



(12)

Geänderte Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 012 208.2**
(22) Anmeldetag: **17.07.2013**
(43) Offenlegungstag: **22.01.2015**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.02.2015**
(45) Veröffentlichungstag
der geänderten Patentschrift: **04.07.2019**

(51) Int Cl.: **B62M 6/40 (2010.01)**

Patent nach Einspruchsverfahren beschränkt aufrechterhalten

(73) Patentinhaber:

**Institut für Automatisierung und Informatik
GmbH Zentrum für industrielle Forschung und
Entwicklung Wernigerode, 38855 Wernigerode,
DE**

(74) Vertreter:

**Sperling, Fischer & Heyner Patentanwälte, 39108
Magdeburg, DE**

(72) Erfinder:

**Braune, Steffen, Dipl.-Ing., 38855 Wernigerode,
DE; Kramer, Klaus-Dietrich, Prof. Dr.-Ing.,
06536 Berga, DE; Meißner, Knut, Dr. Ing., 38855
Wernigerode, DE**

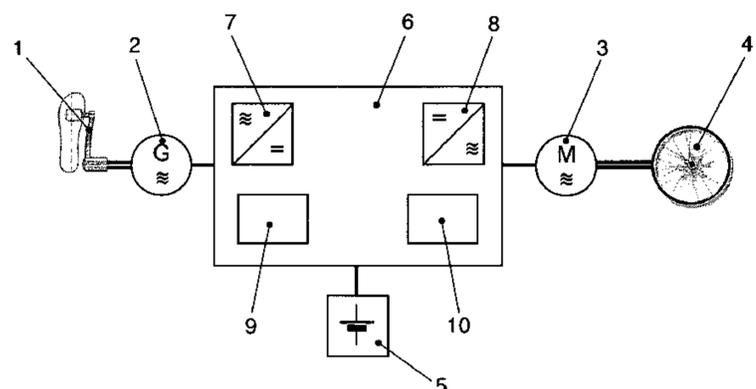
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 050 552	B3
DE	197 32 468	A1
DE	10 2011 082 082	A1
US	3 884 317	A
EP	0 784 008	A2
EP	2 384 923	A1
WO	00/ 59 773	A2
WO	2006/ 119 531	A1

(54) Bezeichnung: **Elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug**

(57) Hauptanspruch: Elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug, mindestens umfassend einen mit einer Antriebskurbel (1) mechanisch verbundenen elektrischen Generator (2), einen elektrischen Antriebsmotor (3), einen elektrischen Energiespeicher (5) und eine elektrische Schaltungsanordnung (6) zur elektrischen Verkopplung des Generators (2) mit dem Antriebsmotor (3) und dem Energiespeicher (5), dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Schaltungsanordnung (6) eine Drehzahlregelung (9), mittels derer eine Drehzahlregelung des elektrischen Generators (2) derart erfolgt, dass die Drehzahl n_G des elektrischen Generators die Bedingung $n_G \leq k_n \cdot n_R$ erfüllt, wobei n_R die Drehzahl eines durch den elektrischen Antriebsmotor (3) angetriebenen Rades (4) des Fahrzeuges und k_n ein vorgegebener Drehzahlübersetzungsfaktor sind, und eine Drehmomentenregelung (10), mittels derer eine Drehmomentenregelung des elektrischen Antriebsmotors (3) derart erfolgt, dass das vom elektrischen Antriebsmotor (3) erzeugte Drehmoment M_A die Bedingung $M_A = k_M \cdot M_G$ erfüllt, wobei M_G das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des elektrischen Generators (2) erzeugte Drehmoment und k_M ein vorgegebener Antriebsmomentenfaktor sind, aufweist, und dass die Drehzahlregelung (9) mit einer Einrichtung (20) zur Erfassung der Drehzahl n_R eines durch den elektrischen Antriebsmotor (3) angetriebenen Rades (4) des

Fahrzeuges und einer Einrichtung (19) zur Erfassung der Drehzahl n_G ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug, mindestens umfassend einen mit einer Antriebskurbel mechanisch verbundenen elektrischen Generator, einen elektrischen Antriebsmotor, einen elektrischen Energiespeicher und eine elektrische Schaltungsanordnung zur elektrischen Verkopplung des Generators mit dem Antriebsmotor und dem Energiespeicher.

[0002] Aus der DE 196 00 698 A1 ist ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug, insbesondere Fahrrad, bekannt, das einen zur Stromerzeugung durch einen Fahrzeugbenutzer antreibbaren Generator und mindestens einen Elektromotor zum Antrieb des Fahrzeuges umfasst. Dabei sind der Generator und der Elektromotor zur Übertragung der elektrischen Leistung miteinander verbunden. Bevorzugt ist dem Generator eine elektrische Steuerung zugeordnet, mittels derer die Größe der aus dem Generator ausgekoppelten Leistung veränderbar ist, wodurch das zum Antrieb des Generators erforderliche Drehmoment entweder durch die Steuerung oder durch den Fahrzeugbenutzer verändert werden kann, um auf diese Weise die erzeugte elektrische Leistung zu beeinflussen. Die elektrische Steuerung kann dabei so ausgebildet sein, dass der Fahrzeugbenutzer eine Änderung des Fahrwiderstandes des Fahrzeuges, beispielsweise bei einer Bergauf- oder Bergabfahrt oder infolge einer Änderung des Fahrtwindes, direkt am Tretwiderstand der Tretkurbel, also des zum Antrieb des Generators erforderlichen Drehmomentes, spürt. Dabei kann die Möglichkeit der Veränderung des zum Antrieb des Generators erforderlichen Drehmomentes durch den Fahrzeugbenutzer in der Art einer elektrischen Gangschaltung vorgesehen sein. Die vom Fahrzeugbenutzer aufzubringende Leistung ergibt sich als Produkt aus Drehmoment und Drehzahl des Generators bzw. der mit dem Generator mechanisch verbundenen Tretkurbel. Nachteilig bei dieser Lösung ist, dass beim Anfahren aus dem Stillstand dem Fahrzeugbenutzer keine adäquat dem Tretgefühl und der Gewöhnung beim Fahren eines konventionellen mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges große Leistung abverlangt wird, also kein entsprechend großes Drehmoment zum Drehen der Tretkurbel aus dem Stillstand erforderlich ist.

[0003] Zur Behebung dieses Nachteiles wird in der EP 1 165 188 B1 ein mit Muskelkraft betriebenes elektrisches Antriebssystem für ein Fahrzeug vorgeschlagen, das, wie bereits bekannt, einen mechanisch mit einer Tretkurbel verbundenen Generator, der durch den Fahrzeugbenutzer antreibbar ist, einen Elektromotor zum Antrieb des Fahrzeuges und eine elektrische Steuerung umfasst, wobei die elektrische Steuerung ein Steuerprogramm des Generators aufweist, das die Erzeugung eines Gegenmomentes

am Generator, bezogen auf die Vorwärts-Tretichtung ermöglicht und dass eine Anfahrsteuerung des Generators vorgesehen ist, mit welcher ein bei Betätigung der Tretkurbel aus dem Stillstand heraus unmittelbar auftretender hoher Tretwiderstand erzeugt wird. Dabei ist vorgesehen, den hohen Tretwiderstand vom Anfahren aus dem Stillstand bis zum Erreichen einer minimalen Fahrgeschwindigkeit zu erzeugen. Nachteilig bei dieser Lösung ist, dass der Tretwiderstand beim Anfahren aus dem Stillstand bis zum Erreichen einer minimalen Fahrgeschwindigkeit nur Werte annehmen kann, die im Steuerprogramm des Generators vorgesehen, also vorbestimmt sind. Ein dem Tretgefühl und der Gewöhnung beim Anfahren aus dem Stillstand eines konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges adäquater Tretwiderstand oder, allgemeiner ausgedrückt, ein adäquates Verhalten des Fahrzeuges wird jedenfalls bei unterschiedlichen Bedingungen, wie Bergauf- oder Bergabfahrt oder wechselnden Windverhältnissen beim Anfahren, mit diesem Antriebssystem nicht erreicht.

[0004] Auch in der US 3 884 317 A wird lediglich ein elektrisches Antriebssystem für ein elektrisch angetriebenes Fahrrad beschrieben, bei dem ein mit einer Tretkurbel verbundener Generator so betrieben wird, dass die Tretkurbel durch den Fahrradbenutzer mit einer für ihn angenehmen Drehzahl betätigt werden kann. Das elektrische Antriebssystem umfasst weiterhin einen auf das Vorder- und/oder Hinterrad wirkenden elektrischen Antriebsmotor, einen elektrischen Energiespeicher und eine elektrische Steuerung zur Steuerung der Motordrehzahl und damit der Geschwindigkeit des Fahrrades sowie des elektrischen Leistungsflusses zwischen dem elektrischen Generator, dem elektrischen Energiespeicher und dem elektrischen Antriebsmotor. Ein dem Tretgefühl und der Gewöhnung beim Anfahren aus dem Stillstand eines konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges adäquater Tretwiderstand oder, allgemeiner ausgedrückt, ein adäquates Verhalten des Fahrzeuges wird bei unterschiedlichen Bedingungen, wie Bergauf- oder Bergabfahrt oder wechselnden Windverhältnissen beim Anfahren, mit diesem Antriebssystem ebenfalls nicht erreicht.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines elektrischen Antriebssystems für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug, das einen Kurbelwiderstand der Antriebskurbel beim Anfahren aus dem Stillstand bei unterschiedlichsten Bedingungen bewirkt, welche dem Fahrzeugbenutzer ein Gefühl vermittelt, das dem Gefühl und der Gewöhnung beim Anfahren aus dem Stillstand eines konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges adäquat ist, wobei für den Falle eines Antriebssystems für ein Fahrrad die Antriebskurbel eine Tretkurbel ist und der Kurbelwiderstand ein Tretwiderstand und das Gefühl ein Tretgefühl ist.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug gemäß dem Hauptanspruch gelöst. Die Ansprüche 2 und 3 beschreiben vorteilhafte Weiterbildungen des elektrischen Antriebssystems.

[0007] Das elektrische Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug umfasst mindestens einen mit einer Antriebskurbel mechanisch verbundenen elektrischen Generator, einen elektrischen Antriebsmotor, einen elektrischen Energiespeicher und eine elektrische Schaltungsanordnung zur elektrischen Verkopplung des Generators mit dem Antriebsmotor und dem Energiespeicher und ist dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Schaltungsanordnung eine Drehzahlregelung, mittels derer eine Drehzahlregelung des elektrischen Generators derart erfolgt, dass die Drehzahl n_G des elektrischen Generators die Bedingung $n_G \leq k_n \cdot n_R$ erfüllt, wobei n_R die Drehzahl eines durch den elektrischen Antriebsmotor angetriebenen Rades des Fahrzeuges und k_n ein vorgegebener Drehzahlübersetzungsfaktor sind, und eine Drehmomentenregelung, mittels derer eine Drehmomentenregelung des elektrischen Antriebsmotors derart erfolgt, dass das vom elektrischen Antriebsmotor erzeugte Drehmoment M_A die Bedingung $M_A = k_M \cdot M_G$ erfüllt, wobei M_G das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des elektrischen Generators erzeugte Drehmoment M_G und k_M ein vorgegebener Antriebsmomentenfaktor sind, aufweist. Zur Vereinfachung wird nachfolgend überwiegend auf die Nennung des Zusatzes elektrisch bei den Bauelementen Generator, Antriebsmotor und Energiespeicher verzichtet. Gleichwohl sind bei der Nennung dieser Bauelemente stets elektrische Bauelemente gemeint.

[0008] Bei der Erfindung umfasst das elektrische Antriebssystem eine Einrichtung zur Erfassung der Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor angetriebenen Rades und eine Einrichtung zur Erfassung der Drehzahl n_G des Generators. Die beiden Einrichtungen zur Erfassung der Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor angetriebenen Rades und zur Erfassung der Drehzahl n_G des Generators sind elektrisch so mit der Drehzahlregelung verbunden, dass das Signal der Einrichtung zur Erfassung der Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor angetriebenen Rades als Führungsgröße für die Drehzahlregelung und das Signal der Einrichtung zur Erfassung der Drehzahl n_G des Generators als Rückführgröße der Drehzahlregelung fungieren. Die Stellgröße der Drehzahlregelung ist ein zwischen dem Energiespeicher und dem Generator antreibbarer elektrischer Strom.

[0009] Bei einer Ausbildung der Drehmomentenregelung umfasst das elektrische Antriebssystem eine Einrichtung zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A und eine Einrichtung zur Erfassung des

Generatorstromes I_G . Die beiden Einrichtungen zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A und des Generatorstromes I_G sind elektrisch derart mit der Drehmomentenregelung verbunden, dass das Signal der Einrichtung zur Erfassung des Generatorstromes I_G , welches multipliziert mit dem Verhältnis des vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators erzeugtem Drehmoment M_G zu Generatorstrom I_G dem vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators erzeugtem Drehmoment M_G entspricht, multipliziert mit dem Antriebsmomentenfaktor k_M als Führungsgröße für die Drehmomentenregelung fungiert und das Signal der Einrichtung zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A , welches multipliziert mit dem Verhältnis des vom Antriebsmotor erzeugtem Drehmoment M_A zu Antriebsmotorstrom I_A dem vom Antriebsmotor erzeugtem Drehmoment M_A entspricht, als Rückführgröße der Drehmomentenregelung fungiert. Die Stellgröße der Drehmomentenregelung ist der Antriebsmotorstrom I_A . Die Drehmomentenregelung ist dabei derart mit dem Generator und dem Energiespeicher elektrisch verbunden, dass der Antriebsmotorstrom I_A sich durch Summierung des Generatorstromes I_G und eines zwischen dem Energiespeicher und der Drehmomentenregelung fließenden Energiespeicherstromes I_S ergibt, wobei der zwischen dem Energiespeicher und der Drehmomentenregelung fließende Energiespeicherstrom I_S positiv oder negativ sein kann, also entweder aus dem Energiespeicher fließt - dem Energiespeicher wird Energie entnommen - oder in den Energiespeicher fließt - dem Energiespeicher wird Energie zugeführt.

[0010] Mittels des elektrischen Antriebssystems wird dem Fahrzeugbenutzer ein Tretgefühl vermittelt, das dem Tretgefühl und der Gewöhnung beim Fahren eines konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges adäquat ist, und zwar während aller Phasen des Fahrens und bei unterschiedlichsten Bedingungen. Unterschiedlichste Bedingungen bedeutet dabei unterschiedlichste, die angestrebte Fortbewegung des Fahrzeuges beeinflussende Faktoren, wie zum Beispiel die Neigung des zu befahrenden Weges (Bergan- oder Bergabfahrt), auf den Fahrzeugbenutzer und das Fahrzeug einwirkender Wind, unterschiedlicher Rollwiderstand des Fahrzeuges und andere Faktoren. Erreicht wird dieses Tretgefühl durch die die Bedingung Drehzahl des Generators $n_G \leq k_n \cdot$ Drehzahl eines durch den elektrischen Antriebsmotor angetriebenen Rades n_R erfüllende Drehzahlregelung, wobei k_n ein Drehzahlübersetzungsfaktor ist, der vorwählbar ist. Der Drehzahlübersetzungsfaktor kann entweder vorgewählt fest eingestellt sein, dies würde einem konventionellen Fahrzeug ohne Gangschaltung entsprechen, oder über ein vom Fahrzeugbenutzer betätigbares, in die elektrische Schaltungsanordnung integriertes Bedienelement vorgewählt und während der Fahrt verändert werden, dies würde einem konventionellen Fahrzeug mit Gang-

schaltung entsprechen. Dabei kann die Veränderung des Drehzahlübersetzungsfaktors in Stufen oder stufenlos erfolgen.

[0011] Die Einhaltung der vorgenannten Bedingung durch die Drehzahlregelung bedeutet, dass die Drehzahl des Generators und damit der mit dem Generator mechanisch verbundenen Antriebskurbel quasi starr mit der Drehzahl des vom elektrischen Antriebsmotor angetriebenen Rades verkoppelt ist. Diese Bedingung ist letztlich auch bei jedem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges gegeben.

[0012] Bei dem erfindungsgemäßen elektrischen Antriebssystem bedeutet dies, dass insbesondere beim Anfahren aus dem Stillstand, aber auch beim Aufbringen eines erhöhten Drehmomentes zur Beschleunigung der Fortbewegung des Fahrzeuges dem elektrischen Energiespeicher elektrische Energie entnommen wird, um durch den Generator ein solches Gegenmoment zu bewirken, dass die vorgenannte Bedingung: Drehzahl des Generators $n_G \leq k_n \cdot$ Drehzahl eines durch den elektrischen Antriebsmotor angetriebenen Rades n_R eingehalten wird. Der Fahrzeugbenutzer empfindet dieses Gegenmoment als den ihm vom Fahren eines konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges bekannten und gewohnten Kurbelwiderstand. Er empfindet daher beim Fahren eines erfindungsgemäßen elektrischen Antriebssystems aufweisenden Fahrzeuges ein adäquates Gefühl zu einem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeug.

[0013] Neben der beschriebenen Drehzahlregelung ist für die Fortbewegung des Fahrzeuges die Drehmomentenregelung, die die Bedingung: vom Antriebsmotor erzeugtes Drehmoment $M_A = k_M \cdot$ vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators erzeugtes Drehmoment M_G erfüllt, wobei k_M ein Antriebsmomentenfaktor ist, von großer Bedeutung.

[0014] Zur Erläuterung der Funktion des elektrischen Antriebssystems werden zunächst der Drehzahlübersetzungsfaktor $k_n = 1$ und der Antriebsmomentenfaktor $k_M = 1$ angenommen. Dies bedeutet, bei einer Umdrehung n_G des Generators absolviert auch das durch den Antriebsmotor angetriebene Rad n_R eine Umdrehung und das vom Fahrzeugbenutzer am Generator erzeugte Drehmoment M_G wird in gleicher Größe durch den elektrischen Antriebsmotor erzeugt und wirkt auf das angetriebene Rad. Beim Anfahren aus dem Stillstand erzeugt der Fahrzeugbenutzer ein Drehmoment M_G , welches in gleicher Größe durch den Antriebsmotor erzeugt und auf das angetriebene Rad wirkt. Um die Bedingung $n_G \leq k_n \cdot n_R$ zu erfüllen, wird am Generator ein Gegenmoment erzeugt, das zunächst, also beim Stillstand des durch den elektrischen Antriebsmotor angetriebenen Rades, weitgehend gleich groß dem vom Fahrzeugbenutzer erzeugten Drehmoment M_G ist, der Generator

und damit die Antriebskurbel haben, wie das vom Antriebsmotor angetriebene Rad, die Drehzahl $n_G = n_R = 0$. Hierbei ist natürlich zu beachten, dass beim Anfahren aus dem Stillstand die zur Erzeugung des Gegenmomentes am Generator notwendige Energie durch den Energiespeicher bereitgestellt werden muss, so dass bei einem realen Antriebssystem der Wert des am Generator erzeugten Gegenmomentes beim Anfahren aus dem Stillstand auf einen technisch sinnvollen Wert begrenzt sein sollte.

[0015] Der elektrische Antriebsmotor erzeugt ein Drehmoment M_A und überträgt dieses auf das angetriebene Rad, wodurch es beginnt, sich zu drehen und das Fahrzeug in Bewegung zu versetzen. Solange der Fahrzeugbenutzer am Generator ein Drehmoment M_G erzeugt, also bemüht ist, die Drehzahl n_G des Generators und damit der Antriebskurbel gegenüber der Drehzahl n_R des vom Antriebsmotor angetriebenen Rades zu erhöhen, wird dieses Drehmoment in gleicher Größe durch den elektrischen Antriebsmotor erzeugt und auf das angetriebene Rad übertragen. Das Fahrzeug wird weiter beschleunigt. Wird durch den Fahrzeugbenutzer am Generator kein Drehmoment M_G mehr erzeugt, wird also die Drehzahl n_G des Generators und damit der Antriebskurbel gegenüber der Drehzahl n_R des angetriebenen Rades reduziert, so wird durch den Antriebsmotor auch kein Drehmoment M_A mehr erzeugt und auf das angetriebene Rad übertragen. Das Fahrzeug rollt und wird infolge von Gegenwind, Rollwiderstand, der Schwerkraft bei Berganfahrt und andere Einflüsse seine Geschwindigkeit verringern. Eine Bergabfahrt kann natürlich auch zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit führen. Der vorgenannte Zusammenhang entspricht dem von einem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeug bekannten Freilauf.

[0016] Soll die Drehzahl n_R des angetriebenen Rades konstant gehalten werden, ohne dass unterstützende Kräfte (Schiebewind, Bergabfahrt) wirken, muss durch den Fahrzeugbenutzer am Generator ein Drehmoment M_G erzeugt werden, so dass durch den elektrischen Antriebsmotor ein gleich großes Drehmoment M_A erzeugt und auf das angetriebene Rad übertragen wird, um eine Verringerung der Drehzahl n_R des angetriebenen Rades infolge von Gegenwind, Rollwiderstand, Schwerkraft bei Berganfahrt und weiteren Einflüssen zu verhindern.

[0017] Der angenommenen Fall mit Antriebsmomentenfaktor $k_M = 1$, also das vom Fahrzeugbenutzer am Generator erzeugte Drehmoment $M_G =$ dem vom Antriebsmotor erzeugte, auf das angetriebene Rad übertragene Drehmoment M_A , entspricht weitgehend den Bedingungen eines konventionellen Fahrzeuges. Der Fahrzeugbenutzer bringt die gesamte zum Antrieb des Fahrzeuges notwendige Energie auf. Wird der Antriebsmomentenfaktor $k_M > 1$ gewählt, ist das vom elektrischen Antriebsmotor erzeugte und auf das

angetriebene Rad übertragene Drehmoment M_A größer als das vom Fahrzeugbenutzer erzeugte Drehmoment M_G . In diesem Fall muss dem Antriebsmotor zusätzliche Energie aus dem Energiespeicher zugeführt werden. Wird der Antriebsmomentenfaktor $k_M < 1$ gewählt, ist das vom Fahrzeugbenutzer erzeugte Drehmoment M_G größer als das vom elektrischen Antriebsmotor erzeugte und auf das angetriebene Rad übertragene Drehmoment M_A . Es kann am Generator erzeugte elektrische Energie dem Energiespeicher zugeführt werden. Zur Veränderung des Antriebsmomentenfaktors k_M kann die elektrische Schaltungsanordnung ein vom Fahrzeugbenutzer bedienbares Bedienelement aufweisen. Der Fahrzeugbenutzer kann dann zwischen den drei genannten Varianten wählen und natürlich auch die Größe der dem Energiespeicher zu entnehmenden oder zuzuführenden Energie bestimmen. Natürlich wird durch die Wahl des Antriebsmomentenfaktors k_M wesentlich das Fahrgefühl beeinflusst.

[0018] Eine Veränderung des Drehzahlübersetzungsfaktors k_n hat die Wirkung einer konventionellen Gangschaltung, wenn sie verbunden ist mit einer Veränderung des Antriebsmomentenfaktors k_M , wobei $k_M = 1/k_n$ ist.

[0019] Die vorstehend beschriebene Funktion des elektrischen Antriebssystems beim Anfahren aus dem Stillstand entspricht aufgrund der Drehzahlregelung mit der Bedingung $n_G \leq k_n * n_R$ grundsätzlich auch der Funktion des elektrischen Antriebssystems bei einer Beschleunigung der Fahrt des Fahrzeuges infolge der Erzeugung eines Drehmomentes M_G am Generator durch den Fahrzeugbenutzer oder einer Fahrt mit erhöhtem Widerstand (Berganfahrt, Gegenwind, erhöhter Rollwiderstand und weitere Einflüsse).

[0020] Der besondere Vorteil eines derartigen elektrischen Antriebssystems für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug mit einer Drehzahlregelung, die die Bedingung $n_G \leq k_n * n_R$ erfüllt, liegt letztlich darin, dass diese Bedingung quasi exakt die Verhältnisse beschreibt, die bei einem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeug vorliegen, wodurch automatisch die die Fahrt und das Fahrverhalten eines solchen Fahrzeuges beeinflussenden Umstände, wie Bergan- oder Bergabfahrt, Windverhältnisse, erhöhter Rollwiderstand infolge widriger Bodenbeschaffenheit oder Schwergängigkeit des Fahrzeuges, Körpergewicht des Fahrzeugbenutzers und andere Faktoren, berücksichtigt und diese beim Kurbelwiderstand und das Gefühl sowohl beim Anfahren aus dem Stillstand als auch beim Beschleunigen der Fahrt, aber auch bei gleichbleibender Fahrt mit üblichen der Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges entgegenwirkenden Kräften berücksichtigt werden, so dass der Fahrzeugbenutzer ein dem Fahrgefühl und der Gewöhnung von einem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeug gleiches

Verhalten des Fahrzeuges wahrnimmt. Dies wird auf einfache Weise erreicht, ohne dass dazu aufwendige Steuerkurven oder Ähnliches für unterschiedlichste Umstände, die die Fahrt und das Fahrverhalten eines Fahrzeuges beeinflussen können, erfasst, gespeichert und nachgebildet werden müssen.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels weiter erläutert. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen in

Fig. 1: ein Schema mit den wesentlichen Baugruppen eines elektrischen Antriebssystems, in

Fig. 2: ein vereinfachtes regelungstechnisches Prinzipschaltbild in

Fig. 3: schematisch den Leistungsfluss in dem elektrischen Antriebssystem beim Anfahren aus dem Stillstand und in

Fig. 4: schematisch den Leistungsfluss in dem elektrischen Antriebssystem bei „normaler“ Fahrt.

[0022] **Fig. 1** zeigt ein Schema mit den wesentlichen Baugruppen eines elektrischen Antriebssystems für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug, hier ein Fahrrad, mit einer als Trekkurbel ausgebildeten Antriebskurbel **1**, die mechanisch zur Übertragung eines von einem Fahrzeugbenutzer erzeugten Drehmomentes M_G mit einem elektrischen Generator **2** verbunden ist, einem Antriebsmotor **3**, der mechanisch zur Übertragung eines vom elektrischen Antriebsmotor **3** erzeugten Drehmomentes M_A mit einem angetriebenen Rad **4** verbunden ist, einem Energiespeicher **5** und einer elektrischen Schaltungsanordnung **6** zur elektrischen Verkopplung des Generators **2** mit dem Antriebsmotor **3** und dem Energiespeicher **5**. Der Generator **2** und der Antriebsmotor **3** sind jeweils als Drehstrommaschinen ausgebildet. Die elektrische Schaltungsanordnung **6** umfasst einen ersten Umrichter **7** zur Umwandlung des Dreiphasenwechselstromes des Generators **2** in einen Gleichstrom und umgekehrt, einen zweiten Umrichter **8** zur Umwandlung eines Gleichstromes in einen Dreiphasenwechselstrom für den Antriebsmotor **3**, eine Drehzahlregelvorrichtung **9** und eine Drehmomentenregelvorrichtung **10**. In **Fig. 1** nicht dargestellt, aber selbstverständlich mit zur elektrischen Schaltungsanordnung **6** gehören Einrichtungen zur Generierung von drehzahl- sowie drehmomentenproportionalen elektrischen Signalen, elektrische Signalverstärker und, wenn vorhanden, mit elektrischen Signalverstärkern zusammenwirkende Bedienelemente zur Beeinflussung der elektrischen Signale.

[0023] **Fig. 2** zeigt ein vereinfachtes regelungstechnisches Prinzipschaltbild des elektrischen Antriebssystems. Dargestellt sind: die Drehzahlregelvorrichtung **9** mit einem Drehzahlregelglied **11**, einem Soll-/Istwertvergleicher **12** und einer Stellein-

richtung 13 zur Beeinflussung des Generatorstromes I_G , die Drehmomentenregel-einrichtung 10 mit einem Drehmomentenregelglied 14, einem Soll-/Istwertvergleich 15 und einer Stelleinrichtung 16 zur Beeinflussung des Antriebsmotorstromes I_A , eine Einrichtung 17 zur Erfassung des Generatorstromes I_G , eine Einrichtung 18 zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A , eine Einrichtung 19 zur Erfassung der Generator Drehzahl n_G , eine Einrichtung 20 zur Erfassung der Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor 3 angetriebenen Rades 4, ein Signalverstärker 21 zur Wandlung des Signals des Generatorstromes I_G in ein dem vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators aufgebrauchten Drehmoment M_G proportionales Signal, ein Signalverstärker 22 zur Beeinflussung des dem Drehmoment M_G proportionalen Signals entsprechend dem Antriebsmomentenfaktor k_M , ein Signalverstärker 23 zur Wandlung des Signals des Antriebsmotorstromes I_A in ein dem vom Antriebsmotor erzeugtem Drehmoment M_A proportionales Signal, ein Signalverstärker 24 zur Beeinflussung des der Drehzahl n_R des durch den elektrischen Antriebsmotor 3 angetriebenen Rades 4 proportionalen Signals entsprechend dem Drehzahlübersetzungsfaktor k_n sowie der Generator 2, der Antriebsmotor 3 mit dem mechanisch zur Übertragung eines Drehmomentes verbundenen Rades 4 und dem Energiespeicher 5.

[0024] Die Fig. 3 zeigt den Leistungsfluss in dem elektrischen Antriebssystem zwischen der als Tretkurbel ausgebildeten Antriebskurbel 1, dem Generator 2, dem Antriebsmotor 3, dem Rad 4 und dem Energiespeicher 5 beim Anfahren aus dem Stillstand. Fig. 4 zeigt den vorgenannten Leistungsfluss bei „normaler“ Fahrt, wobei unter normaler Fahrt eine Fahrt mit gleichbleibender Geschwindigkeit oder mit leichter Beschleunigung infolge erhöhten aufgebrauchten Drehmomentes M_G durch den Fahrzeugbenutzer oder mit abnehmender Geschwindigkeit verstanden wird. Bei einer Fahrt mit starker Beschleunigung infolge stark erhöhten aufgebrauchten Drehmomentes M_G durch den Fahrzeugbenutzer kann der Leistungsfluss dem in Fig. 3 gezeigten Leistungsfluss entsprechen.

[0025] Im Folgenden soll anhand der Fig. 1 bis Fig. 4 die Funktion des elektrischen Antriebssystems und dabei insbesondere der elektrischen Schaltungsanordnung erläutert werden, wobei zunächst die Phase des Anfahrens aus dem Stillstand betrachtet wird.

[0026] Die Startbedingungen dieser Phase sind eine Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor 3 angetriebenen Rades 4 $n_R = 0$ und ein vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators 2 erzeugtes Drehmoment M_G . Die Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor 3 angetriebenen Rades 4 wird mittels der Einrichtung 20 erfasst und über den Signalverstärker 24 dem positiven Eingang des Soll-/Istwert-

vergleichers 12 zugeleitet. Mittels der Einrichtung 19 wird die Drehzahl n_G des Generators 2 erfasst und dem negativen Eingang des Soll-/Istwertvergleichers 12 zugeleitet. Durch das Drehzahlregelglied 11 wird eine Stellgröße erzeugt, die über die Stelleinrichtung 13 einen vom Energiespeicher 5 gespeisten Generatorstrom I_G erzeugt, der im Generator 2 ein Gegenmoment zu dem vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators 2 erzeugten Drehmoment M_G bewirkt. Der Generatorstrom I_G wird mittels der Einrichtung 17 erfasst und über die Signalverstärker 21 und 22 als Signal für das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators 2 erzeugte Drehmoment M_G dem positiven Eingang des Soll-/Istwertvergleichers 15 zugeleitet. Mittels der Einrichtung 18 wird der Antriebsmotorstrom I_A erfasst und über den Signalverstärker 23 als Signal für das vom Antriebsmotor 3 erzeugte Drehmoment M_A dem negativen Eingang des Soll-/Istwertvergleichers 15 zugeleitet. Durch das Drehmomentenregelglied 14 wird eine Stellgröße erzeugt, die über die Stelleinrichtung 16 einen Antriebsmotorstrom I_A erzeugt, der durch den Antriebsmotor 3 ein Drehmoment M_A bewirkt, dessen Größe dem vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators 2 erzeugten Drehmoment M_G entspricht. Ist dieses Drehmoment M_A ausreichend groß, wird das Rad 4 in Drehung versetzt und das Fahrzeug beginnt eine beschleunigte Fortbewegung. Die Drehung des Rades 4 bewirkt eine Erhöhung der durch die Einrichtung 20 erfassten Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor 3 angetriebenen Rades 4. In Folge dessen wird dem positiven Eingang des Soll-/Istwertvergleichers 12 ein größeres Signal zugeführt, wodurch die Drehzahlregel-einrichtung 9 einen Generatorstrom I_G bewirkt, der den Generator 2 unter Berücksichtigung des vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators erzeugten Drehmomentes M_G mit der Drehzahl $n_G \leq k_n \cdot n_R$ drehen lässt.

[0027] Durch die Drehzahlregel-einrichtung 9, die stets die Bedingung $n_G \leq k_n \cdot n_R$ erfüllt, wird bewirkt, dass beim Anfahren aus dem Stillstand dem Fahrzeugbenutzer ein Tretwiderstand entgegenwirkt, der einem Tretgefühl entspricht, das er vom Fahren eines konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeuges kennt.

[0028] Fig. 3 zeigt den hierbei auftretenden Leistungsfluss. Eine vom Fahrzeugbenutzer an der Antriebskurbel 1 erzeugte Kurbelleistung P_K wirkt auf den Generator 2. Diesem wird über den Umrichter 7 eine Generatorleistung P_G zugeführt, die dem Energiespeicher 5 entnommen wird. Dem Antriebsmotor 3 wird über den Umrichter 8 eine Motorleistung P_M zugeführt, die vom Antriebsmotor 3 als Radleistung P_R auf das angetriebene Rad 4 übertragen wird. Dem Energiespeicher 5 wird beim Anfahren aus dem Stillstand eine Speicherleistung P_A entnommen, die sich aus der Generatorleistung P_G und der Motorleistung P_M zusammensetzt.

[0029] Zur Vereinfachung und zum besseren Verständnis wurde bei vorstehender Erläuterung der Antriebsmomentenfaktor k_M nicht weiter betrachtet. Da die Drehmomentenregelung die Bedingung $M_A = k_M \cdot M_G$ erfüllt, ist leicht zu verstehen, dass bei einem Antriebsmomentenfaktor $k_M = 1$ das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators **2** erzeugte Drehmoment M_G in gleicher Größe vom Antriebsmotor **3** erzeugt und auf das angetriebene Rad **4** übertragen wird. Wird der Antriebsmomentenfaktor $k_M < 1$ gewählt, ist folglich das vom Antriebsmotor **3** erzeugte und auf das angetriebene Rad **4** übertragene Drehmoment $M_A <$ als das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators **2** erzeugte Drehmoment M_G . Am Generator **2** wird durch den Fahrzeugbenutzer demgemäß mehr Energie erzeugt, als zum Antrieb des Fahrzeuges verwendet wird. Die überschüssige Energie wird dem Energiespeicher **5** zugeführt. Der hierbei auftretende Leistungsfluss wird in **Fig. 4** veranschaulicht. Die vom Fahrzeugbenutzer an der Antriebskurbel **1** erzeugte Kurbelleistung P_K wirkt auf den Generator **2**. Dieser erzeugt daraus die Generatorleistung P_G . Ein Teil der Generatorleistung P_G wird über die Umrichter **7** und **8** dem Antriebsmotor **3** als Motorleistung P_M zugeführt, die vom Antriebsmotor **3** als Radleistung P_R auf das angetriebene Rad **4** übertragen wird. Ein anderer Teil der Generatorleistung P_G wird über die Umrichter **7** als Speicherleistung P_A dem Energiespeicher **5** zugeführt.

[0030] Wird der Antriebsmomentenfaktor $k_M > 1$ gewählt, ist das vom Antriebsmotor **3** erzeugte und auf das angetriebene Rad **4** übertragene Drehmoment $M_A >$ als das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators **2** erzeugte Drehmoment M_G . Dem Antriebsmotor **3** muss also zusätzlich Energie aus dem Energiespeicher **5** zugeführt werden. Auch der hierbei auftretende Leistungsfluss ist in **Fig. 4** gezeigt. Die vom Fahrzeugbenutzer an der Antriebskurbel **1** erzeugte Kurbelleistung P_K wirkt auf den Generator **2**. Dieser erzeugt daraus die Generatorleistung P_G . Die Generatorleistung P_G wird über die Umrichter **7** und **8** dem Antriebsmotor **3** als ein Teil der Motorleistung P_M zugeführt. Ein weiterer Teil an Motorleistung P_M wird dem Antriebsmotor **3** aus dem Energiespeicher als Speicherleistung P_A über den Umrichter_8 zugeführt. Die gesamte dem Antriebsmotor **3** zugeführte Motorleistung P_M wird als Radleistung P_R auf das angetriebene Rad **4** übertragen.

[0031] Sowohl **Fig. 3** als auch **Fig. 4** zeigen auch einen Leistungsfluss, der bei einem generatorischen Betrieb des Antriebsmotors **3** zum Bremsen des Fahrzeuges auftritt. Dabei wird kinetische Energie des Rades **4** als Radleistung P_R dem generatorisch betriebenen Antriebsmotor **3** zugeführt, die dann als Motorleistung P_M über den Umrichter **8** dem Energiespeicher **5** als Speicherleistung P_A zugeleitet wird.

[0032] Ebenfalls zur Vereinfachung wurde vorstehend der Drehzahlübersetzungsfaktor k_n nicht weiter betrachtet. Eine Veränderung des Drehzahlübersetzungsfaktors k_n hat die Wirkung einer konventionellen Gangschaltung, wenn sie verbunden ist mit einer Veränderung des Antriebsmomentenfaktors k_M , wobei $k_M = 1/k_n$ ist.

[0033] Die Drehzahlregelung und die Drehmomentenregelung wirken auch während des „normalen“ Fahrens grundsätzlich, wie vorstehend beschrieben, also es wird durch die Drehzahlregelung stets die Bedingung Drehzahl des Generators **2** $n_G \leq k_n \cdot$ Drehzahl n_R des durch den Antriebsmotor **3** angetriebenen Rades **4** sowie durch die Drehmomentenregelung die Bedingung vom Antriebsmotor **3** erzeugtes Drehmoment $M_A = k_M \cdot$ vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators **2** erzeugtes Drehmoment M_G erfüllt. Durch die Erfüllung beider Bedingungen durch die beiden Regelungen wirken quasi automatisch wie bei einem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeug alle die Fahrt und das Fahrverhalten beeinflussenden Umstände, wie Bergan- oder Bergabfahrt, Windverhältnisse, erhöhter Rollwiderstand infolge widriger Bodenbeschaffenheit oder Schwergängigkeit des Fahrzeuges, Körpergewicht des Fahrzeugbenutzers und andere Faktoren, auf den Tretwiderstand, den der Fahrzeugbenutzer beim Fahren überwinden muss. Es wird dem Fahrzeugbenutzer damit sowohl beim Anfahren aus dem Stillstand als auch beim Beschleunigen der Fahrt, aber auch bei gleichbleibender Fahrt mit üblichen der Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges entgegenwirkenden Kräften ein Tretgefühl vermittelt, das er von einem konventionellen, mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeug kennt und gewohnt ist.

[0034] Liste der verwendeten Bezugszeichen

1 -	Antriebskurbel
2 -	Generator
3 -	Antriebsmotor
4 -	Rad
5 -	Energiespeicher
6 -	elektrische Schaltungsanordnung
7, 8 -	Umrichter
9 -	Drehzahlregeleinrichtung
10 -	Drehmomentenregeleinrichtung
11 -	Drehzahlregelglied
12 -	Soll-/Istwertvergleicher
13 -	Stelleinrichtung
14 -	Drehmomentenregelglied
15 -	Soll-/Istwertvergleicher

16 -	Stelleinrichtung
17 -	Einrichtung zur Erfassung des Generatorstromes I_G
18 -	Einrichtung zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A
19 -	Einrichtung zur Erfassung der Generatordrehzahl n_G
20 -	Einrichtung zur Erfassung der Drehzahl n_R
21 -	Signalverstärker
22 -	Signalverstärker
23 -	Signalverstärker
24 -	Signalverstärker
I_A -	Antriebsmotorstrom
I_G -	Generatorstrom
I_S -	Energiespeicherstrom
k_n -	Drehzahlübersetzungsfaktor
k_M -	Antriebsmomentenfaktor
M_A -	vom Antriebsmotor erzeugtes Drehmoment
M_G -	vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des Generators erzeugtes Drehmoment
n_G -	Drehzahl des Generators
n_R -	Drehzahl eines durch den Antriebsmotor angetriebenen Rades
P_K -	Kurbelleistung
P_G -	Generatorleistung
P_M -	Motorleistung
P_R -	Radleistung
P_A -	Speicherleistung

Patentansprüche

1. Elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug, mindestens umfassend einen mit einer Antriebskurbel (1) mechanisch verbundenen elektrischen Generator (2), einen elektrischen Antriebsmotor (3), einen elektrischen Energiespeicher (5) und eine elektrische Schaltungsanordnung (6) zur elektrischen Verkopplung des Generators (2) mit dem Antriebsmotor (3) und dem Energiespeicher (5), **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Schaltungsanordnung (6) eine Drehzahlregelung (9), mittels derer eine Drehzahlregelung des elektrischen Generators (2) derart erfolgt, dass die Drehzahl n_G des elektrischen Generators die Bedingung $n_G \leq k_n * n_R$ erfüllt, wobei n_R die Drehzahl eines durch den elektrischen Antriebsmotor (3) ange-

triebenen Rades (4) des Fahrzeuges und k_n ein vorgegebener Drehzahlübersetzungsfaktor sind, und eine Drehmomentenregelung (10), mittels derer eine Drehmomentenregelung des elektrischen Antriebsmotors (3) derart erfolgt, dass das vom elektrischen Antriebsmotor (3) erzeugte Drehmoment M_A die Bedingung $M_A = k_M * M_G$ erfüllt, wobei M_G das vom Fahrzeugbenutzer zum Antrieb des elektrischen Generators (2) erzeugte Drehmoment und k_M ein vorgegebener Antriebsmomentenfaktor sind, aufweist, und dass die Drehzahlregelung (9) mit einer Einrichtung (20) zur Erfassung der Drehzahl n_R eines durch den elektrischen Antriebsmotor (3) angetriebenen Rades (4) des Fahrzeuges und einer Einrichtung (19) zur Erfassung der Drehzahl n_G des elektrischen Generators (2) derart elektrisch verbunden ist, dass das Signal der Einrichtung (20) zur Erfassung der Drehzahl n_R des durch den elektrischen Antriebsmotor (3) angetriebenen Rades (4) als Führungsgröße für die Drehzahlregelung und das Signal der Einrichtung (19) zur Erfassung der Drehzahl n_G des elektrischen Generators (2) als Rückführgröße für die Drehzahlregelung fungiert und dass die Drehzahlregelung (9) mit dem elektrischen Energiespeicher (5) derart elektrisch verbunden ist, dass der Generatorstrom I_G die Stellgröße der Drehzahlregelung ist, wobei der Generatorstrom I_G ganz oder teilweise ein zwischen dem elektrischen Energiespeicher (5) und dem elektrischen Generator (2) antreibbarer elektrischer Energiespeicherstrom I_S sein kann.

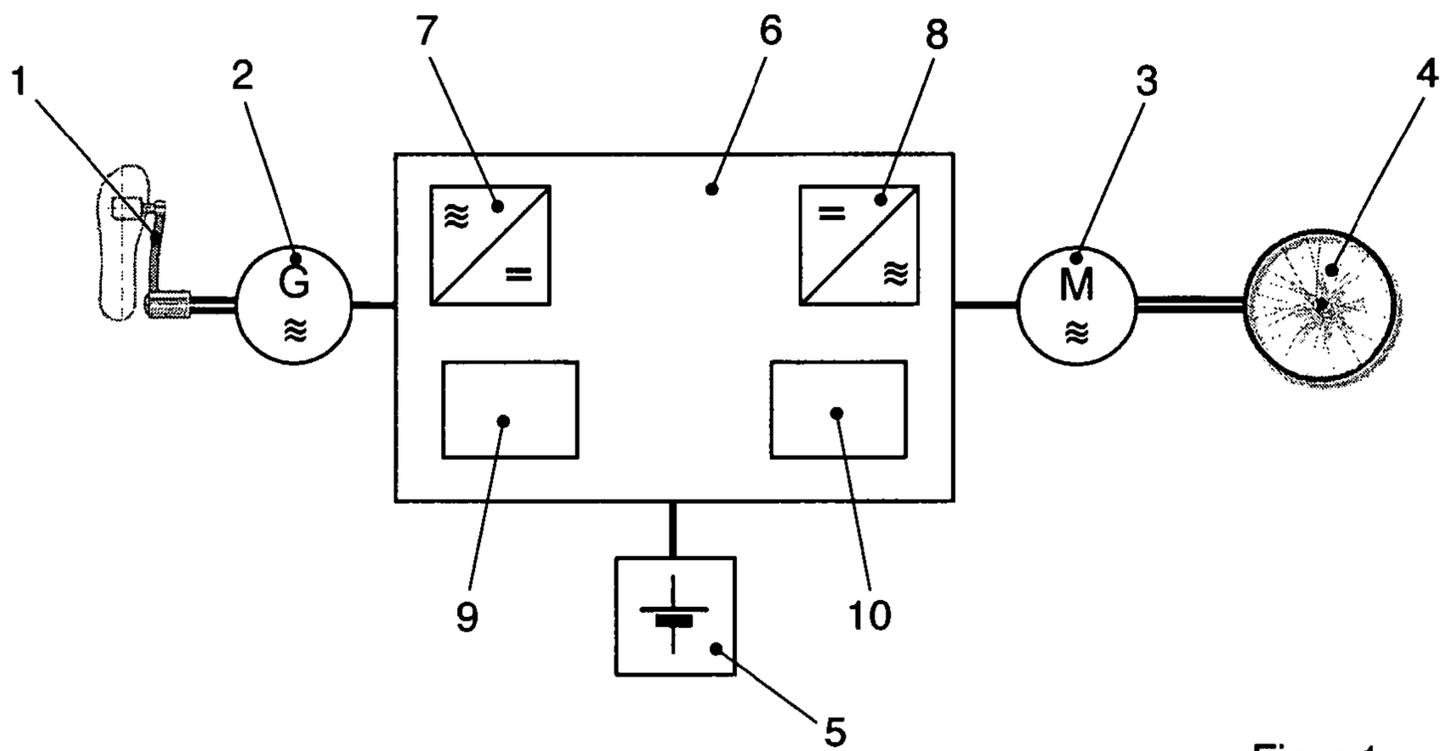
2. Elektrisches Antriebssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Schaltungsanordnung (6) ein vom Fahrzeugbenutzer betätigbares Bedienelement aufweist, mittels dessen der Drehzahlübersetzungsfaktor k_n veränderbar ist.

3. Elektrisches Antriebssystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehmomentenregelung (10) mit einer Einrichtung (18) zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A und einer Einrichtung (17) zur Erfassung des Generatorstromes I_G derart elektrisch verbunden ist, dass das Signal der Einrichtung (17) zur Erfassung des Generatorstromes I_G multipliziert mit dem Antriebsmomentenfaktor k_M als Führungsgröße für die Drehmomentenregelung fungiert und das Signal der Einrichtung (18) zur Erfassung des Antriebsmotorstromes I_A als Rückführgröße der Drehmomentenregelung fungiert, dass der Antriebsmotorstrom I_A die Stellgröße der Drehmomentenregelung ist und dass die Drehmomentenregelung (10) mit dem elektrischen Generator (2) und dem elektrischen Energiespeicher (5) derart elektrisch verbunden ist, dass der Antriebsmotorstrom I_A sich durch Summierung des Generatorstromes I_G und eines zwischen dem elektrischen Energiespeicher (5) und der Drehmomentenregelung (10) fließenden elektrischen Energiespeicherstromes I_S ergibt, wobei der zwischen dem elektrischen Energiespeicher (5) und der Dreh-

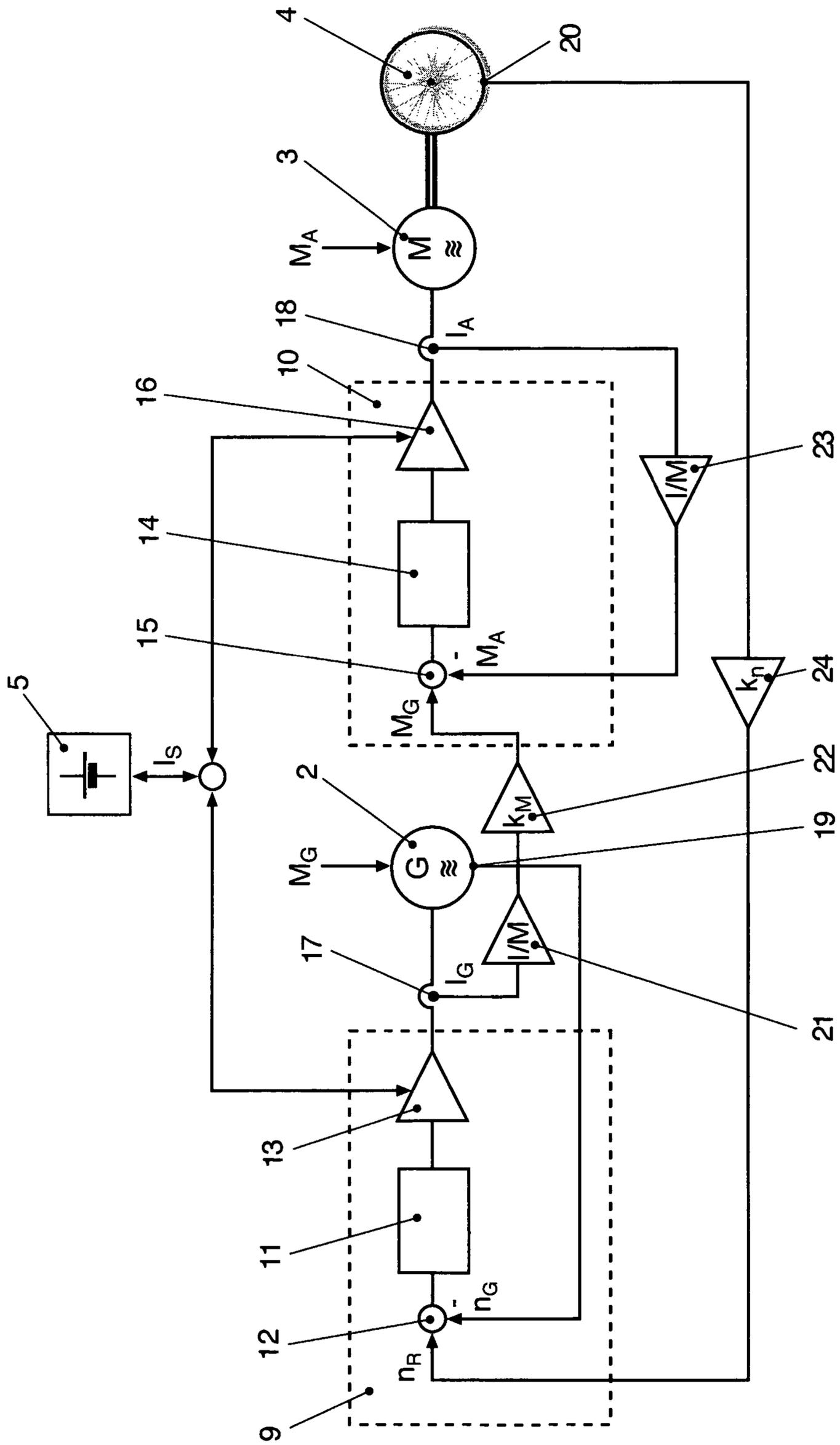
momentenregeleinrichtung (10) fließende elektrische
Energiespeicherstrom I_S positiv oder negativ sein
kann.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

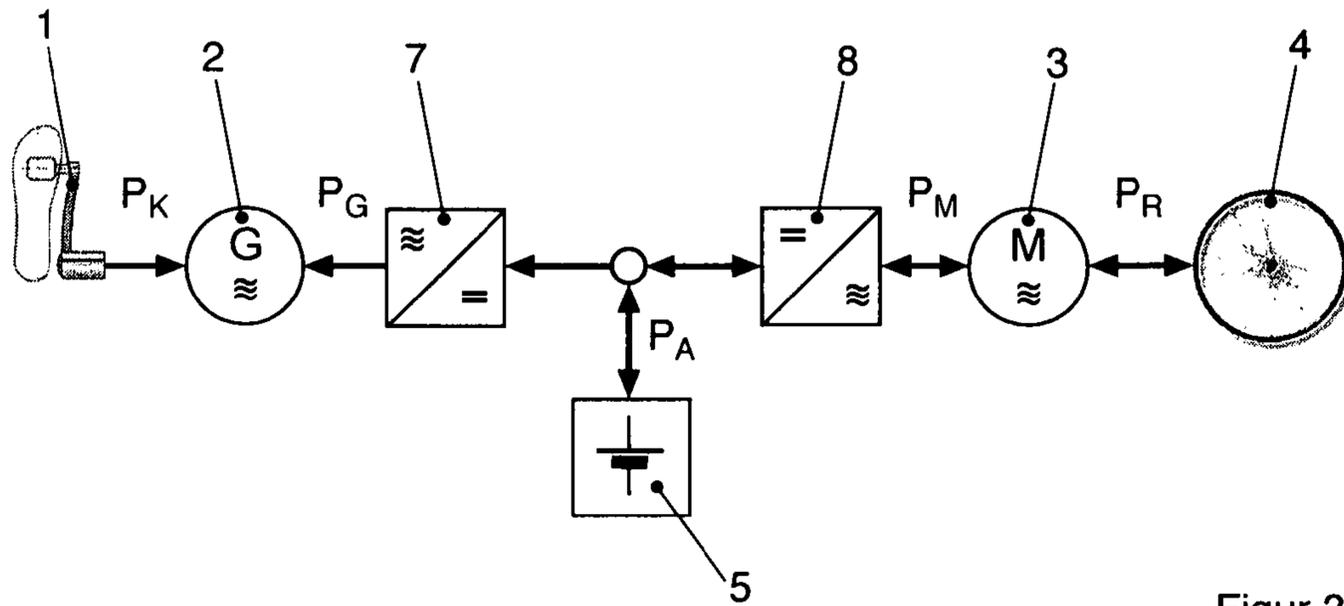
Anhängende Zeichnungen



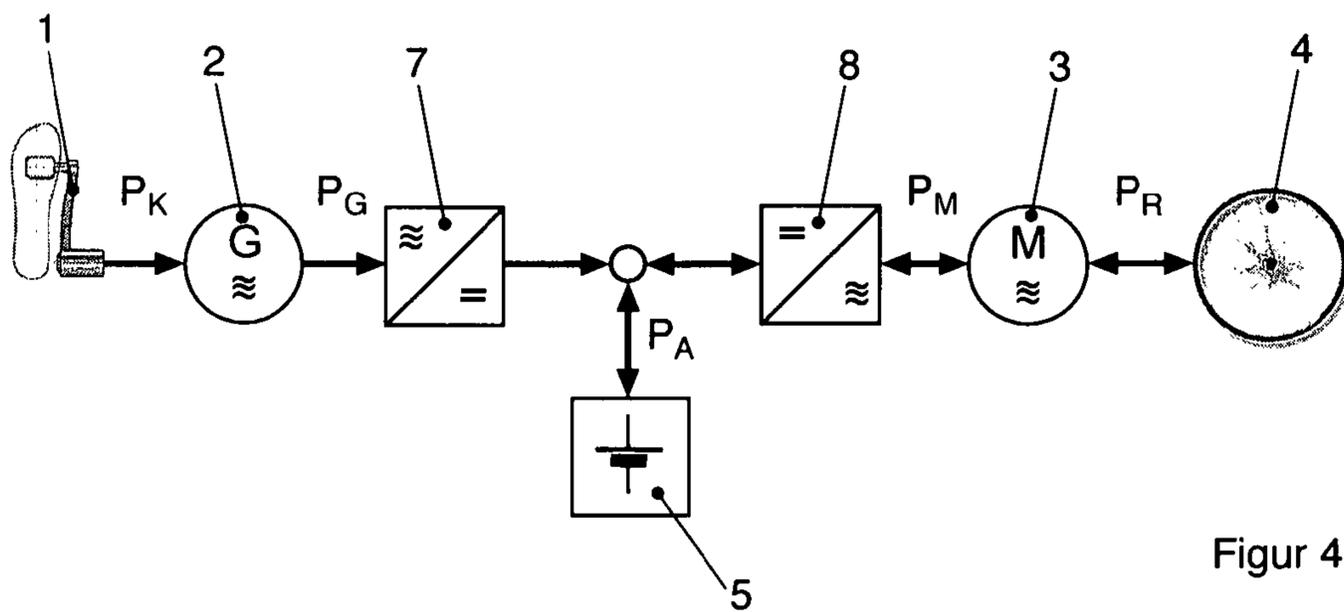
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4