

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
02. November 2023 (02.11.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/205833 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G06F 30/15 (2020.01) G06F 30/23 (2020.01)
B60L 15/02 (2006.01) G06F 119/10 (2020.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2023/060137

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. April 2023 (25.04.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 50283/2022 26. April 2022 (26.04.2022) AT

(71) Anmelder: AVL LIST GMBH [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, 8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: MEHRGOU, Mehdi; Unterer Sonnleitenweg 29, 8054 Seiersberg (AT). MAIER, Stefan; Evangelimann-gasse 9 Top 27, 8010 Graz (AT). GARCIA DE MADINA-BEITIA MERINO, Inigo; Hofgasse 8, Top 10, 8010 Graz (AT). AHMED, Mohamed Essam; Keplerstraße 100/Top 3, 8020 Graz (AT). MAHROUS, Safa; Gasteigergasse 5,

8700 Leoben (AT). DUCHI, Francesco; Neubaugasse 66/3, 8020 Graz (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(54) Title: METHOD FOR REDUCING THE AUDIBLE AND/OR PERCEPTIBLE VIBRATIONS IN AN ELECTRICAL DRIVE SYSTEM OF A MOTOR VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM REDUZIEREN DER HÖR- UND/ODER SPÜRBAREN SCHWINGUNGEN EINES ELEKTRISCHEN ANTRIEBSSYSTEMS EINES KRAFTFAHRZEUGS

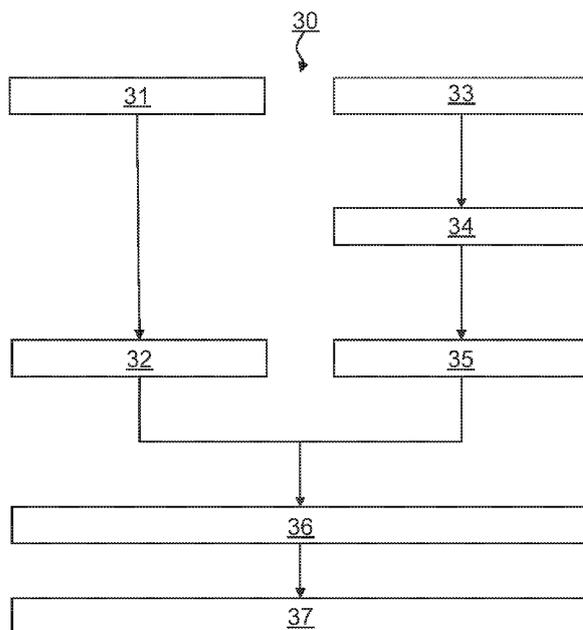


Fig. 3

(57) Abstract: The present invention relates to a method (30) and a system (20) for reducing the audible and/or perceptible vibrations in an electrical drive system (11) of a motor vehicle (10) by outputting an optimized family of operating characteristic curves (3) for an electric motor (12) of the electrical drive system (11).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (30) und ein System (20) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds (3) für einen Elektromotor (12) des elektrischen Antriebssystems (11).



WO 2023/205833 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.*

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

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs 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.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Ansätze bekannt, um dieses Ziel zu erreichen, etwa durch Anpassung der Geometrie des Kraftfahrzeugs oder Hinzufügen von Dämpfungselementen im Kraftfahrzeug. Dies ist beispielsweise aus dem IEEE Paper XP011715844, „Electromagnetic Vibration and Noise of the Permanent-Magnet Synchronous Motors for Electric Vehicles: An Overview“ Deng, W et al., IEEE Transactions on Transportation Electrification, Vol. 5, No. 1, 01.03.2019, p. 59 – 70 bekannt.

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.

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

- (a) Bereitstellen eines Ausgangs-Betriebskennfelds des Elektromotors, wobei das Ausgangs-Betriebskennfeld Betriebspunkte des Elektromotors umfasst,
- (b) Bereitstellen eines Kraftkennfelds zumindest einer Komponente des elektrischen Antriebssystems für den Betrieb des Elektromotors mit dem bereitgestellten Ausgangs-Betriebskennfeld, wobei das Kraftkennfeld die im Betrieb des Elektromotors an der zumindest einen Komponente des elektrischen Antriebssystems auftretenden Kräfte für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds umfasst,
- (c) Verändern von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Ausgangs-Betriebskennfelds auf Basis des bereitgestellten Kraftkennfelds zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, und
- (d) Ausgeben des veränderten Ausgangs-Betriebskennfelds als optimiertes Betriebskennfeld.

Das erfindungsgemäße Verfahren, welches insbesondere ein computerimplementiertes Verfahren sein kann bzw. auf einem Computer oder mehreren Computern ausgeführt werden kann, stellt damit im Ergebnis ein 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 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 Betriebskennfelds bzw. Steuerkennfelds umzusetzen.

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 und/oder den Strom und Phasenwinkel, also den Winkel vom Stator zum Rotor des Elektromotors, 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 oder Strom und Phasenwinkel des Elektromotors aufspannen.

Mit dem Ausgangs-Betriebskennfeld ist dasjenige Betriebskennfeld gemeint, welches als Ausgangspunkt für das Verfahren dient bzw. bereitgestellt wird. Mit anderen Worten ist das Ausgangs-Betriebskennfeld dasjenige Betriebskennfeld, welches durch das Verfahren optimiert wird. Das optimierte Betriebskennfeld ist das Ergebnis des Verfahrens, also das durch das Verfahren optimierte Ausgangs-Betriebskennfeld. Das optimierte Betriebskennfeld ist dabei gegenüber dem Ausgangs-Betriebskennfeld zumindest teilweise in Richtung reduzierter hör- und/oder spürbarer Schwingungen des elektrischen Antriebssystems des

Kraftfahrzeugs optimiert.

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 Kraftkennwerten 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 (c) das Verändern der Betriebspunkte des Ausgangs-Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich, insbesondere einem in Bezug auf die hör- und/oder spürbaren Schwingungen besonders kritischen bzw. den Fahrkomfort einschränkenden Bereich, des Ausgangs-Betriebskennfelds auf Basis des bereitgestellten Kraftkennfelds zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich erfolgen.

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

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 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 bezeichnet werden.

Vorteilhafterweise wird das Verfahren außerdem außerhalb des Kraftfahrzeugs ausgeführt. Dies ermöglicht eine Optimierung des 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.

Insbesondere kann die Reduktion der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich mit einem Effizienzverlust in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich einhergehen. Das bedeutet, dass die Optimierung des Ausgangs-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 Ausgangs-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.

Das Verfahren kann optional einen weiteren Verfahrensschritt zwischen den Verfahrensschritten (b) und (c) nutzen, bei dem die hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Betriebsbereichs auf Basis 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. Dieser weitere Verfahrensschritt kann insbesondere zwischen den Verfahrensschritten (b) und (c) ausgeführt werden. 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, das der zumindest eine Teilbetriebsbereich ausgewählt wird, wenn er einen vordefinierten Grenzwert von auftretenden Kräften überschreitet und/oder einen vordefinierten Grenzwert eines Effizienzverlustes unterschreitet. 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, und/oder nur Betriebspunkte in Teilbetriebsbereichen verändert werden, bei denen die Reduzierung der hör- und/oder spürbaren Schwingungen mit einem vertretbaren Effizienzverlust gegenüber dem Ausgangs-Betriebskennfeld einhergeht. Ganz besonders vorteilhaft ist dabei die Kombination beider Grenzwerte, um bei der Optimierung einen Mittelweg zwischen Fahrkomfort und Effizienz zu beschreiten.

Grundsätzlich kann das Ausgangs-Betriebskennfeld auch im gesamten Betriebsbereich des Elektromotors optimiert werden. Es kann aber vorteilhaft sein, dass Betriebskennfeld des zumindest einen Elektromotors nur in einem bestimmten Betriebsbereich zu optimieren. Eine derartige lokale Optimierung kann eingesetzt werden, um bestimmte Betriebsbereiche auszusparen, in denen beispielsweise in eine andere Richtung als NVH-Reduzierung, zum Beispiel zur Effizienzmaximierung des Elektromotors, optimiert werden kann.

Vorteilhaft ist ganz besonders, wenn das Ausgangs-Betriebskennfeld außerhalb des zumindest einen Teilbetriebsbereichs auf eine maximale Effizienz des elektrischen Antriebssystems, insbesondere des Elektromotors, optimiert ist oder wird. Damit wird also eine lokale NVH-Optimierung durchgeführt, bei der das Ausgangs-Betriebskennfeld, welches bereits auf eine maximale Effizienz voroptimiert sein kann oder anschließend noch optimiert werden kann, nur in einem bestimmten, den Fahrkomfort einschränkenden NVH-Bereich optimiert wird. So kann gewährleistet werden, dass ein hoher Fahrkomfort bei über den gesamten Fahrzyklus gerechnet dennoch geringem Energieverbrauch erzielt wird. Ganz besonders kann zur Optimierung auf maximale Effizienz dabei ein Verfahren zur Maximierung des Drehmoments pro Watt (engl. „Maximum Torque per Watt“, kurz MTPW) verwendet werden.

Auch ist vorteilhaft, wenn Schritt (c) unter der Bedingung ausgeführt wird, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des Elektromotors von dem Ausgangs-Betriebskennfeld beibehalten werden. So kann sichergestellt werden, dass das Ausgangs-Betriebskennfeld nur in einem bestimmten, insbesondere vorteilhaften Parameterbereich im Hinblick auf die zuvor erwähnte vorherige Optimierung 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 (c) eingehalten werden müssen, um real anwendbare Ergebnisse zu erhalten.

Vorteilhafterweise können in Schritt (c) 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 Bedingungen eingehalten werden, beispielsweise eine zulässige maximale Spannung und Stromstärke.

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.

Für die Ermittlung und Auswahl des Kraftkennfelds oder der Kraftkennfelder zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, dass das Verfahren ferner den Schritt umfasst: Erzeugen eines für den Elektromotor spezifischen ersten Datensatzes von unterschiedlichen

Kraftkennfeldern, denen unterschiedliche Zeitordnungen und Raumordnungen zugeordnet sind, wobei die Kraftkennfelder im Betrieb des Elektromotors an zumindest einer Komponente des Elektromotors auftretende Kräfte für unterschiedliche Betriebsparameter des Elektromotors umfassen. Zudem kann das Verfahren den folgenden Schritt umfassen: Bereitstellen, insbesondere Erzeugen, eines für den Elektromotor spezifischen zweiten Datensatzes, welcher unterschiedlichen Raumordnungen und Zeitordnungen des ersten Datensatzes unterschiedliche Schallwerte der zumindest einen Komponente des Elektromotors zuordnet. Schließlich kann das Verfahren den folgenden Schritt umfassen: Ermitteln der Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors durch Auswählen von Kraftkennfeldern aus dem ersten Datensatz anhand eines Abgleichs der Schallwerte des zweiten Datensatzes mit einem vorgegebenen Schallgrenzwert. Die so ausgewählten Kraftkennfelder können für das erfindungsgemäße Verfahren im Schritt (b) bereitgestellt werden.

Die vorgenannten zusätzlichen Verfahrensschritte stellen damit Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors bereit, die für die Optimierung des Ausgangs-Betriebskennfelds des Elektromotors genutzt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass nur solche hör- und/oder spürbaren Schwingungen reduziert werden, deren Schall einem vorgegebenen Schallgrenzwert entspricht oder darüber liegt.

Der Schallgrenzwert kann dabei so gewählt werden, dass damit nur solche hör- und/oder spürbaren Schwingungen bzw. ein solches NVH-Verhalten in den Daten umfasst ist, welches im Fahrbetrieb des Kraftfahrzeugs nur zu von den Passagieren im Innenraum des Kraftfahrzeugs hörbaren Geräuschen und/oder wahrnehmbaren Vibrationen führt. Insbesondere ist es möglich, den Schallgrenzwert so zu wählen, dass damit nur solche hör- und/oder spürbaren Schwingungen bzw. ein solches NVH-Verhalten umfasst ist, welches im Fahrbetrieb des Kraftfahrzeugs nur zu die Passagiere des Kraftfahrzeugs störenden Geräuschen, also hinreichend hörbaren bzw. lauten Schwingungen, oder störenden Vibrationen, also im Fahrzeuginnenraum des Kraftfahrzeugs hinreichend spürbaren Schwingungen, sorgt.

Demnach ermöglichen die zusätzlichen Verfahrensschritte eine intelligente NVH-Datenselektion anhand eines besonderen Datensatzes, der hierin zur Unterscheidung vom ersten Datensatz als zweiter Datensatz bezeichnet wird, der in

aus dem Stand der Technik bekannten Computerberechnungen nicht bzw. oder zumindest nicht in der durch das erfindungsgemäße Verfahren vorgeschlagenen Art und Weise verwendet wird. Entsprechend ist es zwar notwendig, den zweiten Datensatz bereitzustellen, insbesondere zu erzeugen, was einen gewissen Aufwand erfordert, gleichsam lässt sich damit eine erhebliche Reduktion der im Hinblick auf NVH relevanten und damit dem Verfahren im Schritt (b) zugeführten Kraftkennfeldern erzielen. Dadurch, dass nur diese reduzierten Daten, die aufgrund ihrer Selektion auch als komfortrelevante NVH-Daten (bezogen auf ihre Relevanz wegen möglichen Geräuschen und Vibrationen am Kraftfahrzeug, insbesondere im Fahrzeuginnenraum) bezeichnet werden können, bestimmt werden, während die für den Komfort weniger relevanten oder irrelevanten hör- und/oder spürbaren Schwingungen ausgeklammert werden, wird trotz einer Erzeugung des zweiten Datensatzes die notwendige Rechenzeit für das Verfahren insgesamt signifikant gegenüber dem aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren reduziert. Die Rechenzeit kann so von mehreren Stunden auf wenige Minuten oder gar Sekunden reduziert werden.

Als Zeitordnungen und Raumordnungen werden hierin insbesondere dimensionslose Größen des Elektromotors verstanden, die in seinem Betrieb auftreten. Die Zeitordnungen können aus den Frequenzen, insbesondere Anregungsfrequenzen, des Elektromotors abgeleitet sein. Die Raumordnungen können aus Verformungen, insbesondere an der Oberfläche, zumindest einer Komponente, insbesondere des Stators, des Elektromotors abgeleitet sein. Damit kann der Elektromotor hinsichtlich der Frequenz und der Verformung infolge der Krafteinwirkungen auf diesen und damit in Bezug auf die hör- und/oder spürbaren Schwingungen durch die Zeit- und Raumordnungen charakterisiert werden, wodurch auch die Kraftkennfelder über die Zeit- und Raumordnungen in dem ersten Datensatz korreliert werden können. Dabei besteht vorzugsweise eine vorgegebene Anzahl von Zeitordnungen und Raumordnungen, sodass quasi der gesamte (relevante) Betriebsbereich des Elektromotors mit den Zeitordnungen und Raumordnungen abgedeckt wird und in zeitlicher und räumlicher Hinsicht zugeordnet werden kann.

Die jeweiligen Parameter wie Raumordnungen, Zeitordnungen, Kraftkennfelder, Schallwerte usw. in dem ersten Datensatz und in dem zweiten Datensatz können in beliebiger Form 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. So kann beispielsweise der erste Datensatz durch eine zweidimensionale graphische Repräsentation bzw. einen Plot abgespeichert oder abbildbar sein, bei dem die Zeitordnungen und Raumordnungen auf jeweiligen Koordinatenachsen abgetragen sind und diesen durch jeweilige Kraftkennfeldpunkte jeweils Kraftkennfelder zugeordnet sind, die wiederum mit ihren Informationen in einer weiteren zweidimensionalen graphischen Repräsentation abgespeichert oder abbildbar sein können.

Vorzugsweise werden unterschiedliche Raumordnungen für unterschiedliche Zeitordnungen anhand des Abgleichs der Schallwerte des zweiten Datensatzes mit dem vorgegebenen Schallgrenzwert vorausgewählt und die Kraftkennfelder gemäß den vorausgewählten Raumordnungen ausgewählt. Entsprechend werden in dem zweiten Datensatz nicht die Kraftkennfelder selbst ausgewählt, sondern erst durch die Vorauswahl der jeweiligen Raumordnung und Korrelation dieser vorausgewählten Raumordnung mit der zugehörigen Zeitordnung wird in dem ersten Datensatz das passende Kraftkennfeld ausgewählt.

Der Schallgrenzwert kann grundsätzlich ein Grenzwert für einen Schallwert sein. Dann werden die den Schallgrenzwert überschreitenden Raumordnungen für eine jeweilige Zeitordnung vorausgewählt und die diesen zugehörigen Kraftkennfelder ausgewählt. Der Schallgrenzwert kann aber auch eine Anzahl von Raumordnungen je Zeitordnung sein, die anhand ihres Schallwerts bei einer jeweiligen Zeitordnung oder Frequenz vorausgewählt werden sollen. So kann beispielsweise ein Schallgrenzwert durch eine Anzahl von beispielsweise drei Raumordnungen je Zeitordnung festgelegt werden. Das bedeutet, dass zu einer jeweiligen Zeitordnung oder Frequenz in dem zweiten Datensatz jeweils die drei Raumordnungen mit den höchsten Schallwerten vorausgewählt werden.

Möglich ist es demnach, von allen Raumordnungen jeweils einer Zeitordnung jeweils diejenige(n) Raumordnung(en) vorauszuwählen, die den (die) höchsten Schallwert(e) aller Raumordnungen der jeweiligen Zeitordnung aufweist. Es werden also für jeweilige Zeitordnungen, insbesondere alle Zeitordnungen, diejenigen Raumordnungen ausgesucht, die anhand des Schallwerts befunden die größten hör- und/oder spürbaren Schwingungen aufweisen.

Bevorzugt ist ferner, dass ein Betriebskennfeld des Elektromotors mit den ausgewählten Kraftkennfeldern kombiniert wird, sodass für unterschiedliche

Zeitordnungen und unterschiedliche Raumordnungen von den Betriebspunkten des Elektromotors abhängige Betriebspunkt-Kraftkennfelder erhalten werden. Während die Betriebskennfelder insbesondere Betriebspunkte in Abhängigkeit von Drehmoment und Drehzahl angeben und die Effizienz des Elektromotors angeben können und die Kraftkennfelder insbesondere die am Elektromotor auftretenden Kräfte in Abhängigkeit von Betriebsparametern, wie beispielsweise Phasenwinkel und Strom, angeben, geben die Betriebspunkt-Kraftkennfelder die auftretenden Kräfte in Abhängigkeit der Betriebspunkte bzw. der Drehzahl und dem Drehmoment an.

Dazu ist bevorzugt, dass die Betriebspunkt-Kraftkennfelder für unterschiedliche Zeitordnungen mit den Schallwerten des zweiten Datensatzes kombiniert, insbesondere multipliziert, werden, sodass für unterschiedliche Zeitordnungen von den Betriebspunkten des Elektromotors abhängige Schallwertkennfelder erhalten werden. Die Schallwertkennfelder dienen damit als eine Art NVH-Karte für die verschiedenen Zeitordnungen und können damit vorzugsweise zur weiteren Optimierung des Elektromotors genutzt werden.

Bevorzugt ist zudem, dass die zumindest eine Komponente des Elektromotors ein Stator oder Rotor ist. Weil die hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors typischerweise am Stator und Rotor und im Luftspalt dazwischen auftreten, können die den Fahrkomfort besonders beeinträchtigenden Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen dadurch besonders genau ermittelt werden.

Dabei können die unterschiedlichen Raumordnungen unterschiedliche Verformungen angeben, die in einem Luftspalt zwischen dem Stator und dem Rotor des Elektromotors auftreten. Die Verformungen sind dabei insbesondere Verformungen des Stators infolge der darauf einwirkenden Kräfte. Die Verformungen treten dabei in Gestalt von Kraftwellen an dem Stator auf und können visualisiert werden. Die einzelnen Verformungen können eine dimensionslose Angabe sein und die einwirkenden Kräfte können durch die Angabe der jeweiligen Raumordnung angegeben werden.

Die Zeitordnungen wiederum können dimensionslose Verhältnisse zwischen einer Anregungsfrequenz des Elektromotors oder der zumindest einen Komponente, insbesondere des Stators, des Elektromotors und einer vorgegebenen Referenzfrequenz, insbesondere einer Anzahl von Rotorumdrehungen, insbesondere

des Rotors des Elektromotors, pro Sekunde oder, mit anderen Worten, einer Drehzahl, angeben.

Ferner ist bevorzugt, wenn der zweite Datensatz einen Verlauf von Schallwerten über einer Frequenz, insbesondere einer Anregungsfrequenz des Elektromotors oder der zumindest einen Komponente, insbesondere des Stators, des Elektromotors, für Raumordnungen abbildet. Auch der zweite Datensatz kann demnach durch eine zweidimensionale graphische Repräsentation abgespeichert oder abbildbar sein, bei dem die Schallwerte und die Zeitordnungen oder diesen zuordenbare Frequenzen, insbesondere Anregungsfrequenzen des Elektromotors, auf den Koordinatenachsen eines zweidimensionalen Koordinatensystems abgetragen sein können. Die einzelnen Raumordnungen können als Graphen auf dem Koordinatensystem abgetragen sein, sodass jeweils abgelesen werden kann, welchen Schallwert die jeweilige Raumordnung bei welcher Frequenz oder Zeitordnung aufweist. Bei der hierin erläuterten Organisation des ersten Datensatzes und des zweiten Datensatzes ist ein einfacher Abgleich zwischen den beiden Datensätzen möglich. Dabei kann für einzelne oder alle Zeitordnungen in dem ersten Datensatz auf Basis der Zeitordnung oder dazu korrespondierenden Frequenz in dem zweiten Datensatz diejenige Raumordnung oder diejenigen Raumordnungen ausgewählt werden, welche den vorgegebenen Schallgrenzwert aufweisen, also insbesondere als störend für den Fahrkomfort beurteilt werden.

Bevorzugt ist weiterhin, dass der zweite Datensatz aus einem Simulationsmodell des Elektromotors erzeugt wird. Das Simulationsmodell kann beispielsweise auf einem CAD-Modell basieren. Für die Erzeugung des zweiten Datensatzes kann die zumindest eine Komponente des Elektromotors, insbesondere sein Stator, in dem Simulationsmodell dabei künstlichen Kräften, insbesondere Zug- und Druckkräften, ausgesetzt werden, die für die zuvor erwähnten Verformungen sorgen, denen die Raumordnungen zugewiesen werden. Dabei können die Kräfte hinsichtlich ihrer Richtung und/oder ihres Angriffspunktes am Stator entlang des Umfangs des Stators variiert werden. Wegen den künstlichen Kräften wird die Oberfläche des Stators verformt und so ein Schall ermittelbar, der von dem Stator und damit dem Elektromotor ausgeht. Dieser Schall kann in Form des Schallwerts angegeben werden, welcher wiederum beispielsweise ein Schalldruck, eine Schalleistung, eine Lautstärke, beispielsweise in Dezibel, oder eine andere Einheit oder eine Kombination von Einheiten sein kann.

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 und in Bezug auf reduzierte hör- und/oder spürbare Schwingungen optimierte Steuerkennfeld im Kraftfahrzeug aktivieren. Dadurch kann das Kraftfahrzeug, insbesondere auf Fahrer- oder Insassenwunsch, in einem quasi bzw. praktisch geräuschlosen Modus fahren.

Ferner ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei das System aufweist:

- ein Bereitstellungsmodul zum
 - (a) Bereitstellen eines Ausgangs-Betriebskennfelds des Elektromotors, wobei das Ausgangs-Betriebskennfeld Betriebspunkte des Elektromotors umfasst,
 - (b) Bereitstellen eines Kraftkennfelds zumindest einer Komponente des elektrischen Antriebssystems für den Betrieb des Elektromotors mit dem bereitgestellten Ausgangs-Betriebskennfeld, wobei das Kraftkennfeld die im Betrieb des Elektromotors an der zumindest einen Komponente des elektrischen Antriebssystems auftretenden Kräfte für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds umfasst,
- ein Veränderungsmodul zum

- (c) Verändern von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Ausgangs-Betriebskennfelds auf Basis des bereitgestellten Kraftkennfelds zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, und
- ein Ausgabemodul zum
- (d) Ausgeben des veränderten Ausgangs-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, so beispielsweise das Bereitstellungmodul und das Veränderungsmodul. 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 oder die erfindungsgemäße Verwendung 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 Vorteile, 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, insbesondere elektrischen Antriebskomponente, in Form des Elektromotors 12 kann das elektrische Antriebssystem 11 selbstverständlich weitere Komponenten 13, 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, 13 in Form des beispielhaft nur einen Elektromotors 12.

Figur 2 zeigt schematisch ein System 20 in Form eines Computers mit einem Bereitstellungsmodul 21, einem Veränderungsmodul 22 und einem Ausgabemodul 23, 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 dem Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen (engl. "Noise Vibration Harshness", kurz NVH) des Elektromotors 12 des elektrischen Antriebssystems 11 des elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugs 10 der Fig. 1.

Dabei dient das Bereitstellungsmodul 21 dem Bereitstellen eines Ausgangs-Betriebskennfelds 1 des Elektromotors 12 und eines Kraftkennfelds 2 des Elektromotors 12 für den Betrieb des Elektromotors 12 mit dem bereitgestellten Ausgangs-Betriebskennfeld 1 oder, mit anderen Worten, ein Kraftkennfeld 2, das beim Betrieb des Elektromotors 12 mit dem Ausgangs-Betriebskennfeld 1 auftritt und entsprechend erzeugbar ist. Das Kraftkennfeld 2 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 Ausgangs-Betriebskennfelds 1 an. Das Ausgangs-Betriebskennfeld 1 kann vorteilhafterweise auf eine optimale Effizienz des Elektromotors 12 (vor)optimiert sein.

Das Veränderungsmodul 22 erhält das Ausgangs-Betriebskennfeld 1 und das Kraftkennfeld 2 und verändert auf dieser Basis die Betriebspunkte des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 zu Gunsten geringerer hör- und/oder spürbarer Schwingungen des Elektromotors 12. Dies kann beispielsweise derart geschehen, dass die Betriebspunkte des Ausgangs-Betriebskennfeld 1 zu Gunsten reduzierter hör- und/oder spürbarer Schwingungen des Elektromotors 12 mit einem vorbestimmten Grenzwert der gemäß dem Kraftkennfeld 2 bei den Betriebspunkten auftretenden Kräfte 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. So lässt sich der Teilbetriebsbereich als Bereich mit besonders kritischen Betriebspunkten hinsichtlich der hör- und/oder spürbaren Schwingungen bestimmen.

Vorzugsweise kann zudem ein Grenzwert für einen Effizienzverlust zum Einsatz kommen, der zusätzlich zur Auswahl des Teilbetriebsbereichs benutzt wird. Denn die Modifikation in Richtung geringerer Schwingungen geht aufgrund der Veränderung von Betriebsparametern an den Betriebspunkten mit einem Effizienzverlust einher, wenn das Ausgangs-Betriebskennfeld 1 auf maximale Effizienz (vor)optimiert ist. Dann werden die Betriebspunkte also nur verändert, wenn der Effizienzverlust gemessen an der Grenzwertwahl toleriert wird.

Im Ergebnis erzeugt das Veränderungsmodul 22, welches alternativ auch als ein Optimierungsmodul (Optimierung der NVH) bezeichnet werden kann und wie es in der Fig. 2 gezeigt ist, ein im Hinblick auf NVH optimiertes Betriebskennfeld 3. Dieses optimierte Betriebskennfeld 3 wird von einem Ausgabemodul 23 ausgegeben, welches, alternativ zu der Darstellung von Fig. 2, auch zusammen mit dem Veränderungsmodul 22 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 3 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 3 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. Entsprechend erfolgt die beschriebene Optimierung des Ausgangs-Betriebskennfelds 1 des Elektromotors 12 offline durch das System 20. Das Ergebnis in Form des optimierten Betriebskennfelds 3 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 Betriebskennfelds 1 auf maximale Effizienz durch Maximierung des Drehmoments pro Watt. In dem Verfahrensschritt 32 werden Bedingungen für die nachfolgende Optimierung durch das Veränderungsmodul 22 aufgestellt. Eine solche Bedingung kann insbesondere sein, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des zumindest einen Elektromotors 12 von dem voroptimierten Betriebskennfeld 1 beibehalten werden. 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 2 auf Basis einer Betriebssimulation des Simulationsmodells des Elektromotors 12 mit dem Ausgangs-Betriebskennfeld 1 erzeugt. Das Kraftkennfeld 2 kann die auftretenden Kräfte in einer Zeit-Raum-Ordnung darstellen. Das Kraftkennfeld 2 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 2 dann zur Optimierung bereitgestellt.

In dem Verfahrensschritt 36 erfolgt nun die Optimierung des Ausgangs-Betriebskennfelds 1, wobei die, wie oben beschrieben, ausgewählten Betriebspunkte in dem Ausgangs-Betriebskennfeld 1 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 3 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 Kraftkennfeld
- 3 optimiertes Betriebskennfeld
- 10 Kraftfahrzeug
- 11 elektrisches Antriebssystem
- 12 Komponente, elektrische Antriebskomponente, Elektromotor
- 13 Komponente, elektrische Antriebskomponente
- 20 System
- 21 Bereitstellungsmodul
- 22 Veränderungsmodul
- 23 Ausgabemodul
- 30 Verfahren
- 31-37 Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren (30) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) durch Ausgeben eines optimierten Betriebskennfelds (3) für einen Elektromotor (12) des elektrischen Antriebssystems (11), wobei das Verfahren (30) durch die folgenden Schritte **gekennzeichnet** ist:
 - (a) Bereitstellen eines Ausgangs-Betriebskennfelds (1) des Elektromotors (12), wobei das Ausgangs-Betriebskennfeld (1) Betriebspunkte des Elektromotors (12) umfasst,
 - (b) Bereitstellen eines Kraftkennfelds (2) zumindest einer Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) für den Betrieb des Elektromotors (12) mit dem bereitgestellten Ausgangs-Betriebskennfeld (1), wobei das Kraftkennfeld (2) die im Betrieb des Elektromotors (12) an der zumindest einen Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) auftretenden Kräfte für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds (1) umfasst,
 - (c) Verändern von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds (1) in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Ausgangs-Betriebskennfelds (1) auf Basis des bereitgestellten Kraftkennfelds (2) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, und
 - (d) Ausgeben des veränderten Ausgangs-Betriebskennfelds (1) als optimiertes Betriebskennfeld (3).
2. Verfahren (30) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) der Elektromotor (12) oder ein Bauteil des Elektromotors (12) ist.
3. Verfahren (30) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) außerhalb des Kraftfahrzeugs (10) ausgeführt wird.
4. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reduktion der hör- und/oder spürbaren

- Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich mit einem Effizienzverlust in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich einhergeht.
5. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) ferner den Schritt eines Auswählens des zumindest einen Teilbetriebsbereichs umfasst.
 6. Verfahren (30) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Teilbetriebsbereich ausgewählt wird, wenn er einen vordefinierten Grenzwert von auftretenden Kräften überschreitet und/oder einen vordefinierten Grenzwert eines Effizienzverlustes unterschreitet.
 7. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ausgangs-Betriebskennfeld (1) außerhalb des zumindest einen Teilbetriebsbereichs auf eine maximale Effizienz des elektrischen Antriebssystems (11) optimiert ist oder wird.
 8. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Schritt (c) unter der Bedingung ausgeführt wird, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des Elektromotors (12) von dem Ausgangs-Betriebskennfeld (1) beibehalten werden.
 9. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt (c) zumindest ein Betriebsparameter oder mehrere Betriebsparameter des Elektromotors (12) verändert werden.
 10. Verfahren (30) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Betriebsparameter eine Spannung und/oder eine Stromstärke des Elektromotors (12) ist.
 11. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren (30) ferner das Erzeugen des Kraftkennfelds (2) auf Basis eines Simulationsmodells der zumindest einen Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) aufweist.
 12. Verfahren (30) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erzeugen des Kraftkennfelds auf Basis einer Finite Elemente Analyse erfolgt.

13. Verwendung eines durch das Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche ausgegebenen optimierten Betriebskennfelds (3) zur Steuerung des Betriebs eines Elektromotors (12) eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10).
14. System (20) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10), wobei das System **gekennzeichnet** ist durch:
 - ein Bereitstellungsmodul (21) zum
 - (a) Bereitstellen eines Ausgangs-Betriebskennfelds (1) des Elektromotors (12), wobei das Ausgangs-Betriebskennfeld (1) Betriebspunkte des Elektromotors (12) umfasst,
 - (b) Bereitstellen eines Kraftkennfelds (2) zumindest einer Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) für den Betrieb des Elektromotors (12) mit dem bereitgestellten Ausgangs-Betriebskennfeld (1), wobei das Kraftkennfeld (2) die im Betrieb des Elektromotors (12) an der zumindest einen Komponente (12, 13) des elektrischen Antriebssystems (11) auftretenden Kräfte für zumindest einen teilweisen Bereich von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds (1) umfasst,
 - ein Veränderungsmodul (22) zum
 - (c) Verändern von Betriebspunkten des Ausgangs-Betriebskennfelds (1) in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Ausgangs-Betriebskennfelds (1) auf Basis des bereitgestellten Kraftkennfelds (2) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich, und
 - ein Ausgabemodul (23) zum
 - (d) Ausgeben des veränderten Ausgangs-Betriebskennfelds (1) als optimiertes Betriebskennfeld (3).
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.

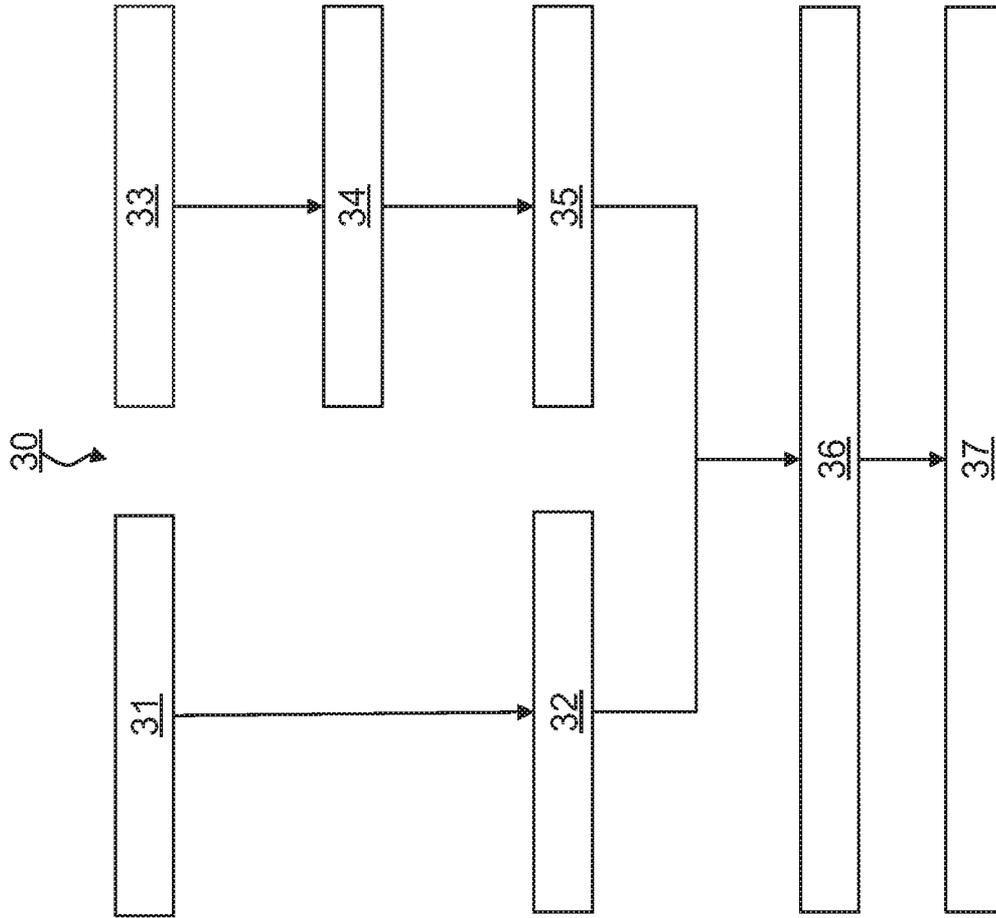


Fig. 3

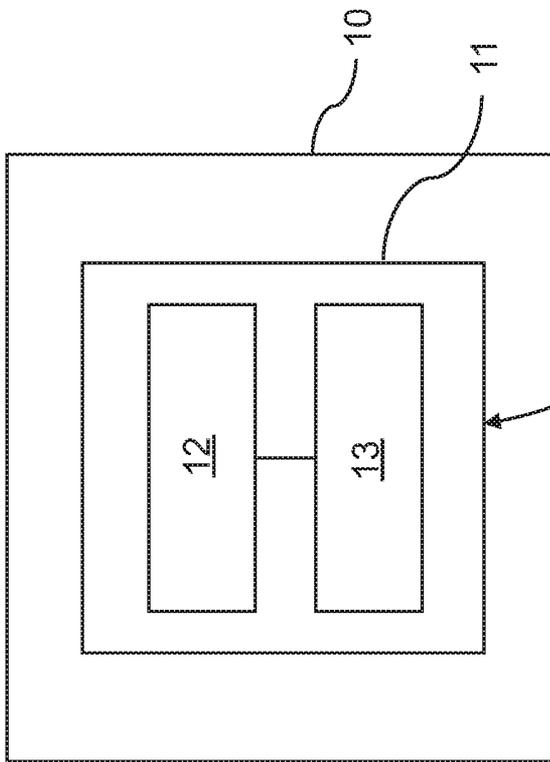


Fig. 1

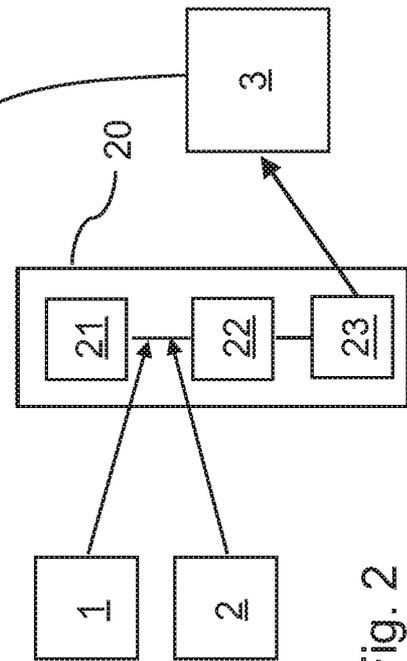


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AT2023/060137

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G06F 30/15 (2020.01)i; B60L 15/02 (2006.01)i; G06F 30/23 (2020.01)i; G06F 119/10 (2020.01)n		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06F; B60L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DENG WENZHE ET AL. "Electromagnetic Vibration and Noise of the Permanent-Magnet Synchronous Motors for Electric Vehicles: An Overview" <i>IEEE TRANSACTIONS ON TRANSPORTATION ELECTRIFICATION, IEEE</i> , Vol. 5, No. 1, 01 March 2019 (2019-03-01), pages 59-70 DOI: 10.1109/TTE.2018.2875481 XP011715844 cited in the application abstract; figures 2, 3, 5, 12 section V.C, paragraph 3 section II, paragraphs 1-2 section V, paragraph 1 section III.A, paragraphs 1 -2 equations (6), (13) section V, last paragraph the whole document	1-15
X	US 2021276430 A1 (BARKOW MAXIMILIAN [DE] ET AL) 09 September 2021 (2021-09-09) paragraphs [0003], [0006], [0010], [0017], [0028], [0036], [0055]; claims 1-3 the whole document	1
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 July 2023		Date of mailing of the international search report 01 August 2023
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Dapp, Wolfgang Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AT2023/060137

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102014218880 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH [DE]) 02 April 2015 (2015-04-02) paragraph [0005]; claims 1, 2, 3 the whole document	1
.....		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/AT2023/060137

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2021276430	A1	09 September 2021	CN	113364376	A	07 September 2021
				DE	102020105630	A1	09 September 2021
				JP	2021141805	A	16 September 2021
				US	2021276430	A1	09 September 2021

DE	102014218880	A1	02 April 2015	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. G06F30/15 B60L15/02 G06F30/23		
ADD. G06F119/10		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G06F B60L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DENG WENZHE ET AL: "Electromagnetic Vibration and Noise of the Permanent-Magnet Synchronous Motors for Electric Vehicles: An Overview", IEEE TRANSACTIONS ON TRANSPORTATION ELECTRIFICATION, IEEE, Bd. 5, Nr. 1, 1. März 2019 (2019-03-01), Seiten 59-70, XP011715844, DOI: 10.1109/TTE.2018.2875481 [gefunden am 2019-03-19] in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 2,3,5,12 Teil V.C Absatz 3 Teil II, Absätze 1-2 Teil V, Absatz 1 Teil III.A Absätze 1-2 Gleichungen (6), (13) Teil V, letzter Absatz das ganze Dokument --/--	1-15
<input checked="" type="checkbox"/>	Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :	"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)	"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht	"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
24. Juli 2023	01/08/2023	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Dapp, Wolfgang	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	----- US 2021/276430 A1 (BARKOW MAXIMILIAN [DE] ET AL) 9. September 2021 (2021-09-09) Absätze [0003], [0006], [0010], [0017], [0028], [0036], [0055]; Ansprüche 1-3 das ganze Dokument	1
X	----- DE 10 2014 218880 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH [DE]) 2. April 2015 (2015-04-02) Absatz [0005]; Ansprüche 1,2,3 das ganze Dokument -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2023/060137

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2021276430 A1	09-09-2021	CN 113364376 A	07-09-2021
		DE 102020105630 A1	09-09-2021
		JP 2021141805 A	16-09-2021
		US 2021276430 A1	09-09-2021

DE 102014218880 A1	02-04-2015	KEINE	
