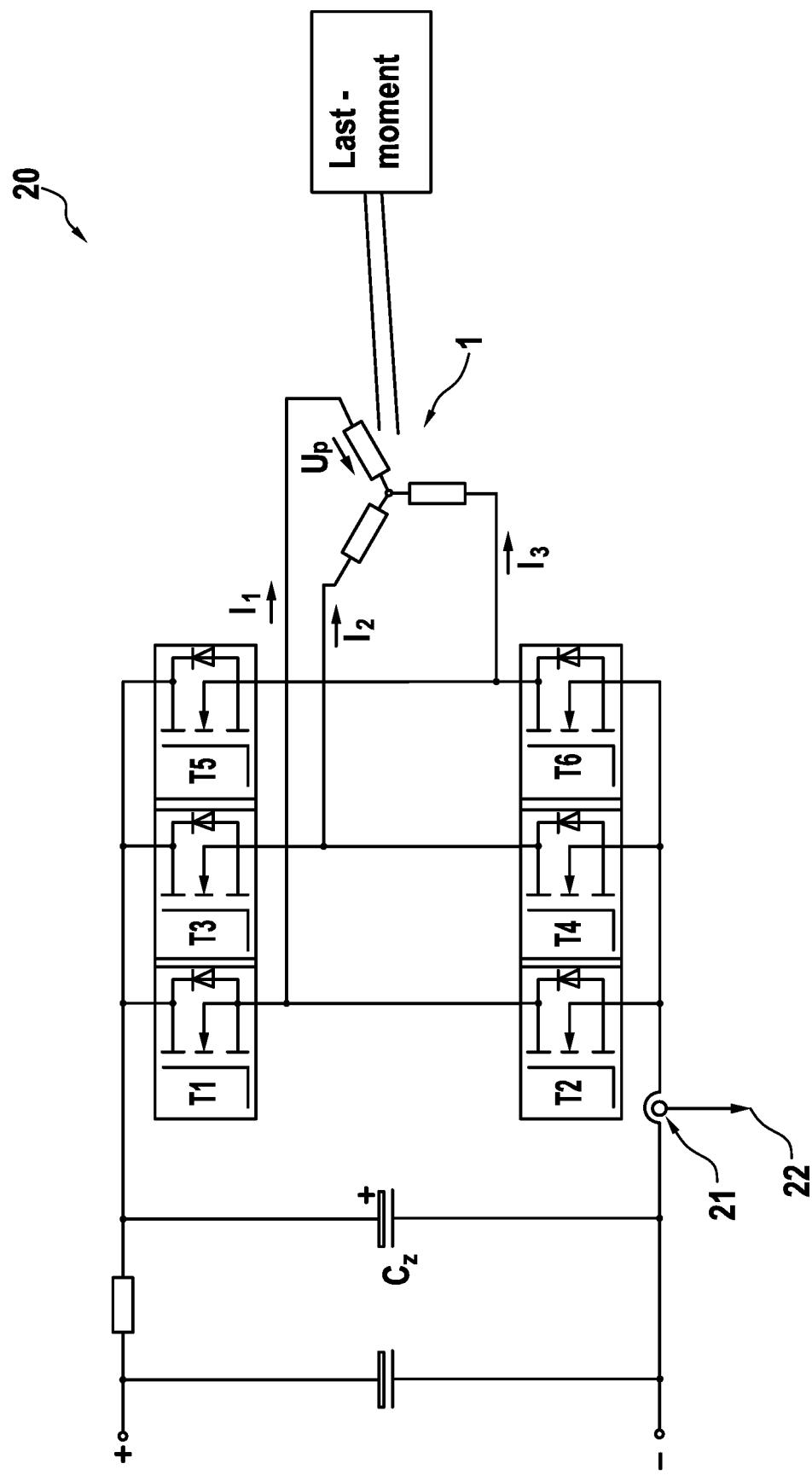
**Fig. 1**

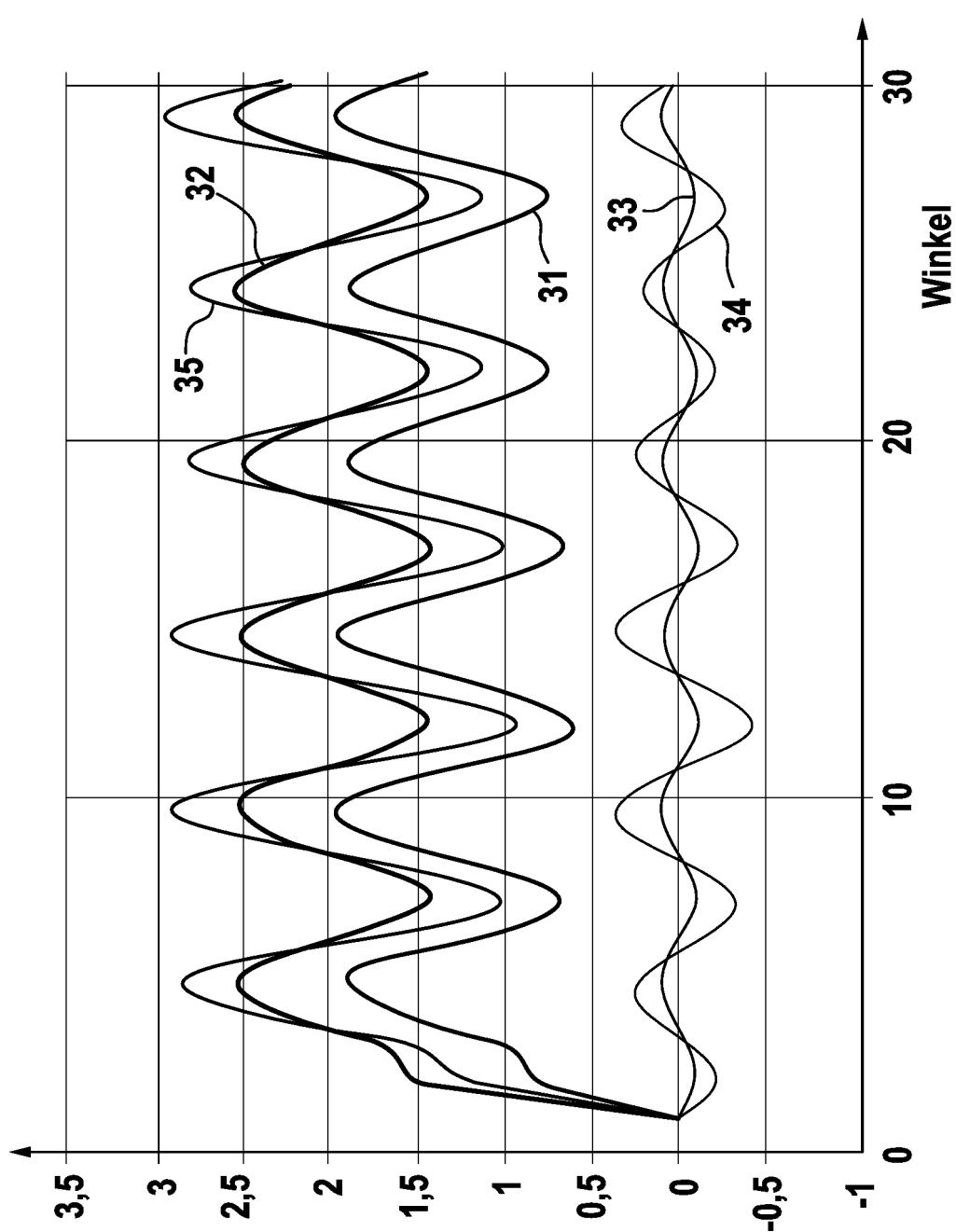


**Fig. 2**



**Fig. 3**

**Fig. 4**



**Fig. 5**

Fig. 6

