

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50281/2022
(22) Anmeldetag: 26.04.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2023

(51) Int. Cl.: **G06F 30/20** (2020.01)
G01M 15/00 (2006.01)
G01H 17/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 113364172 A
DE 102019125740 B3
CN 109214125 A
CN 108539935 A
CN 111064327 A

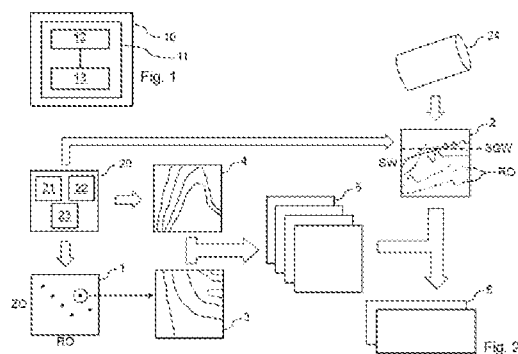
(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
MEHRGOU Mehdi MSc.
8054 Seierberg (AT)
GARCIA DE MADINABEITIA MERINO Inigo
8010 Graz (AT)
MAIER Stefan BSc.
8010 Graz (AT)
AHMED Mohamed Essam MSc.
8020 Graz (AT)
MAHROUS Safa BSc.
8700 Leoben (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren und System zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System (20) zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors (12) eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) für eine Optimierung des Elektromotors (12).



Beschreibung

VERFAHREN UND SYSTEM ZUM ERMITTELN VON DATEN VON HÖR- UND/ODER SPÜRBAREN SCHWINGUNGEN EINES ELEKTROMOTORS EINES ELEKTRISCHEN ANTRIEBS-SYSTEMS EINES KRAFTFAHRZEUGS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs für eine Optimierung des Elektromotors sowie ein Computerprogrammprodukt.

[0002] 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.

[0003] Vor der Reduzierung der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors oder eines Bauteils des Elektromotors ist es jedoch notwendig, die hör- und/oder spürbaren Schwingungen des jeweiligen Elektromotors zu identifizieren. Dies bedeutet, dass ermittelt werden muss, bei welchen Betriebsweisen des Elektromotors (charakterisiert beispielsweise durch Betriebsparameter des Elektromotors) welche hör- und/oder spürbaren Schwingungen auftreten und ggf. wie hoch diese ausfallen. Eine derartige Ermittlung von Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors ist im Stand der Technik durch Computerberechnungen zwar möglich, jedoch sind für derartige Computerberechnungen überaus lange Rechenzeiten notwendig.

[0004] Selbst bei geringfügigen oder einfachen strukturellen Veränderungen am Design des Elektromotors sind neue, langwierige Computerberechnungen erforderlich, um das durch die strukturellen Veränderungen geänderte NVH-Verhalten des Elektromotors zu ermitteln. Aus dem Stand der Technik sind hier beispielsweise die Dokumente CN 113364172 A, DE 102019125740 B3, CN 109214125 A, CN 108539935 A und CN 111064327 A bekannt, welche sich mit dieser Thematik auseinandersetzen.

[0005] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, es in kostengünstiger und einfacher Weise zu ermöglichen, den Fahrkomfort eines Kraftfahrzeugs mit einem elektrischen Antriebssystem durch Reduktion von hör- und/oder spürbaren Schwingungen zu erhöhen.

[0006] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, 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 dem erfindungsgemäßen System sowie dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt und jeweils umgekehrt, sodass bzgl. der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird oder werden kann.

[0007] Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs für eine Optimierung des Elektromotors vorgesehen. Das Verfahren weist dabei die folgenden Schritte auf:

- (a) 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 einem Bauteil des Elektromotors auftretende Kräfte für unterschiedliche Betriebsparameter des Elektromotors

umfassen,

- (b) Bereitstellen, insbesondere Erzeugen, eines für den Elektromotor spezifischen zweiten Datensatzes, welcher unterschiedlichen Raumordnungen und Zeitordnungen des ersten Datensatzes unterschiedliche Schallwerte des zumindest einen Bauteils des Elektromotors zuordnet, und
- (c) 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.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren, welches insbesondere ein computerimplementiertes Verfahren sein kann oder auf einem Computer oder mehreren Computern ausgeführt werden kann, stellt damit im Ergebnis Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors bereit, die für eine Optimierung des Elektromotors geeignet sind oder genutzt werden können. Anders als im Stand der Technik decken die ermittelten Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen jedoch nicht jede noch so kleine Schwingung ab, sondern sind insoweit kompakt, als dass in Abhängigkeit der Schallwerte des zweiten Datensatzes nur solche Schwingungen ermittelt werden, die einem vorgegebenen Schallgrenzwert entsprechen oder darüber liegen.

[0009] Der Schallgrenzwert kann dabei so gewählt werden, dass damit nur solche hör- und/oder spürbaren Schwingungen oder, mit anderen Worten, ein solches NVH- Verhalten in den Daten umfasst ist, welches im Fahrbetrieb des Kraftfahrzeugs zu von den Passagieren 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 in den Daten umfasst werden, welche im Fahrbetrieb des Kraftfahrzeugs störend erscheinen. Damit ist gemeint, dass nur von den Passagieren des Kraftfahrzeugs hinreichend hörbare, also hinreichend laute, Schwingungen, oder hinreichend spürbare Schwingungen von den Daten erfasst werden.

[0010] Demnach ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine intelligente NVH-Datenselektion anhand eines besonderen Datensatzes, der hierin zur Unterscheidung vom ersten Datensatz als zweiter Datensatz bezeichnet wird, der in den aus dem Stand der Technik bekannten Computerberechnungen nicht 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 vom Verfahren ermittelten Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen 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 erfindungsgemäße 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. Dadurch kann eine schnelle Ermittlung von komfortrelevanten NVH-Daten eines Elektromotors erfolgen.

[0011] Bei der Verwendung der ermittelten Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen für die Optimierung, insbesondere NVH-Optimierung oder, mit anderen Worten, Reduzierung der gemäß den ermittelten Daten vorhandenen hör- und/oder spürbaren Schwingungen, kann es sich dabei beispielsweise um eine strukturelle Veränderung oder Designänderung des Elektromotors an einem oder mehreren Bauteilen des Elektromotors handeln. Dies erlaubt es, strukturelle Veränderungen an dem Elektromotor vorzunehmen und schnell auf NVH zu evaluieren, was den gesamten Entwicklungsprozess in Bezug auf NVH vereinfacht und völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten bei der Entwicklung von Elektromotoren erlaubt. Alternativ oder zusätzlich kann es sich aber auch um eine Anpassung des Betriebs des Elektromotors, beispielsweise anhand eines oder mehrere Kennfelder, insbesondere Betriebskennfeldern, des Elektromotors handeln.

[0012] Soweit hierin von einem Betriebskennfeld eines Elektromotors gesprochen wird ist darunter eine Mehrheit von Betriebspunkten oder eine Gesamtheit aller Betriebspunkte des Elektromotors zu verstehen. 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.

[0013] Als Kraftkennfelder des Elektromotors in dem ersten Datensatz werden insbesondere eine Mehrheit oder Gesamtheit von im Betrieb des Elektromotors an zumindest einem, mehreren oder allen Bauteilen, insbesondere zumindest dem Stator, des Elektromotors auftretenden Kräften in Abhängigkeit von den durchlaufenen Betriebspunkten des Betriebskennfelds des Elektromotors oder Betriebsparametern verstanden. In den Kraftkennfeldern können die Kräfte 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 dem zumindest einen Bauteil auftretenden Kraft in Newton über einem oder mehreren Betriebsparametern des Elektromotors, beispielsweise einer Stromstärke, einer Spannung, einem Phasenwinkel, insbesondere Winkel von Rotor zu Stator des Elektromotors, usw., definiert sein. Möglich ist zudem, dass das Verfahren ferner das Erzeugen der Kraftkennfelder auf Basis eines Simulationsmodells des Elektromotors aufweist. Dadurch, dass ein Simulationsmodell zum Einsatz kommt, können die Kraftkennfelder zerstörungsfrei, schnell und präzise ermittelt werden, statt eine reale Messung im Kraftfahrzeug durchzuführen. Dabei kann das Erzeugen des Kraftkennfelds beispielsweise auf Basis einer Finite Elemente Methode (FEM) Analyse erfolgen.

[0014] Als Zeitordnungen und Raumordnungen werden hierin insbesondere dimensionslose Größen des Elektromotors verstanden, die im Betrieb auftreten. Die Zeitordnungen können aus den Frequenzen, insbesondere Anregungsfrequenzen, des Elektromotors abgeleitet sein. Die Raumordnungen können aus Verformungen, insbesondere an der Oberfläche, zumindest eines Bauteils, 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.

[0015] Die jeweiligen Informationen bzw. 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.

[0016] Es ist nicht notwendig, aber möglich, sämtliche Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens in der durch die Nummerierung der Verfahrensschritte (a) bis (c) angegebenen Reihenfolge auszuführen. So können einzelne Verfahrensschritte auch in einer anderen als dieser Reihenfolge ausgeführt werden. Beispielsweise kann der Verfahrensschritt (b) vor oder nach

dem Verfahrensschritt (a) 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 (c) dient insoweit lediglich der besseren Strukturierung des Verfahrens.

[0017] Vorzugsweise werden im Verfahrensschritt (c) 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.

[0018] 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 bzw. 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 bzw. Frequenz in dem zweiten Datensatz jeweils die drei Raumordnungen mit den höchsten Schallwerten vorausgewählt werden.

[0019] Möglich ist es demnach, von allen Raumordnungen jeweils einer Zeitordnung jeweils diejenige(n) Raumordnung(en) auszuwählen, 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.

[0020] Bevorzugt ist ferner, dass ein Betriebskennfeld des Elektromotors, welches Betriebspunkte des Elektromotors umfasst, erzeugt wird und mit den ausgewählten Kraftkennfeldern kombiniert wird, insbesondere durch Interpolation, 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.

[0021] 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.

[0022] Bevorzugt ist zudem, dass das zumindest eine Bauteil 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.

[0023] 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 durch eine dimensionslose

Raumordnung bezeichnet werden und die einwirkenden Kräfte können durch die Angabe der jeweiligen Raumordnung, bei der diese Kräfte wirken, angegeben werden.

[0024] Die Zeitordnungen wiederum können dimensionslose Verhältnisse zwischen einer Anregungsfrequenz des Elektromotors oder des zumindest einen Bauteils, insbesondere Stators, des Elektromotors und einer vorgegebenen Referenzfrequenz, insbesondere einer Anzahl von Rotationsumdrehungen, insbesondere des Rotors des Elektromotors, pro Sekunde oder, mit anderen Worten, einer Drehzahl, angeben.

[0025] Ferner ist bevorzugt, wenn der zweite Datensatz einen Verlauf von Schallwerten über einer Frequenz, insbesondere einer Anregungsfrequenz des Elektromotors oder des zumindest einen Bauteils, 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 Achsen auf dem Koordinatensystem abgetragen sein, so dass jeweils abgelesen werden kann, welchen Schallwert die jeweilige Raumordnung bei welcher Frequenz bzw. Zeitordnung aufweist. Bei der hierin erläuterten Organisation des ersten Datensatzes und des zweiten Datensatzes ist ein einfacher Abgleich zwischen den beiden Datensätzen in dem Verfahrensschritt (c) 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.

[0026] Bevorzugt ist weiterhin, dass der zweite Datensatz aus einem Simulationsmodell des Elektromotors erzeugt wird. Vorzugsweise basiert das Simulationsmodell auf einem CAD-Modell (Abk. CAD steht für computer-aided design, zu Deutsch rechnerunterstütztes Konstruieren). Mittels CAD ist ein einfaches rechnerunterstütztes Erzeugen eines geometrischen Modells des Elektromotors mitsamt seinen Bauteilen möglich. Ebenso ist es mit dem CAD-Modell einfach möglich, die Geometrie und Dimensionierung der Bauteile des Elektromotors zu verändern. Für die Erzeugung des zweiten Datensatzes kann das zumindest eine Bauteil 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 insbesondere die Oberfläche des Stators verformt und so ein Schall ermittelbar, der von dem Elektromotor, insbesondere dem Stator, ausgeht. Dieser Schall kann in Form des Schallwerts angegeben werden, welcher wiederum beispielsweise ein Schalldruck, eine Schallleistung, eine Lautstärke, beispielsweise in Dezibel, oder eine andere Einheit oder eine Kombination von Einheiten sein kann.

[0027] Auch ist bevorzugt, wenn Betriebspunkte eines erzeugten Betriebskennfelds des Elektromotors in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Betriebskennfelds auf Basis der ausgewählten Kraftkennfelder zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich verändert werden. Mit dem Betriebskennfeld ist damit ein Ausgangs-Betriebskennfeld gemeint, welches als Ausgangspunkt für eine Optimierung dient bzw. bereitgestellt wird. Mit anderen Worten ist das (Ausgangs-)Betriebskennfeld dasjenige Betriebskennfeld, welches durch das Verfahren optimiert wird. Ein optimiertes Betriebskennfeld ist das Ergebnis eines solchen 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 Elektromotors des Kraftfahrzeugs optimiert. Dabei wird sich zu Nutze gemacht, 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.

[0028] Dadurch kann das Verändern der Betriebspunkte des (Ausgangs-)Betriebskennfelds in zumindest einem Teilbetriebsbereich, insbesondere einem in Bezug auf die ermittelten Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen besonders kritischen und damit den Fahrkomfort einschränkenden Bereich, des (Ausgangs-)Betriebskennfelds auf Basis der bereitgestellten Kraftkennfelder zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich erfolgen.

[0029] Die Optimierung oder, mit anderen Worten, NVH-Reduzierung kann dabei unter der Bedingung ausgeführt werden, 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 eine mögliche vorherige Optimierung auf maximale Effizienz verändert wird. So kann das (Ausgangs-)Betriebskennfeld außerhalb des zumindest einen Teilbetriebsbereichs auf eine maximale Effizienz des elektrischen Antriebssystems, insbesondere des Elektromotors, voroptimiert sein oder werden. 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. Für die Optimierung kann ansonsten zumindest ein Betriebsparameter oder können 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.

[0030] Eine Reduktion der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich kann 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 durch die zuvor ermittelten Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen geringer ausfällt und 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.

[0031] Grundsätzlich kann das (Ausgangs-)Betriebskennfeld auch im gesamten Betriebsbereich des Elektromotors optimiert werden. Es kann aber vorteilhaft sein, das Betriebskennfeld des 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.

[0032] Neben der Optimierung von Betriebskennfeldern können die gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen aber auch für andere Anwendungszwecke, wie beispielsweise für Test-, Simulations- und Auslegungszwecke genutzt werden.

[0033] Vorteilhafterweise wird das Verfahren außerdem außerhalb des Kraftfahrzeugs ausgeführt. Dies ermöglicht beispielsweise eine Optimierung, Auslegung oder Simulation des Elektromotors vor der späteren online-Nutzung in dem elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeug. Die Ausführung des Verfahrens außerhalb des Kraftfahrzeugs kann entsprechend auch als offline bezeichnet werden.

[0034] Vorteilhafterweise können so jeweils individuelle Elektromotoren und individuelle Kraft-

fahrzeuge vorab optimiert werden. Die optimierten Elektromotoren können dann bei der online-Nutzung 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 NVH-optimiertes Betriebskennfeld bereitstellen zu können.

[0035] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein System zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs für eine Optimierung des Elektromotors, wobei das System aufweist:

- ein Erzeugungsmodul zum 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 einem Bauteil des Elektromotors auftretenden Kräfte für unterschiedliche Betriebsparameter des Elektromotors umfassen,
- ein Bereitstellungsmodul zum Bereitstellen, insbesondere Erzeugen, eines für den Elektromotor spezifischen zweiten Datensatzes, welcher unterschiedlichen Raumordnungen und Zeitordnungen des ersten Datensatzes unterschiedliche Schallwerte des zumindest einen Bauteils des Elektromotors zuordnet, und
- ein Ermittlungsmodul zum 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.

[0036] 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.

[0037] 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 Bereitstellungsmodul und das Erzeugungsmodul. 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.

[0038] 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.

[0039] Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren erläutert worden sind.

[0040] 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.

[0041] 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:

[0042] Fig. 1 ein elektrisch angetriebenes Kraftfahrzeug, und

[0043] Fig. 2 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems bei der Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0044] Identische oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren 1 und 2 jeweils mit demselben Bezugszeichen bezeichnet.

[0045] Figur 1 zeigt rein schematisch ein elektrisch angetriebenes Kraftfahrzeug 10 mit einem elektrischen Antriebssystem 11. Das elektrische Antriebssystem 11 weist einen Elektromotor 12 auf.

[0046] Neben der genannten Komponente, insbesondere elektrischen Antriebskomponente, in Form des Elektromotors 12 kann das elektrische Antriebssystem 11 selbstverständlich weitere Komponenten, wie beispielsweise eine Traktionsbatterie, einen Wechselrichter, Leistungselektronik, Getriebe usw., aufweisen, die jedoch der Übersichtlichkeit halber nicht alle in der Fig. 1 gezeigt sind.

[0047] Als bevorzugtes Ausführungsbeispiel beschränkt sich die nachstehende Erläuterung einer beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems 20 (siehe Fig. 2) auf ein hierin erläutertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem Bauteil 13 des Elektromotors 12 in Form eines Stators.

[0048] Figur 2 zeigt schematisch ein System 20 in Form eines Computers mit einem Erzeugungsmodul 21, einem Bereitstellungsmodul 22 und einem Ermittlungsmodul 23, wobei das System 20 sich außerhalb des in Fig. 1 gezeigten Kraftfahrzeugs 10 befindet. Das System 20 dient der Ausführung des hierin erläuterten und in Fig. 2 schematisch gezeigten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0049] Die, wie nun näher erläutert wird, durch das Verfahren erhaltenen Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen, insbesondere die in Fig. 2 gezeigten Schallwertkennfelder 6, können, was jedoch nicht näher gezeigt ist, 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 durch beispielsweise eine Optimierung von Betriebskennfeldern 4 des Elektromotors 12, konstruktiven Änderungen unter Zuhilfenahme der Daten oder einem Verfahren für Simulation oder Auslegung des Elektromotors 12 durchgeführt werden.

[0050] Dabei dient das Erzeugungsmodul 21 dem Erzeugen eines für den Elektromotor 12 spezifischen ersten Datensatzes 1 von unterschiedlichen Kraftkennfeldern 3, denen unterschiedliche Zeitordnungen ZO und Raumordnungen RO zugeordnet sind. Die Kraftkennfelder 3 geben die im Betrieb des Elektromotors 12 an dem Stator des Elektromotors 13 auftretenden Kräfte für unterschiedliche Betriebsparameter des Elektromotors 12 an. Die Betriebsparameter des Elektromotors 12, die an den Achsen des Kraftkennfelds 3 der Fig. 2 aufgetragen werden können, können beispielsweise ein Phasenwinkel, ein Strom, insbesondere Stromstärke oder Spannung, usw. sein.

[0051] Das Bereitstellungsmodul 22 stellt einen für den Elektromotor 12 spezifischen zweiten Datensatz 2 bereit, welcher den unterschiedlichen Raumordnungen RO und Zeitordnungen ZO unterschiedliche Schallwerte SW des zumindest einen Bauteils 13 des Elektromotors 12 zuordnet. Eine erste Achse trägt die Schallwerte SW ab, wobei die zweite Achse insbesondere die Frequenzen des Elektromotors 12 abtragen kann, die sich insoweit aber den Zeitordnungen ZO zuordnen lassen. Die einzelnen Raumordnungen RO sind damit als Verläufe über den Schallwert SW und die Frequenz mit unterschiedlich gestrichelten Linien dargestellt. Die Kraftkennfelder 3 in dem ersten Datensatz 1 sind wie die Betriebskennfelder 4 und die Raumordnungen RO bzw. ihre Verläufe in dem zweiten Datensatz 2 dabei in Fig. 2 rein schematisch und in einer rein beispielhaften Anzahl gezeigt.

[0052] Das in Fig. 2 gezeigte Simulationsmodell 24 kann dabei für die Erzeugung des zweiten Datensatzes 2 genutzt werden, wobei das Simulationsmodell 24 und/oder der zweite Datensatz 2 ebenfalls von dem Computer des Systems 20 oder wiederum von einem anderen Computer erzeugt werden kann, wobei die Daten des Simulationsmodells 24 dem Computer des Systems 20 zugeführt werden und das Bereitstellungsmodul 22 diese für den in Fig. 2 schematisch gezeigten Verlauf des Verfahrens bereitstellt.

[0053] Das Ermittlungsmodul 23 ermittelt nun im Rahmen des Verfahrens Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen oder, mit anderen Worten, NVH-Daten des Elektromotors 12 von

in Bezug auf den Fahrkomfort in dem Kraftfahrzeug 10 erhöhter Signifikanz. Dazu erfolgt durch das Ermittlungsmodul 23 ein Auswählen von Kraftkennfeldern 3 aus dem ersten Datensatz 1 anhand eines Abgleichs der Schallwerte SW des zweiten Datensatzes 2 mit einem vorgegebenen Schallgrenzwert SGW. So kann anhand des zweiten Datensatzes 2 für Raumordnungen RO, deren SW den SGW überschreiten, die zugehörige Frequenz und dadurch die zugehörige Zeitordnung ZO ermittelt werden. Zu diesen jeweiligen Raumordnungen RO und Zeitordnungen ZO können anhand des ersten Datensatzes 1 die jeweiligen Kraftkennfelder 3 ausgewählt werden.

[0054] Weitergehend können Betriebskennfelder 4 des Elektromotors 12 erzeugt werden, welche Betriebspunkte des Elektromotors 12 umfassen, und die mit den ausgewählten Kraftkennfeldern 3 kombiniert werden, sodass für unterschiedliche Zeitordnungen ZO und unterschiedliche Raumordnungen RO von den Betriebspunkten des Elektromotors 12 abhängige Betriebspunkt-Kraftkennfelder 5 erhalten werden. Diese wiederum können für unterschiedliche Zeitordnungen ZO mit den Schallwerten SW des zweiten Datensatzes 2 kombiniert werden, sodass für unterschiedliche Zeitordnungen ZO von den Betriebspunkten des Elektromotors 12 abhängige Schallwertkennfelder 6 erhalten werden.

[0055] Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	erster Datensatz
2	zweiter Datensatz
3	Kraftkennfeld
4	Betriebskennfeld
5	Betriebspunkt-Kraftkennfeld
6	Schallwertkennfeld
10	Kraftfahrzeug
11	elektrisches Antriebssystem
12	Elektromotor
13	Komponente
20	System
21	Erzeugungsmodul
22	Bereitstellungsmodul
23	Ermittlungsmodul
24	Simulationsmodell
RO	Raumordnung
ZO	Zeitordnung
SW	Schallwert
SGW	Schallgrenzwert

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors (12) eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) für eine Optimierung des Elektromotors (12), wobei das Verfahren durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist:
 - (a) Erzeugen eines für den Elektromotor (12) spezifischen ersten Datensatzes (1) von unterschiedlichen Kraftkennfeldern (3), denen unterschiedliche Zeitordnungen (ZO) und Raumordnungen (RO) zugeordnet sind, wobei die Kraftkennfelder (3) im Betrieb des Elektromotors (12) an zumindest einem Bauteil (13) des Elektromotors (12) auftretende Kräfte für unterschiedliche Betriebsparameter des Elektromotors (12) umfassen,
 - (b) Bereitstellen eines für den Elektromotor (12) spezifischen zweiten Datensatzes (2), welcher unterschiedlichen Raumordnungen (RO) und Zeitordnungen (ZO) des ersten Datensatzes (1) unterschiedliche Schallwerte (SW) des zumindest einen Bauteils (13) des Elektromotors (12) zuordnet, und
 - (c) Ermitteln der Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors (12) durch Auswählen von Kraftkennfeldern (3) aus dem ersten Datensatz (1) anhand eines Abgleichs der Schallwerte (SW) des zweiten Datensatzes (2) mit einem vorgegebenen Schallgrenzwert (SGW).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Verfahrensschritt (c) unterschiedliche Raumordnungen (RO) für unterschiedliche Zeitordnungen (ZO) anhand des Abgleichs der Schallwerte (SW) des zweiten Datensatzes (2) mit dem vorgegebenen Schallgrenzwert (SGW) vorausgewählt werden und die Kraftkennfelder (3) gemäß den vorausgewählten Raumordnungen (RO) ausgewählt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass von allen Raumordnungen (RO) jeweils einer Zeitordnung (ZO) jeweils diejenige Raumordnung (RO) vorausgewählt wird, die den höchsten Schallwert (SW) aller Raumordnungen (RO) der jeweiligen Zeitordnung (ZO) aufweist.
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ferner ein Betriebskennfeld (4) des Elektromotors (12), welches Betriebspunkte des Elektromotors (12) umfasst, erzeugt wird und mit den ausgewählten Kraftkennfeldern (3) kombiniert wird, sodass für unterschiedliche Zeitordnungen (ZO) und unterschiedliche Raumordnungen (RO) von den Betriebspunkten des Elektromotors (12) abhängige Betriebspunkt-Kraftkennfelder (5) erhalten werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Betriebspunkt-Kraftkennfelder (5) für unterschiedliche Zeitordnungen (ZO) mit den Schallwerten (SW) des zweiten Datensatzes (2) kombiniert werden, sodass für unterschiedliche Zeitordnungen (ZO) von den Betriebspunkten des Elektromotors (12) abhängige Schallwertkennfelder (6) erhalten werden.
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zumindest eine Bauteil (13) des Elektromotors (12) ein Stator oder Rotor ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die unterschiedlichen Raumordnungen (RO) unterschiedliche Verformungen angeben, die in einem Luftspalt zwischen dem Stator und dem Rotor des Elektromotors (12) auftreten.
8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeitordnungen (ZO) dimensionslose Verhältnisse zwischen einer Anregungsfrequenz des Elektromotors (12) oder des zumindest einen Bauteils (13) des Elektromotors (12) und einer vorgegebenen Referenzfrequenz, insbesondere einer Anzahl von Rotorumdrehungen pro Sekunde, angeben.

9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Datensatz (2) einen Verlauf von Schallwerten (SW) über einer Frequenz, insbesondere einer Anregungsfrequenz des Elektromotors (12) oder des zumindest einen Bauteils (13) des Elektromotors (12), für Raumordnungen (RO) abbildet.
10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Datensatz (2) aus einem Simulationsmodell (24) des Elektromotors (12) erzeugt wird.
11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Betriebspunkte eines erzeugten Betriebskennfelds (4) des Elektromotors (12) in zumindest einem Teilbetriebsbereich des Betriebskennfelds (4) auf Basis der ausgewählten Kraftkennfelder (3) zum Reduzieren der hör- und/oder spürbaren Schwingungen in dem zumindest einen Teilbetriebsbereich verändert werden.
12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren außerhalb des Kraftfahrzeugs (10) ausgeführt wird.
13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Betriebsparameter eine Spannung, eine Stromstärke und/oder ein Phasenwinkel sind.
14. System (20) zum Ermitteln von Daten von hör- und/oder spürbaren Schwingungen eines Elektromotors (12) eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10) für eine Optimierung des Elektromotors (12), wobei das System (20) gekennzeichnet ist durch:
 - ein Erzeugungsmodul (21) zum Erzeugen eines für den Elektromotor (12) spezifischen ersten Datensatzes (1) von unterschiedlichen Kraftkennfeldern (3), denen unterschiedliche Zeitordnungen (ZO) und Raumordnungen (RO) zugeordnet sind, wobei die Kraftkennfelder (3) im Betrieb des Elektromotors (12) an zumindest einem Bauteil (13) des Elektromotors (12) auftretenden Kräfte für unterschiedliche Betriebsparameter des Elektromotors (12) umfassen,
 - ein Bereitstellungsmodul (22) zum Bereitstellen eines für den Elektromotor (12) spezifischen zweiten Datensatzes (2), welcher den unterschiedlichen Raumordnungen (RO) und Zeitordnungen (ZO) unterschiedliche Schallwerte (SW) des zumindest einen Bauteils (13) des Elektromotors (12) zuordnet, und
 - ein Ermittlungsmodul (23) zum Ermitteln der Daten der hör- und/oder spürbaren Schwingungen des Elektromotors (12) durch Auswählen von Kraftkennfeldern (3) aus dem ersten Datensatz (1) anhand eines Abgleichs der Schallwerte (SW) des zweiten Datensatzes (2) mit einem vorgegebenen Schallgrenzwert (SGW).
15. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

