

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50397/2022 (51) Int. Cl.: **B60L 15/20** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 07.06.2022 **H02P 21/05** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2023

(56) Entgegenhaltungen:
DENG, W. et al. "Electromagnetic Vibration and Noise of the Permanent-Magnet Synchronous Motors for Electric Vehicles: An Overview", IEEE Transactions on Transportation Electrification, 1 März 2019 (01.03.2019), Vol.5, No.1, Seiten 59-70, XP011715844.
CN 113708702 A
DE 102014206048 A1
DE 102020215117 A1
DE 102018115148 A1
DE 102020106591 A1
WO 2010151179 A1
WO 2020243549 A1
DE 19827133 A1
ATTAIANESE, C. et al. "Maximum Torque Per Watt (MTPW) field-oriented control of induction motor" Electrical Engineering [online]. 1. Dezember 2021 (01.12.2021). Bd. 103, Nr. 6, Seiten 2611-2623, XP037622672
EP 3964702 A1
DE 102012218017 A1

(71) Patentanmelder:
AVL LIST GMBH
8020 GRAZ (AT)
(72) Erfinder:
MAIER Stefan Bsc.
8010 Graz (AT)
GARCIA DE MADINABEITIA MERINO Inigo
8010 Graz (AT)
MEHRGOU Mehdi Msc.
8054 Seierberg (AT)
AHMED Mohamed Essam Msc.
8020 Graz (AT)
MAHROUS Safa Bsc.
8700 Leoben (AT)
DUCHI Francesco Dott. Mag.
8020 Graz (AT)
(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren und System zum Optimieren der Systemeffizienz und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (30) und ein System (20) zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems (11) des Kraftfahrzeugs (10) durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds (5) für den Elektromotor (12) des elektrischen Antriebssystems (11).

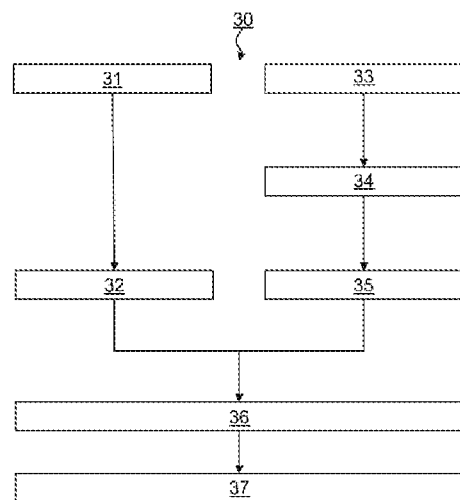


Fig. 3

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (30) und ein System (20) zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems (11) des Kraftfahrzeugs (10) durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds (5) für den Elektromotor (12) des elektrischen Antriebssystems (11).

Fig. 3

Verfahren und System zum Optimieren der Systemeffizienz und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds für einen Elektromotor des elektrischen Antriebssystems sowie eine Verwendung des optimierten Betriebskennfelds in einem Kraftfahrzeug und ein Computerprogrammprodukt.

Die Verbesserung des Fahrkomforts ist eines der großen Themen für die Zukunft der Mobilität, insbesondere der Elektromobilität. Ein Teil davon ist die Reduzierung der hör- und/oder spürbaren Schwingungen (engl. "Noise Vibration Harshness", kurz NVH) im Betrieb des Kraftfahrzeugs. Hierneben ist auch die Optimierung der Effizienz von Fahrzeugen, insbesondere elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen, ein wichtiges Thema, um hohe Reichweiten bereitzustellen und die Verbrauchskosten gering zu halten.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Ansätze bekannt, um das Ziel der NVH-Reduzierung zu erreichen, etwa durch Anpassung der Geometrie des Kraftfahrzeugs oder Hinzufügen von Dämpfungselementen im Kraftfahrzeug.

Allerdings sind die bekannten Ansätze mit Nachteilen, wie insbesondere höheren Kosten, einem höheren Gewicht usw. verbunden. Außerdem sind den bekannten Ansätzen Grenzen gesetzt. So ist es im Stand der Technik kaum oder nur schwer möglich, die hör- und/oder spürbaren Schwingungen von Komponenten des elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs zu reduzieren.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise, den Fahrkomfort eines Kraftfahrzeugs mit einem elektrischen Antriebssystem durch Reduktion von hör- und/oder spürbaren Schwingungen zu erhöhen, wobei gleichzeitig eine hohe Effizienz und Reichweite des Fahrzeugs ermöglicht werden soll.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Verwendung mit den Merkmalen des Anspruchs 13, ein System mit den Merkmalen des Anspruchs 14 sowie ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Verwendung, dem erfindungsgemäßen System sowie dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt und jeweils umgekehrt, sodass bzgl. der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems des Kraftfahrzeugs durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds für einen Elektromotor des elektrischen Antriebssystems vorgesehen. Das Verfahren weist dabei die folgenden Schritte auf:

- (a) Bereitstellen eines auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds des Elektromotors, wobei das voroptimierte Betriebskennfeld Betriebspunkte des Elektromotors umfasst,
- (b) Bereitstellen eines Betriebszusammenhangs zwischen Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds und hör- und/oder spürbaren Schwingungen (engl. "Noise Vibration Harshness", kurz NVH) zumindest einer Komponente des elektrischen Antriebssystems für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds,
- (c) Bestimmen zumindest einer Bedingung einer maximal zulässigen Effizienzverschlechterung bei Veränderung von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds,
- (d) Verändern von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich des voroptimierten Betriebskennfelds auf Basis des Betriebszusammenhangs zum Reduzieren der hör- und/oder

spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, wobei die zumindest eine Bedingung eingehalten wird, und

- (e) Ausgeben des veränderten voroptimierten Betriebskennfelds als optimiertes Betriebskennfeld.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt damit im Ergebnis ein in Richtung Effizienz und NVH optimiertes Betriebskennfeld bereit, welches bei Anwendung zur Steuerung des Elektromotors in einem Kraftfahrzeug mit elektrischem Antriebssystem über reduzierte hör- und/oder spürbare Schwingungen des elektrischen Antriebssystems im Betrieb bei gleichzeitig hoher Effizienz verfügt. Die Lösung nutzt damit insbesondere den einzigartigen Vorteil von Elektromotoren, dass die Steuerungen von Elektromotoren in hohem Maße einstellbar sind und ein hohes Optimierungspotenzial für elektrische Antriebssysteme in mehrere Richtungen bieten. Vorliegend wird dieses Optimierungspotenzial genutzt, um die Optimierung des NVH-Potenzials zumindest in einem Teilbetriebsbereich, insbesondere dem kritischsten Teil, des auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds bzw. Steuerkennfelds umzusetzen.

Insbesondere kann die Reduktion der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich dabei mit einem Effizienzverlust in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich einhergehen. Das bedeutet, dass die Optimierung des Betriebskennfelds in Richtung reduzierter hör- und/oder spürbarer Schwingungen nicht gänzlich ohne Nachteil durchgeführt wird, auch wenn dieser geringer ausfällt als im Stand der Technik, sondern in dem optimierten Betriebskennfeld an den veränderten Betriebspunkten mit einer gegenüber dem voroptimierten Betriebskennfeld reduzierten Effizienz einhergeht. Entsprechend können die Betriebspunkte also durch Veränderung von Betriebsparametern des Elektromotors an den Betriebspunkten zu Ungunsten der Effizienz, damit jedoch zu Gunsten von geringeren Schwingungen manipuliert werden.

Um diesen Nachteil auszugleichen bzw. bei der Veränderung der Betriebspunkte zu berücksichtigen, damit das auf Effizienz voroptimierte Betriebskennfeld nicht seine hohe Effizienz und damit ermöglichte hohe Reichweite des Kraftfahrzeugs einbüßt, sieht das erfindungsgemäße Verfahren die Bedingung einer maximalen zulässigen Effizienzverschlechterung für die Veränderung der Betriebspunkte des voroptimierten

Betriebskennfelds vor. Die Bedingung gibt also an, wie sehr die Effizienz in dem Teilbetriebsbereich gegenüber der durch die Voroptimierung erreichte bzw. das voroptimierte Betriebskennfeld bereitgestellte Effizienz gesenkt werden kann, um eine NVH-Reduzierung zu betreiben. Dadurch kann eine NVH-Optimierung, also eine Reduzierung der hör- und/oder spürbaren Schwingungen, mit einer Effizienz-Optimierung des Betriebskennfelds des Elektromotors kombiniert werden. So wird ein auf NVH und Effizienz optimiertes und aufgrund der Gegensätzlichkeit beider Optimierungsziele balanciertes Betriebskennfeld erhalten.

Die Bedingung kann vorteilhafterweise eine maximal zulässige Effizienzverschlechterung um höchstens 20 %, ganz besonders um höchstens 15 %, ferner ganz besonders um höchstens 10 % und weiterhin ganz besonders um höchstens 5 % gegenüber einer Effizienz von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds sein.

Beispielsweise können mehrere verschiedene Bedingungen einer maximalen zulässigen Effizienzverschlechterung bei Veränderung der Betriebspunkte des voroptimierten Betriebskennfelds vorgesehen werden. Dadurch können in einzelnen Teilbetriebsbereichen unterschiedliche Bedingungen angelegt werden. Die unterschiedlichen Bedingungen unterscheiden sich in der maximal zulässigen Effizienzverschlechterung ihrer Höhe nach. Möglich ist es auch, in Abhängigkeit von den verschiedenen Bedingungen unterschiedliche optimierte Betriebskennfelder bereitzustellen, also insbesondere die Verfahrensschritte (d) und (e) mehrmals, und zwar für unterschiedliche Bedingungen auszuführen. So können dem Kraftfahrzeug, insbesondere dem Fahrer, unterschiedliche Fahrmodi angeboten werden.

Beispielsweise ein quasi geräuschloser Modus bzw. Komfort-Modus, bei dem die maximal zulässige Effizienzverschlechterung sehr groß, beispielsweise bis zu 20 % ausfallen kann. Ein anderer Fahrmodus kann beispielsweise ein kombinierten Komfort-/Effizienz-Modus sein, bei dem die maximal zulässige Effizienzverschlechterung bis zu 5 % oder 10 % ausfällt, sodass hier ein Mischung aus hoher Effizienz und NVH-Reduktion vorliegt. Wiederum kann ein anderer Fahrmodus ein Sport-Modus sein, bei dem eine maximal zulässigen Effizienzverschlechterung von höchstens 1 oder 2 % gewählt wird, damit die größtmögliche Leistung des elektrischen Antriebssystems für ein besonders sportliches Fahren abrufbar ist, während Geräusche beim sportlichen Fahren eine eher untergeordnete Rolle spielen, die insoweit stärker in Kauf genommen werden.

Als das Betriebskennfeld eines Elektromotors wird insbesondere eine Mehrheit von Betriebspunkten oder eine Gesamtheit aller Betriebspunkte des Elektromotors verstanden. Die Betriebspunkte können dabei in beliebiger Form von dem Betriebskennfeld organisiert sein, beispielsweise in einer Tabelle, in Form einer oder mehrerer Funktionen, in Form von zwei- oder dreidimensionalen Diagrammen, einer beliebigen Kombination der vorgenannten oder dergleichen. Die Betriebspunkte werden dabei insbesondere durch das Drehmoment und die Drehzahl definiert. Das Betriebskennfeld ist insbesondere in bekannter Weise zweidimensional darstellbar, wobei die Betriebspunkte des Elektromotors das Betriebskennfeld über die auf Achsen abgetragenen Drehmomente und Drehzahlen des Elektromotors aufspannen.

Mit dem später erwähnten Ausgangs-Betriebskennfeld ist dasjenige Betriebskennfeld gemeint, welches als Ausgangspunkt für das Verfahren dient bzw. bereitgestellt werden kann. Mit anderen Worten ist das Ausgangs-Betriebskennfeld dasjenige ursprünglich bereitgestellte Betriebskennfeld, welches durch das Verfahren optimiert wird. Das voroptimierte Betriebskennfeld ist das auf Effizienz voroptimierte Ausgangs-Betriebskennfeld. Das optimierte Betriebskennfeld ist das Ergebnis des Verfahrens, also das durch das Verfahren optimierte Ausgangs-Betriebskennfeld nach seiner Voroptimierung. Das optimierte Betriebskennfeld ist dabei gegenüber dem voroptimierten Betriebskennfeld zumindest teilweise in Richtung reduzierter hör- und/oder spürbarer Schwingungen des elektrischen Antriebssystems des Kraftfahrzeugs optimiert.

Die Ausgabe des optimierten Betriebskennfelds in Verfahrensschritt (e) erfolgt insbesondere zur Nutzung in dem Elektromotor des elektrischen Antriebssystems des Kraftfahrzeugs bzw. einem entsprechenden Steuergerät des Elektromotors. Dabei kann die Ausgabe verschiedene Ausgestaltungen annehmen. So kann es sich bei dem Ausgeben beispielsweise um ein Speichern, Senden und/oder Anzeigen des optimierten Betriebskennfelds handeln. Darüber hinaus kann das Verfahren selbstverständlich auch das Nutzen des optimierten Betriebskennfelds in dem Elektromotor des elektrischen Antriebssystems des Kraftfahrzeugs aufweisen.

Es ist nicht notwendig, aber möglich, sämtliche Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens in der durch die Nummerierung der Verfahrensschritte (a) bis (e) angegebenen Reihenfolge auszuführen. So können

einzelne Verfahrensschritte auch in anderer als dieser Reihenfolge ausgeführt werden. Beispielsweise kann der Verfahrensschritt (a) vor oder nach dem Verfahrensschritt (b) ausgeführt werden. Auch können Verfahrensschritte simultan ausgeführt werden. So können beispielsweise die Verfahrensschritte (a) und (b) simultan ausgeführt werden. Die Nummerierung der Verfahrensschritte (a) bis (e) dient insoweit lediglich der besseren Übersichtlichkeit.

Vorteilhafterweise kann der Betriebszusammenhang durch ein Kraftkennfeld gegeben sein, welches im Betrieb des Elektromotors an der zumindest einen Komponente des elektrischen Antriebssystems auftretende Kräfte für den zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds umfasst. Als das Kraftkennfeld der zumindest einen Komponente des elektrischen Antriebssystems wird insbesondere eine Mehrheit oder Gesamtheit von im Betrieb des Elektromotors an zumindest einer, mehreren oder allen Komponenten des elektrischen Antriebssystems oder an Bauteilen einer oder mehrerer Komponenten des elektrischen Antriebssystems auftretenden Kräften in Abhängigkeit von den durchlaufenen Betriebspunkten verstanden. Diese Kräfte können in Form von Kraftpunkten oder Kraftkenndaten gespeichert sein. Die Kraftpunkte können dabei in beliebiger Form von dem Kraftkennfeld organisiert sein, beispielsweise in einer Tabelle, in Form einer oder mehrerer Funktionen, in Form von zwei- oder dreidimensionalen Diagrammen, einer beliebigen Kombination der vorgenannten oder dergleichen. Die Kraftpunkte können dabei beispielsweise durch eine Angabe der an der zumindest einen Komponente auftretenden Kraft in Newton über einem oder mehreren Betriebsparametern des Elektromotors, beispielsweise einer Stromstärke, einem Phasenwinkel usw., definiert sein. Dabei macht sich das erfindungsgemäße Verfahren zu Nutze, dass das Kraftkennfeld durch die Charakterisierung der auftretenden Kräfte über den Betriebspunkten bzw. in Abhängigkeit von den Betriebspunkten Aufschluss über die hör- und/oder spürbaren Schwingungen an den Betriebspunkten gibt. Mit anderen Worten korrelieren die auftretenden und anhand des Kraftkennfelds bekannten Kräfte zumindest teilweise mit den hör- und/oder spürbaren Schwingungen bei den jeweiligen Betriebspunkten. Dadurch kann in dem Verfahrensschritt (d) das Verändern der Betriebspunkte des voroptimierten Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich, insbesondere einem in Bezug auf die hör- und/oder spürbaren Schwingungen besonders kritischen bzw. den Fahrkomfort einschränkenden Bereich, des voroptimierten Betriebskennfelds auf Basis des bereitgestellten Kraftkennfelds zum

Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich erfolgen, wobei die zumindest eine Bedingung eingehalten wird.

Möglich ist zudem, dass das Verfahren ferner das Erzeugen des Kraftkennfelds auf Basis eines Simulationsmodells der zumindest einen Komponente, insbesondere des Elektromotors und ferner insbesondere des gesamten elektrischen Antriebssystems oder des gesamten Kraftfahrzeugs, aufweist. Dadurch, dass ein Simulationsmodell zum Einsatz kommt, kann das Kraftkennfeld zerstörungsfrei, schnell und präzise ermittelt werden, statt eine reale Messung im Kraftfahrzeug durchzuführen. Dabei kann das Erzeugen des Kraftkennfelds vorteilhafterweise auf Basis einer Finite Elemente Analyse erfolgen.

Grundsätzlich kann zudem vorgesehen sein, dass das Verfahren für verschiedene Temperaturen und/oder Schwingungsordnungen durchgeführt oder wiederholt wird. Dabei können jeweils Kraftkennfelder für verschiedene Temperaturen und/oder Schwingungsordnungen bereitgestellt werden.

Vorteilhafterweise kann die zumindest eine Komponente eine elektrische Antriebskomponente des elektrischen Antriebssystems sein. Sie kann beispielsweise der Elektromotor, eine Traktionsbatterie, ein Wechselrichter, Leistungselektronik und/oder ein Getriebe des elektrischen Antriebssystems sein.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die zumindest eine Komponente des elektrischen Antriebssystems der Elektromotor oder ein Bauteil des Elektromotors des elektrischen Antriebssystems ist. Dann wird der Betriebszusammenhang, insbesondere das Kraftkennfeld, für den Elektromotor oder zumindest ein Bauteil des Elektromotors bereitgestellt. So können selbst die hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors, die den Fahrkomfort besonders beeinträchtigen können, mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens direkt reduziert werden. Beispielsweise kann das Bauteil ein Stator des Elektromotors sein. Das Verfahren kann insoweit auch als Verfahren zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors spezifiziert werden.

Vorteilhafterweise wird das Verfahren außerdem außerhalb des Kraftfahrzeugs ausgeführt. Dies ermöglicht eine Optimierung des voroptimierten Betriebskennfelds oder, wie später näher erläutert wird, eines initial bereitgestellten Ausgangs-Betriebskennfelds des Elektromotors des elektrischen Antriebssystems vor der

späteren online-Nutzung in dem elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeug. Die Ausführung des Verfahrens außerhalb des Kraftfahrzeugs kann entsprechend auch als offline bezeichnet werden. Vorteilhafterweise können so jeweils individuelle Elektromotoren bzw. individuelle Kraftfahrzeuge vorab optimiert werden und die optimierten Betriebskennfelder dann bei der online-Nutzung dieser jeweils verwendet werden. Vorteilhafterweise werden durch die Ausführung des Verfahrens außerhalb des Kraftfahrzeugs dabei keine (CPU-)Ressourcen, insbesondere keine Rechenressourcen von Steuergeräten, des Kraftfahrzeugs gebunden. Ferner muss das Kraftfahrzeug auch nicht über derartige, kostenintensive Ressourcen verfügen, um ein erfindungsgemäß optimiertes Betriebskennfeld bereitstellen zu können.

Das Verfahren kann optional einen weiteren Verfahrensschritt nach dem Verfahrensschritt (b) nutzen, bei dem die hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Betriebsbereichs auf Basis des Betriebszusammenhangs, insbesondere des Kraftkennfelds, ermittelt werden. Dann sind die hör- und/oder spürbaren Schwingungen in diesem oder einem gesamten Bereich des Betriebskennfelds bekannt.

Neben dem obigen oder alternativ zu dem obigen weiteren Verfahrensschritt kann das Verfahren vorteilhafterweise den Schritt eines Auswählens des zumindest einen Teilbetriebsbereichs umfassen. Dabei kann der Teilbetriebsbereich aus dem gesamten Betriebsbereich oder einer Menge von Teilbetriebsbereichen, die den gesamten Betriebsbereich beispielsweise in einer vordefinierten Art und Weise unterteilen können, ausgewählt werden. Es können auch mehrere Teilbetriebsbereiche ausgewählt werden. Die Auswahl kann noch vorgegebenen Kriterien erfolgen. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der zumindest eine Teilbetriebsbereich ausgewählt wird, wenn er einen vordefinierten Grenzwert von hör- und/oder spürbaren Schwingungen überschreitet. Bei Nutzung eines Kraftkennfelds kann der Grenzwert der hör- und/oder spürbaren Schwingungen auch durch einen Grenzwert von auftretenden Kräften vordefiniert werden, was aufgrund der Korrelation zwischen Kräften und Schwingungen als gleichwertig angesehen wird. Der jeweilige vordefinierte Grenzwert kann dabei beispielsweise für einzelne Betriebspunkte oder eine Vielzahl an Betriebspunkten, beispielsweise in Form eines Durchschnitts oder Medians, bestimmt werden. Damit kann sichergestellt werden, dass nur Betriebspunkte in Teilbetriebsbereichen verändert werden, die hohe und deshalb vorzugsweise zu reduzierende Schwingungen im Betrieb hervorrufen.

Entsprechend kommt damit neben der Bedingung einer maximal zulässigen Effizienzverschlechterung das Kriterium eines Mindest-NVH hinzu, damit nicht alle erdenklichen Schwingungen entfernt werden, die kaum oder keinen nennenswerten Einfluss auf den Fahrkomfort haben.

Grundsätzlich kann das voroptimierte Betriebskennfeld auch im gesamten Betriebsbereich des Elektromotors optimiert werden. Es kann aber vorteilhaft sein, dass voroptimierte Betriebskennfeld des zumindest einen Elektromotors nur in einem bestimmten Betriebsbereich auf NVH zu optimieren, was durch die Bedingung der maximal zulässigen Effizienzverschlechterung und die obige Bedingung der Mindest-NVH sichergestellt werden kann.

Auch ist vorteilhaft, wenn Schritt (d) unter der Bedingung ausgeführt wird, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des Elektromotors von dem voroptimierten Betriebskennfeld beibehalten werden. So kann sichergestellt werden, dass das voroptimierte Betriebskennfeld nur in einem bestimmten, insbesondere vorteilhaften Parameterbereich im Hinblick auf die Voroptimierung auf maximale Effizienz verändert wird. Auch können weitere Bedingungen für die Optimierung des Kennfelds genutzt werden, die wiederum von konkreten Betriebsparametern des Elektromotors abhängig sein können. So können beispielsweise eine maximale verfügbare Spannung und eine maximal erlaubte Stromstärke als Betriebsparameter des Elektromotors vorgegeben werden, die in Schritt (d) eingehalten werden müssen, um real anwendbare Ergebnisse zu erhalten.

Vorteilhafterweise können in Schritt (d) zumindest ein Betriebsparameter oder mehrere Betriebsparameter des Elektromotors verändert werden. Dabei kann der zumindest eine Betriebsparameter eine Spannung und/oder eine Stromstärke des Elektromotors sein. Währenddessen können mögliche weitere Bedingungen eingehalten werden, beispielsweise eine zulässige maximale Spannung und Stromstärke.

Vorteilhafterweise kann das Verfahren zum Bereitstellen des auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds des Elektromotors den Schritt eines Bereitstellens und Voroptimierens eines Ausgangs-Betriebskennfelds durch Maximieren zumindest einer Effizienzfunktion der zumindest einen Komponente des Antriebssystems umfassen. Ganz besonders kann zur Voroptimierung auf maximale Effizienz dabei

ein Verfahren zur Maximierung des Drehmoments pro Watt (engl. „Maximum Torque per Watt“, kurz MTPW) verwendet werden.

Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass das Ausgangs-Betriebskennfeld dabei unter Variation von zumindest einem Betriebsparameter des Elektromotors voroptimiert wird. Vorteilhafterweise können mehrere der hierin erwähnten Betriebsparameter, wie beispielsweise Stromstärke und Spannung, des Elektromotors variiert werden, während mögliche Bedingungen eingehalten werden, beispielsweise eine zulässige maximale Spannung und Stromstärke.

Dabei kann besonders vorteilhaft die zumindest eine Effizienzfunktion eine Systemeffizienzfunktion sein, welche aus einer ersten Effizienzfunktion des Elektromotors des elektrischen Antriebssystems und zumindest einer weiteren Effizienzfunktion zumindest einer weiteren elektrischen Komponente des elektrischen Antriebssystems kombiniert sein. Damit wird also der Elektromotor nicht selbständig auf maximale Effizienz voroptimiert. Stattdessen werden mit dem zumindest einen Elektromotor und der zumindest einen weiteren elektrischen Komponente, insbesondere Antriebskomponente, ein größerer Teil des elektrischen Antriebssystems, insbesondere das gesamte elektrische Antriebssystem, beim Voroptimieren der Effizienz für das elektrisch angetriebene Kraftfahrzeug berücksichtigt. Dazu wird die Systemeffizienzfunktion bereitgestellt, welche die Effizienzfunktionen von dem zumindest einen Elektromotor und die Effizienzfunktion von der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente miteinander kombiniert. Dies hat sich deshalb als vorteilhaft herausgestellt, weil höhere Verluste an weiteren elektrischen Antriebskomponenten, beispielsweise an einem Wechselrichter, Effizienzsteigerungen des Elektromotors in der Gesamtbetrachtung zunichte machen können. Mit der vorliegenden Verbesserung jedoch können mögliche Verluste bzw. Effizienzen weiterer elektrischer Antriebskomponenten in den Prozess der Effizienzoptimierung von Elektromotoren einbezogen werden, sodass eine für das gesamte elektrische Antriebssystem optimierte, insbesondere zumindest nahezu optimale, Systemeffizienz erhalten werden kann.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die weitere Effizienzfunktion von zumindest einem Betriebsparameter des Elektromotors abhängt. Bei den Betriebsparametern kann es sich beispielsweise um eine Spannung des Elektromotors, um eine Stromstärke des Elektromotors, um eine Drehzahl des Elektromotors usw. handeln. Dadurch kann die

weitere Effizienzfunktion in Abhängigkeit von den Betriebsparametern des Elektromotors bestimmbar gemacht werden. Eine Änderung eines der vorgenannten Betriebsparameter führt damit stets zu einer Änderung der Effizienz bei dem Elektromotor und bei der zumindest einen weiteren elektrischen Komponente. Selbstverständlich kann die weitere Effizienzfunktion hierneben auch von Betriebsparametern der zumindest einen weiteren elektrischen Komponente abhängen. Diese (intrinsischen) Betriebsparameter können bei einem Wechselrichter als elektrische Komponente beispielsweise eine Schaltfrequenz, ein Modulationsindex und/oder das verwendete Modulationsverfahren (beispielsweise Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM), Discontinuous Pulse Width Modulation (DPWM), Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation (SHEPWM) usw.) sein.

Vorteilhafterweise kann für die Systemeffizienzfunktion eine Verlustfunktion verwendet werden, wobei die Verlustfunktion zur Maximierung der Systemeffizienz minimiert wird. Ebenso können für die erste Effizienzfunktion und die weitere Effizienzfunktionen jeweils Verlustfunktionen verwendet werden. Die Verwendung derartiger Verlustfunktionen für die erste Effizienzfunktion und die weitere Effizienzfunktion erlaubt eine einfache Kombination der beiden Effizienzfunktionen durch simple Addition miteinander. Entsprechend ist die Systemeffizienzfunktion für die Optimierung des Ausgangs-Betriebskennfelds durch vergleichsweise einfache mathematische Operationen kalkulierbar.

Dabei kann das Verfahren auch einen weiteren Betriebszusammenhang zwischen dem Betriebskennfeld und der zumindest einen weiteren elektrischen Komponente des elektrischen Antriebssystems nutzen. Als weiterer Betriebszusammenhang der weiteren elektrischen Komponente wird ein insbesondere durch einen oder mehrere Betriebsparameter und/oder Betriebsfunktionen mit dem Betriebskennfeld des Elektromotors geschaffener Zusammenhang zwischen dem Elektromotor und der weiteren elektrischen Komponente bzw. eine Betriebsabhängigkeit der weiteren elektrischen Komponente von dem Elektromotor bzw. dessen Ausgangs-Betriebskennfeld verstanden, die durch eine gemeinsame Verschaltung bzw. Funktionsweise in dem elektrischen Antriebssystem bedingt ist. Dabei kann auch der weitere Betriebszusammenhang der weiteren elektrischen Komponente durch ein Betriebskennfeld abbildbar sein bzw. kann der Betrieb der weiteren elektrischen Antriebskomponente durch ein Betriebskennfeld darstellbar sein.

Vorteilhaft ist ferner, wenn die zumindest eine weitere elektrische Komponente ein Wechselrichter (Inverter) ist. Ganz besonders können nur der Elektromotor des elektrischen Antriebssystems und der Wechselrichter im Verfahren als elektrische Antriebskomponenten des elektrischen Antriebssystems berücksichtigt werden, um das Ausgangs-Betriebskennfeld des zumindest einen Elektromotors vorzuoptimieren, weil diese beiden verschiedenen Typen von elektrischen Antriebskomponenten den größten Einfluss auf die Systemeffizienz haben. Gleichwohl können aber auch weitere elektrische Antriebskomponenten, die kein Elektromotor und kein Wechselrichter sind, wie beispielsweise Traktionsbatterie, Leistungselektronik, Getriebe usw. berücksichtigt werden, deren jeweilige Effizienzfunktionen zum Bereitstellen der Systemeffizienzfunktion durch Kombination mit den anderen Effizienzfunktionen herangezogen werden können.

Insbesondere ist auch vorteilhaft, wenn das Ausgangs-Betriebskennfeld zugunsten einer höheren Systemeffizienz auf eine geringere als eine maximale Effizienz des Elektromotors voroptimiert wird. Mit anderen Worten wird bewusst eine Verschlechterung der Effizienz des Elektromotors erlaubt, um einen Effizienzgewinn bei der zumindest einen weiteren elektrischen Komponente zu gewinnen, welcher den Effizienzverlust bei dem Elektromotor überschreitet und so für einen Gewinn bei der Systemeffizienz bzw. Gesamteffizienz des elektrischen Antriebssystems sorgt. Gegenüber einer isolierten Optimierung des Elektromotors oder einem Verschlechterungsverbot bei der Optimierung des Elektromotors oder eines voroptimierten Betriebskennfelds des Elektromotors kann so eine höhere Systemeffizienz erzielt werden.

Ebenfalls Gegenstand der Erfindung ist eine Verwendung eines durch das erfindungsgemäße Verfahren ausgegebenen optimierten Betriebskennfelds zur Steuerung des Betriebs eines Elektromotors eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs.

Damit bringt die erfindungsgemäße Verwendung die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren erläutert worden sind.

Eine solche Verwendung kann dabei durch einen Schalter, der beispielsweise physisch oder elektronisch sein kann, und/oder eine Funktion im Kraftfahrzeug implementiert sein. Die Betätigung des Schalters und/oder Aktivierung der Funktion,

kann das durch das erfindungsgemäße Verfahren gewonnene bzw. ausgegebene optimierte Betriebskennfeld im Kraftfahrzeug aktivieren. Dadurch kann das Kraftfahrzeug, insbesondere auf Fahrer- oder Insassenwunsch, in einem quasi bzw. praktisch geräuschlosen und dennoch effizienten Modus fahren.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein System zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems des Kraftfahrzeugs durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds für den Elektromotor des elektrischen Antriebssystems. Dabei weist das System auf:

- ein Bereitstellungsmodul zum
 - (a) Bereitstellen eines auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds des Elektromotors, wobei das voroptimierte Betriebskennfeld Betriebspunkte des Elektromotors umfasst, und
 - (b) Bereitstellen eines Betriebszusammenhangs zwischen Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds und hör- und/oder spürbaren Schwingungen zumindest einer Komponente des elektrischen Antriebssystems für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Betriebskennfelds,
- ein Bestimmungsmodul zum
 - (c) Bestimmen zumindest einer Bedingung einer maximal zulässigen Effizienzverschlechterung bei Veränderung von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds,
- ein Veränderungsmodul zum
 - (d) Verändern von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich des voroptimierten Betriebskennfelds auf Basis des Betriebszusammenhangs zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, wobei die zumindest eine Bedingung eingehalten wird, sowie
- ein Ausgabemodul zum

- (e) Ausgeben des veränderten voroptimierten Betriebskennfelds als optimiertes Betriebskennfeld.

Damit bringt ein erfindungsgemäßes System die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren erläutert worden sind. Insbesondere kann das System zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet bzw. ausgebildet sein.

Die Module können dabei beispielsweise jeweils durch einen separaten Computerprogrammcode oder gemeinsam durch einen gemeinsamen Computerprogrammcode und/oder durch separate oder gemeinsame Funktionseinheiten eines Computers implementiert sein. Möglich ist auch, dass einzelne Module in einem gemeinsamen Modul implementiert sind, beispielsweise das Bereitstellungmodul und das Bestimmungsmodul. Das System kann insbesondere einen oder mehrere Computer umfassen oder durch den einen oder mehrere Computer gebildet sein, welcher oder welche die einzelnen Module aufweisen können.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren erläutert worden sind.

Das Computerprogrammprodukt kann dabei ein Computerprogramm an sich oder ein Produkt, etwa ein computerlesbarer Datenspeicher, sein, auf dem ein Computerprogramm zur Ausführung des Verfahrens gespeichert sein kann.

Weitere Vorteil, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschreiben sind. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 ein elektrisch angetriebenes Kraftfahrzeug,

Fig. 2 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems, und

Fig. 3 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

Identische oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren 1 bis 3 jeweils mit demselben Bezugszeichen bezeichnet.

Figur 1 zeigt schematisch ein elektrisch angetriebenes Kraftfahrzeug 10 mit einem elektrischen Antriebssystem 11. Das elektrische Antriebssystem 11 weist einen Elektromotor 12 auf.

Neben der genannten Komponente in Form des Elektromotors 12 kann das elektrische Antriebssystem 11 selbstverständlich weitere Komponenten 13, insbesondere elektrische Antriebskomponenten wie beispielsweise eine Traktionsbatterie, einen Wechselrichter, Leistungselektronik, Getriebe usw., aufweisen, die jedoch der Übersichtlichkeit halber nicht alle in der Fig. 1 gezeigt sind, sondern durch die Komponente 13 stellvertretend repräsentiert sind.

Der Einfachheit halber und als bevorzugtes Ausführungsbeispiel beschränkt sich die nachstehende Erläuterung von beispielhaften Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Systems 20 (siehe Fig. 2) und eines erfindungsgemäßen Verfahrens 30 (siehe Fig. 3) auf die elektrische Antriebskomponente 12 in Form des beispielhaft nur einen Elektromotors 12 und die weitere Komponente 13 in Form eines Wechselrichters 13, weil bei der Berücksichtigung von Elektromotor 12 und Wechselrichter 13 für eine Voroptimierung eines Ausgangs-Betriebskennfelds 1 eine besonders hohe Systemeffizienz eines voroptimierten Betriebskennfelds 2 erzielt werden kann (siehe Fig. 2).

So zeigt Figur 2 schematisch ein System 20 in Form eines Computers mit einem Bereitstellungsmodul 21, einem Bestimmungsmodul 22, einem Veränderungsmodul 23 und einem Ausgabemodul 24, wobei das System 20 sich außerhalb des in Fig. 1 gezeigten Kraftfahrzeugs 10 befindet. Das System 20 dient der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens 30 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 und damit einerseits dem Optimieren der (System)Effizienz des elektrischen Antriebssystems 11 und andererseits dem Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen (engl. "Noise Vibration Harshness", kurz NVH) des Elektromotors 12 des elektrischen Antriebssystems 11 des Kraftfahrzeugs 10 der Fig. 1.

Dabei dient das Bereitstellungsmodul 21 dem Bereitstellen eines auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds 2 des Elektromotors 12 und eines

Betriebszusammenhangs 3, insbesondere in Form eines Kraftkennfelds 3, welches beim Betrieb des Elektromotors 12 mit dem voroptimierten Betriebskennfeld 2 auftritt und entsprechend erzeugbar ist. Das Kraftkennfeld 3 gibt die im Betrieb des Elektromotors 12 an dem Elektromotor 12 oder einem oder mehreren seiner Bauteile, beispielsweise an seinem Stator, auftretenden Kräfte für zumindest einen teilweisen Bereich, bevorzugt den gesamten Bereich, von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds 2 an.

Für das Bereitstellen des voroptimierten Betriebskennfelds 2 kann das Verfahren von einem Ausgangs-Betriebskennfeld 1 aus starten bzw. ausgehen. Ein solches Ausgangs-Betriebskennfeld 1 kann also nicht auf eine Effizienz oder in eine andere Richtung optimiert oder zumindest nicht vollständig in eine solche Richtung voroptimiert sein. Das Ausgangs-Betriebskennfeld 1 kann jedoch auf eine optimale Effizienz des Elektromotors 12 voroptimiert werden, sodass das voroptimierte Betriebskennfeld 2 erhalten wird.

Für das Voroptimierten des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 auf maximale Effizienz kann eine Systemverlustfunktion (nicht gezeigt) genutzt werden, welche sich aus Effizienzfunktionen in Form von Verlustfunktionen des Elektromotors 12 und des Wechselrichters 13 zusammensetzt. Diese Systemverlustfunktion kann, insbesondere durch das Bereitstellungsmodul 21, minimiert werden, um das Ausgangs-Betriebskennfeld 1 derart zu optimieren, dass eine Gesamteffizienz bzw. Systemeffizienz von dem elektrischen Antriebssystem 11 gesteigert werden kann. Dazu wird in bestimmten Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 die Effizienz des Elektromotors 12 zugunsten einer höheren Effizienz beim Wechselrichter 13 gesenkt, wobei jedoch der Effizienzgewinn auf Seiten des Wechselrichters 13 überwiegt, sodass die Systemeffizienz insgesamt höher ausfällt. Im Ergebnis stellt das Bereitstellungsmodul 21, welches alternativ auch als ein Optimierungsmodul (Optimierung der Effizienz), wie es in der Fig. 2 gezeigt ist, ein im Hinblick auf die Systemeffizienz voroptimiertes Betriebskennfeld 2 aus.

Neben dem Bereitstellungsmodul 21 besteht ein Bestimmungsmodul 22, welches eine oder mehrere Bedingungen 4 maximal zulässiger Effizienzverschlechterung(en) bei (weiterer) Veränderung von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds 2 bestimmt. Denn das voroptimierte Betriebskennfeld 2 weist nun eine (im Wesentlichen) maximale Effizienz auf, wenn es in einem entsprechenden

Steuergerät des Elektromotors 12 verwendet wird. Jede weitere Änderung in eine andere Richtung, wie die hier vorgesehene Reduzierung der hör- und/oder spürbaren Schwingungen, sorgt für eine Verringerung der Effizienz. Durch die Bedingung(en) 4 wird sichergestellt, dass der vorherige Schritt der Voroptimierung bzw. die dadurch erhaltene Effizienz nicht zu Ungunsten der NVH-Reduzierung verloren geht, sondern eine technische Balance zwischen beiden Optimierungsrichtungen eingehalten wird.

Das Veränderungsmodul 23 erhält nun die Bedingung(en) 4, das voroptimierte Betriebskennfeld 2 und das Kraftkennfeld 3 und verändert auf dieser Basis die Betriebspunkte des voroptimierten Betriebskennfelds 2 in zumindest einem Teilbetriebsbereich des voroptimierten Betriebskennfelds 2 zu Gunsten geringerer hör- und/oder spürbarer Schwingungen des Elektromotors 12, wobei die Bedingung(en) 4 eingehalten wird bzw. werden. Dies kann derart geschehen, dass die Betriebspunkte des voroptimierten Betriebskennfelds 2 zu Gunsten reduzierter hör- und/oder spürbarer Schwingungen des Elektromotors 12 mit einem Grenzwert der gemäß dem Kraftkennfeld 3 bei den Betriebspunkten auftretenden Kräften verglichen werden. Wird der Grenzwert überschritten, der so gewählt sein kann, dass seine Überschreitung zu hör- und/oder spürbaren Schwingungen im Fahrbetrieb führt, die als kritisch für den Fahrkomfort eingestuft werden, können die Betriebspunkte, die für diese Schwingungen sorgen, verändert werden, solange die Bedingung(en) 4 eingehalten wird bzw. werden. So lässt sich der Teilbetriebsbereich als Bereich mit besonders kritischen Betriebspunkten hinsichtlich der hör- und/oder spürbaren Schwingungen bestimmen.

Im Ergebnis erzeugt das Veränderungsmodul 23, welches alternativ auch als ein Optimierungsmodul (Optimierung der NVH) bezeichnet werden kann und wie es in der Fig. 2 gezeigt ist, ein zusätzlich zur Optimierung auf Systemeffizienz nun im Hinblick auch auf NVH optimiertes Betriebskennfeld 5. Dieses optimierte Betriebskennfeld 5 wird von einem Ausgabemodul 24 ausgegeben, welches, alternativ zu der Darstellung von Fig. 2, auch zusammen mit dem Veränderungsmodul 23 implementiert sein kann.

Wie in Zusammenschau der Fig. 1 und 2 durch einen Pfeil zwischen der Fig. 1 und 2 erkennbar ist, wird das nunmehr optimierte Betriebskennfeld 5 an das elektrische Antriebssystem 11 ausgegeben bzw. übergeben und sodann in dem Kraftfahrzeug 10, insbesondere von einer entsprechenden Steuerung bzw. einem Steuergerät,

verwendet. Zum einen kann dadurch ein Betrieb des Kraftfahrzeugs 10 mit bezogen auf den Fahrkomfort quasi bzw. praktisch geräuschlos arbeitendem Elektromotor 12 in lokalen und kritischen NVH-Bereichen erzielt werden, weil diese kritischen NVH-Bereiche in dem optimierten Betriebskennfeld 5 gegenüber dem Ausgangs-Betriebskennfeld 1 optimiert sind. Zum anderen kann außerhalb dieser lokalen und kritischen NVH-Bereiche mit maximaler Effizienz des elektrischen Antriebssystems 11 gearbeitet werden. Schließlich kann selbst in den NVH-optimierten Bereichen dank der Bedingung 4 der maximal zulässigen Effizienzverschlechterung eine vergleichsweise hohe Effizienz aufrechterhalten werden. Entsprechend erfolgt die beschriebene Optimierung des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 des Elektromotors 12 offline durch das System 20. Das Ergebnis in Form des optimierten Betriebskennfelds 5 wird dann jedoch in dem Kraftfahrzeug 10 implementiert und online, also während der Fahrt des Kraftfahrzeugs 10, eingesetzt.

Figur 3 zeigt ein weiteres Beispiel des bereits erläuterten erfindungsgemäßen Verfahrens 30 in Form von Verfahrensschritten 31...37 mit weiteren Details.

In dem Verfahrensschritt 31 erfolgt die Voroptimierung des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 auf maximale Effizienz durch Maximierung des Drehmoments pro Watt. In dem Verfahrensschritt 32 werden Bedingungen für die nachfolgende Optimierung durch das Bestimmungsmodul 22 aufgestellt. Die Bedingungen umfassen zumindest die Bedingung der maximal zulässigen Effizienzverschlechterung, also insbesondere eine Vorgabe einer erlaubten Differenz, beispielsweise in %, der Effizienz nach einem Verändern von Betriebspunkten gegenüber der maximalen Effizienz, die durch die Voroptimierung erzielt worden ist. Weitere Bedingungen können insbesondere sein, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des zumindest einen Elektromotors 12 von dem voroptimierten Betriebskennfeld 2 beibehalten werden. Noch weitere Bedingungen können die maximale verfügbare Spannung und eine maximal erlaubte Stromstärke als Betriebsparameter des Elektromotors 12 vorgeben.

Parallel zu oder, alternativ, vor oder nach den Verfahrensschritten 31 und 32 werden die Verfahrensschritte 33, 34 und 35 hintereinander ausgeführt. In dem Verfahrensschritt 33 wird ein Simulationsmodell des Elektromotors 12 bereitgestellt oder erzeugt. Dies kann auf der Basis einer Finite Elemente Analyse erfolgen. In dem Verfahrensschritt 34 wird dann das Kraftkennfeld 3 auf Basis einer

Betriebssimulation des Simulationsmodells des Elektromotors 12 mit dem voroptimierten Betriebskennfeld 2 erzeugt. Das Kraftkennfeld 3 kann die auftretenden Kräfte in einer Zeit-Raum-Ordnung darstellen. Das Kraftkennfeld 3 kann durch Stromkomponenten I_d , I_q des Stroms mit Kraftkennwerten, beispielsweise in Newton, über jeden Betriebspunkt aufgespannt werden. In dem Verfahrensschritt 35 wird das so erhaltene Kraftkennfeld 3 dann zur Optimierung bereitgestellt.

In dem Verfahrensschritt 36 erfolgt nun die Optimierung des voroptimierten Betriebskennfelds 2, wobei die, wie oben beschrieben, ausgewählten Betriebspunkte in dem voroptimierten Betriebskennfeld 2 unter Einhaltung der zuvor definierten Bedingungen optimiert werden können. Dazu können die jeweiligen Betriebsparameter des Elektromotors 12, wie Spannung und Stromstärke, angepasst werden. In dem Verfahrensschritt 37 erfolgt die Ausgabe des optimierten Betriebskennfelds 5 zur Nutzung in dem elektrischen Antriebssystem 11 des Kraftfahrzeugs 10.

Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

- 1 Ausgangs-Betriebskennfeld
- 2 voroptimiertes Betriebskennfeld
- 3 Betriebszusammenhang, Kraftkennfeld
- 4 Bedingung maximal zulässiger Effizienzverschlechterung
- 5 optimiertes Betriebskennfeld
- 10 Kraftfahrzeug
- 11 elektrisches Antriebssystem
- 12 Komponente, elektrische Antriebskomponente, Elektromotor
- 13 weitere Komponente, weitere elektrische Antriebskomponente,
Wechselrichter
- 20 System
- 21 Bereitstellungsmodul
- 22 Bestimmungsmodul
- 23 Veränderungsmodul
- 24 Ausgabemodul
- 30 Verfahren
- 31-37 Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren (30) zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems (11) des Kraftfahrzeugs (10) durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds (5) für einen Elektromotor (12) des elektrischen Antriebssystems (11), wobei das Verfahren (30) durch die folgenden Schritte **gekennzeichnet** ist:
 - (a) Bereitstellen eines auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds (2) des Elektromotors (12), wobei das voroptimierte Betriebskennfeld (2) Betriebspunkte des Elektromotors (12) umfasst,
 - (b) Bereitstellen eines Betriebszusammenhangs (3) zwischen Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2) und hör- und/oder spürbaren Schwingungen zumindest einer Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2),
 - (c) Bestimmen zumindest einer Bedingung (4) einer maximal zulässigen Effizienzverschlechterung bei Veränderung von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2),
 - (d) Verändern von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2) in zumindest einem Teilbetriebsbereich des voroptimierten Betriebskennfelds (2) auf Basis des Betriebszusammenhangs (3) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, wobei die zumindest eine Bedingung eingehalten wird, und
 - (e) Ausgeben des veränderten voroptimierten Betriebskennfelds (2) als optimiertes Betriebskennfeld (5).
2. Verfahren (30) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Betriebszusammenhang (3) durch ein Kraftkennfeld (3) gegeben ist, welches im Betrieb des Elektromotors (12) an der zumindest einen Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) auftretende Kräfte für den

- zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2) umfasst.
3. Verfahren (30) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) ferner das Erzeugen des Kraftkennfelds (3) auf Basis eines Simulationsmodells der zumindest einen Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) aufweist.
 4. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) der Elektromotor (12) oder ein Bauteil des Elektromotors (12) ist.
 5. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) außerhalb des Kraftfahrzeugs (10) ausgeführt wird.
 6. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bedingung eine maximal zulässige Effizienzverschlechterung um höchstens 20 % gegenüber einer Effizienz von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2) ist.
 7. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) ferner den Schritt eines Auswählens des zumindest einen Teilbetriebsbereichs umfasst, wobei der zumindest eine Teilbetriebsbereich ausgewählt wird, wenn er einen vordefinierten Grenzwert von hör- und/oder spürbaren Schwingungen überschreitet.
 8. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Schritt (d) unter der Bedingung ausgeführt wird, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des Elektromotors (12) von dem voroptimierten Betriebskennfeld (2) beibehalten werden.
 9. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) zum Bereitstellen des auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds (2) des Elektromotors (12) den Schritt eines Bereitstellens und Voroptimierens eines Ausgangs-Betriebskennfelds (1)

durch Maximieren zumindest einer Effizienzfunktion der zumindest einen Komponente (12, 13) des Antriebssystems (11) umfasst.

10. Verfahren (30) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Effizienzfunktion eine Systemeffizienzfunktion ist, welche aus einer ersten Effizienzfunktion des Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und zumindest einer weiteren Effizienzfunktion zumindest einer weiteren elektrischen Komponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11) kombiniert ist.
11. Verfahren (30) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine weitere elektrische Komponente (13) ein Wechselrichter (13) ist.
12. Verfahren (30) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausgangs-Betriebskennfeld (1) zugunsten einer höheren Systemeffizienz auf eine geringere als eine maximale Effizienz des Elektromotors (12) voroptimiert wird.
13. Verwendung eines durch das Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche ausgegebenen optimierten Betriebskennfelds (5) zur Steuerung des Betriebs eines Elektromotors (12) eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10).
14. System (20) zum Optimieren der Effizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) und zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des elektrischen Antriebssystems (11) des Kraftfahrzeugs (10) durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds (5) für den Elektromotor (12) des elektrischen Antriebssystems (11), wobei das System (20) **gekennzeichnet** ist durch:
 - ein Bereitstellungsmodul (21) zum
 - (a) Bereitstellen eines auf Effizienz voroptimierten Betriebskennfelds (2) des Elektromotors (12), wobei das voroptimierte Betriebskennfeld (2) Betriebspunkte des Elektromotors (12) umfasst, und

- (b) Bereitstellen eines Betriebszusammenhangs (3) zwischen Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2) und hör- und/oder spürbaren Schwingungen zumindest einer Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Betriebskennfelds (2),
 - ein Bestimmungsmodul (22) zum
 - (c) Bestimmen zumindest einer Bedingung (4) einer maximal zulässigen Effizienzverschlechterung bei Veränderung von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2),
 - ein Veränderungsmodul (23) zum
 - (d) Verändern von Betriebspunkten des voroptimierten Betriebskennfelds (2) in zumindest einem Teilbetriebsbereich des voroptimierten Betriebskennfelds (2) auf Basis des Betriebszusammenhangs (3) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, wobei die zumindest eine Bedingung eingehalten wird, sowie
 - ein Ausgabemodul (24) zum
 - (e) Ausgeben des veränderten voroptimierten Betriebskennfelds (2) als optimiertes Betriebskennfeld (5).
15. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 oder die Verwendung nach Anspruch 13 auszuführen.

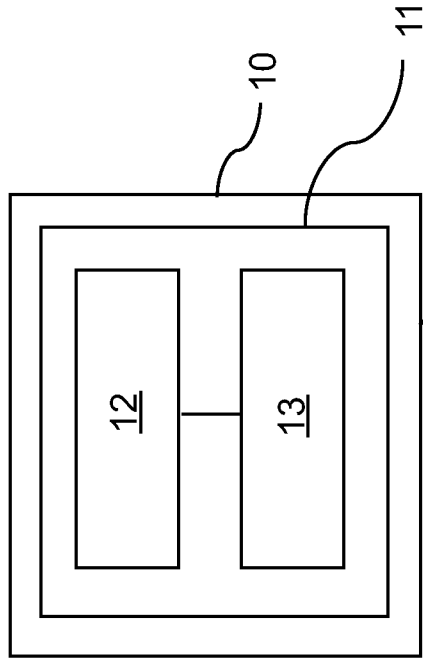


Fig. 1

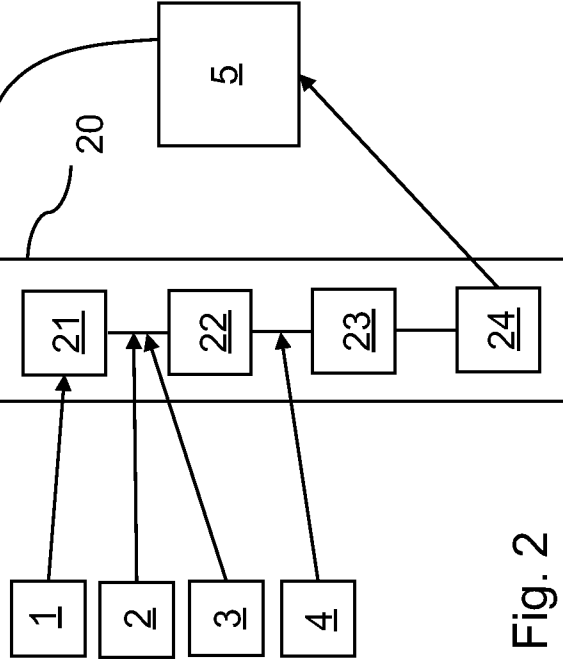


Fig. 2

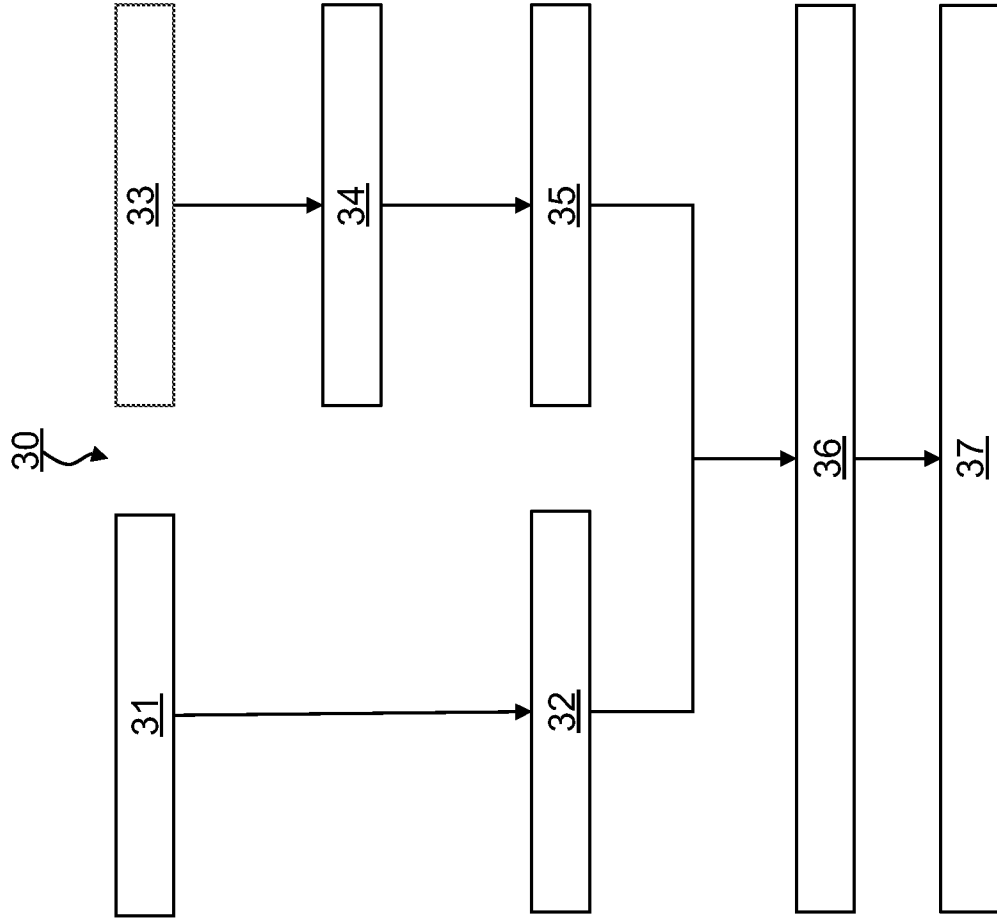


Fig. 3

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: B60L 15/20 (2006.01); H02P 21/05 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC: B60L 15/20 (2013.01); H02P 21/05 (2013.01)		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): B60L, H02P		
Konsultierte Online-Datenbank: WPI, EPODOC, PATDEW, PATENW		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 07.06.2022 eingereichten Ansprüchen 1-15 erstellt.		
Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
Y	DENG, W. et al. "Electromagnetic Vibration and Noise of the Permanent-Magnet Synchronous Motors for Electric Vehicles: An Overview", IEEE Transactions on Transportation Electrification, 1 März 2019 (01.03.2019), Vol.5, No.1, Seiten 59-70, XP011715844. Fig. 5; Sections III A, IV B.	1-15
Y	CN 113708702 A (LEADRIIVE TECH SHANGHAI CO LTD) 26. November 2021 Absatz [0002].	1-15
A	DE 102014206048 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH) 30. Oktober 2014 Absätze [0009], [0011], [0018], [0023], [0024]; Ansprüche 4, 7.	1-8, 13-15
A	DE 102020215117 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 02. Juni 2022 (02.06.2022) Fig. 2, Absatz [0051].	1, 4, 7, 13
A	DE 102018115148 A1 (HOCHSCHULE FUER ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN MÜNCHEN) 14. November 2019 Absätze [0008], [0011].	13
A	DE 102020106591 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC) 16. September 2021 Absätze [0085], [0086], [0090].	5, 7-8
A	WO 2010151179 A1 (VOLVO TECHNOLOGY CORP.) 29. Dezember 2010 Anspruch 2.	2
A	WO 2020243549 A1 (MAGNA INTERNATIONAL INC.) 03. Dezember 2020 das gesamte Dokument.	1-15
Datum der Beendigung der Recherche: 08.05.2023		Seite 1 von 1
		Prüfer(in): PLEVNIK Gernot
^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:		
X	Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
Y	Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.