

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50142/2022  
(22) Anmeldetag: 07.03.2022  
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **B60L 15/20** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 2019263275 A1  
US 2021129686 A1  
US 2021323416 A1  
US 8928266 B1

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

(72) Erfinder:  
AHMED Mohamed Essam MSc  
8020 Graz (AT)  
MEHRGOU Mehdi MSc  
8054 Seierberg (AT)  
GARCIA DE MADINABEITIA MERINO Inigo  
8010 Graz (AT)

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

(54) **Verfahren und System zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (30) zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10), dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren (30) die folgenden Schritte aufweist:

- (a) Bereitstellen eines Betriebskennfelds (1) zumindest eines Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und eines Betriebszusammenhangs (2) zumindest einer weiteren elektrischen Antriebskomponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11),
- (b) Bereitstellen einer Systemeffizienzfunktion, die aus einer ersten Effizienzfunktion des zumindest einen Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und einer zweiten Effizienzfunktion der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11) kombiniert ist, und
- (c) Optimieren des Betriebskennfelds (1) des zumindest einen Elektromotors (12) durch Maximieren der Systemeffizienzfunktion.

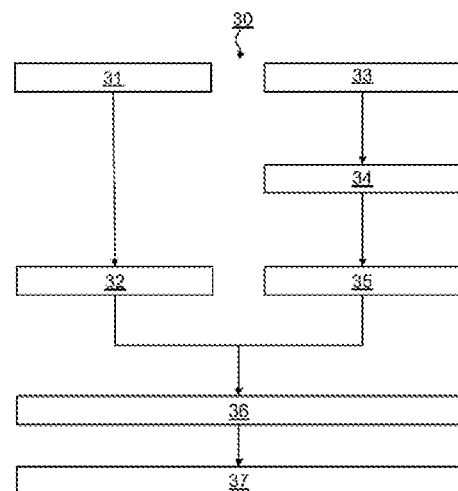


Fig. 3

## Beschreibung

### VERFAHREN UND SYSTEM ZUM OPTIMIEREN DER SYSTEMEFFIZIENZ EINES ELEKTRISCHEN ANTRIEBSSYSTEMS EINES KRAFTFAHRZEUGS

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs sowie ein Computerprogrammprodukt.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Betriebskennfelder von Elektromotoren in Antriebssystem des Kraftfahrzeugs zu nutzen, welche auf maximale Effizienz optimiert sind. Unter der Effizienz des Elektromotors wird dabei der Wirkungsgrad des Elektromotors verstanden, also das Verhältnis der Nutzenergie des Elektromotors zu der dem Elektromotor zugeführten Energie. Dies ist beispielsweise aus den bekannten Dokumenten US 2019263275 A1, US 2021129686 A1, US 2021323416 A1 und US 8928266 B1 ersichtlich.

**[0003]** Die Erfinder haben herausgefunden, dass es nicht ausreicht, ein Betriebskennfeld des Elektromotors auf maximale Effizienz zu optimieren, um ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug mit maximaler Effizienz und Reichweite bereitzustellen.

**[0004]** 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, eine hohe Effizienz und Reichweite eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs zu ermöglichen.

**[0005]** 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 bzw. werden kann.

**[0006]** Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems eines, insbesondere elektrisch angetriebenen, Kraftfahrzeugs vorgesehen. Das Verfahren weist zumindest die folgenden Schritte auf:

**[0007]** (a) Bereitstellen eines Betriebskennfelds zumindest eines Elektromotors des elektrischen Antriebssystems und eines Betriebszusammenhangs zumindest einer weiteren elektrischen Antriebskomponente des elektrischen Antriebssystems,

**[0008]** (b) Bereitstellen einer Systemeffizienzfunktion, die aus einer ersten Effizienzfunktion des zumindest einen Elektromotors des elektrischen Antriebssystems und einer zweiten Effizienzfunktion der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente des elektrischen Antriebssystems kombiniert ist, und

**[0009]** (c) Optimieren des Betriebskennfelds des zumindest einen Elektromotors durch Maximieren der Systemeffizienzfunktion.

**[0010]** Anders als im Stand der Technik wird erfindungsgemäß damit nicht nur der Elektromotor in Isolation betrachtet und selbständig auf maximale Effizienz optimiert. Stattdessen werden mit dem zumindest einen Elektromotor und der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente ein größerer Teil des elektrischen Antriebssystems, insbesondere das gesamte elektrische Antriebssystem, beim Optimieren der Effizienz für das elektrisch angetriebene Kraftfahrzeug berücksichtigt. Dazu wird die erfindungsgemäße Systemeffizienzfunktion bereitgestellt, welche die Effizienzfunktionen von dem zumindest einen Elektromotor und die Effizienzfunktion von der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente miteinander kombiniert. Dies hat sich

deshalb als vorteilhaft herausgestellt, weil höhere Verluste an weiteren elektrischen Antriebskomponenten, beispielsweise an einem Wechselrichter, Effizienzsteigerungen des Elektromotors in der Gesamtbetrachtung zunichte machen können. Mit dem vorliegenden Verfahren jedoch können mögliche Verluste bzw. Effizienzen weiterer elektrischer Antriebskomponenten in den Prozess der Effizienzoptimierung von Elektromotoren einbezogen werden, sodass eine für das gesamte elektrische Antriebssystem optimierte, insbesondere zumindest nahezu optimale, Systemeffizienz erhalten werden kann.

**[0011]** Als das Betriebskennfeld eines Elektromotors wird insbesondere eine Mehrheit von Betriebspunkten oder eine Gesamtheit aller Betriebspunkte des Elektromotors verstanden. 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.

**[0012]** Als Betriebszusammenhang einer weiteren elektrischen Antriebskomponente wird demgegenüber ein insbesondere durch eine oder mehrere Betriebsparameter und/oder Betriebsfunktionen mit dem Betriebskennfeld des Elektromotors geschaffener Zusammenhang zwischen dem Elektromotor und der weiteren elektrischen Antriebskomponente bzw. eine Betriebsabhängigkeit der weiteren elektrischen Antriebskomponente von dem Elektromotor bzw. dessen Betriebskennfeld verstanden, die durch eine gemeinsame Verschaltung bzw. Funktionsweise in dem elektrischen Antriebssystem bedingt ist. Dabei kann auch der Betriebszusammenhang der weiteren elektrischen Antriebskomponente durch ein Betriebskennfeld abbildbar sein bzw. kann der Betrieb der weiteren elektrischen Antriebskomponente durch ein Betriebskennfeld darstellbar sein.

**[0013]** Vorteilhafterweise wird das Verfahren außerhalb des Kraftfahrzeugs ausgeführt. Dies ermöglicht eine Optimierung der Betriebspunkte 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 elektrische Antriebssysteme bzw. individuelle elektrisch angetriebene 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.

**[0014]** Vorteilhaft ist ferner, wenn die zumindest eine weitere elektrische Antriebskomponente ein Wechselrichter (Inverter) ist. Ganz besonders können nur der oder die Elektromotoren des elektrischen Antriebssystems und der oder die Wechselrichter im erfindungsgemäßen Verfahren als elektrischen Antriebskomponenten des elektrischen Antriebssystems berücksichtigt werden, um das Betriebskennfeld des zumindest einen Elektromotors zu optimieren, weil diese beiden verschiedenen Typen von elektrischen Antriebskomponenten den größten Einfluss auf die Systemeffizienz haben. Gleichwohl können aber auch weitere elektrische Antriebskomponenten, die kein Elektromotor und kein Wechselrichter sind, wie beispielsweise Traktionsbatterie, Leistungselektronik, Getriebe usw. berücksichtigt werden, deren jeweilige Effizienzfunktionen zum Bereitstellen der Systemeffizienzfunktion durch Kombination mit den anderen Effizienzfunktionen herangezogen werden.

**[0015]** Auch ist vorteilhaft, wenn das in Schritt (a) bereitgestellte Betriebskennfeld auf eine maximale Effizienz voroptimiert ist. Dabei kann das Verfahren den Schritt des Voroptimierens des Betriebskennfelds vor dem Bereitstellen des Betriebskennfelds des zumindest einen Elektromotors umfassen. Ganz besonders kann zur Voroptimierung auf maximale Effizienz dabei ein Verfahren zur Maximierung des Drehmoments pro Watt (engl. „Maximum Torque per Watt“, kurz MTPW) verwendet werden. Eine derartige Voroptimierung erlaubt die Erzielung besonders schneller und optimaler Ergebnisse, weil das bereits voroptimierte Betriebskennfeld im Laufe des Verfahrens nur noch an bestimmten Betriebspunkten derart angepasst werden muss, dass dies

zwar eine geringere Effizienz beim Elektromotor bedeutet, jedoch eine derart höhere Effizienz bei der weiteren elektrischen Antriebskomponente bedeutet, dass sie den Effizienzverlust beim Elektromotor übersteigt, so dass die Systemeffizienz oder, mit anderen Worten, Gesamteffizienz des elektrischen Antriebssystems steigt.

**[0016]** Vorteilhafterweise wird vorgesehen, dass Schritt (c) unter der Bedingung ausgeführt wird, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des zumindest einen Elektromotors von dem voroptimierten Betriebskennfeld beibehalten werden. So kann sichergestellt werden, dass das voroptimierte Betriebskennfeld nur in einem bestimmten, im Hinblick auf die bereits erfolgte Voroptimierung vorteilhaften Parameterbereich verändert wird. Auch können weitere Bedingungen für die Optimierung des Kennfelds genutzt werden, die wiederum von konkreten Betriebsparametern des Elektromotors abhängig sind. So können beispielsweise eine maximale verfügbare Spannung und eine maximal erlaubte Stromstärke als Randbedingung des Elektromotors vorgegeben werden, die in Schritt (c) eingehalten werden müssen, um real anwendbare Ergebnisse zu erhalten.

**[0017]** Insbesondere kann es sein, dass in Schritt (c) das Betriebskennfeld zugunsten einer höheren Systemeffizienz auf eine geringere als eine maximale Effizienz des zumindest einen Elektromotor optimiert wird. Mit anderen Worten wird bewusst eine Verschlechterung der Effizienz des zumindest einen Elektromotors erlaubt, um einen Effizienzgewinn bei der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente zu gewinnen, welcher den Effizienzverlust bei dem zumindest einen Elektromotor überschreitet und so für einen Gewinn bei der Systemeffizienz bzw. Gesamteffizienz des elektrischen Antriebssystems sorgt. Gegenüber einer isolierten Optimierung des Elektromotors oder einem Verschlechterungsverbot bei der Optimierung des Elektromotors oder eines voroptimierten Betriebskennfelds des Elektromotors kann so eine höhere Systemeffizienz erzielt werden.

**[0018]** Ganz besonders kann vorgesehen sein, dass die zweite Effizienzfunktion von zumindest einem Betriebsparameter des zumindest einen Elektromotors abhängt. Bei den Betriebsparametern kann es sich beispielsweise um eine Spannung des Elektromotors, um eine Stromstärke des Elektromotors, um eine Drehzahl des Elektromotors usw. handeln. Dadurch kann die zweite Effizienzfunktion in Abhängigkeit von den Betriebsparametern des zumindest einen Elektromotors bestimmbar gemacht werden. Eine Änderung eines der vorgenannten Betriebsparameter führt damit stets zu einer Änderung der Effizienz bei dem zumindest einen Elektromotor und bei der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente. Selbstverständlich kann die zweite Effizienzfunktion hierneben auch von Betriebsparametern der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente abhängen. Diese (intrinsischen) Betriebsparameter können beispielsweise eine Schaltfrequenz, ein Modulationsindex und/oder das verwendete Modulationsverfahren (beispielsweise Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM), Discontinuous Pulse Width Modulation (DPWM), Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation (SHEPWM) usw.) sein.

**[0019]** Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass das Betriebskennfeld unter Variation von zumindest einem Betriebsparameter des zumindest einen Elektromotors in Schritt (c) optimiert wird. Vorteilhafterweise können mehrere der bereits zuvor erwähnten Betriebsparameter, wie beispielsweise Stromstärke und Spannung, des Elektromotors variiert werden, während mögliche Bedingungen eingehalten werden, beispielsweise eine zulässige maximale Spannung und Stromstärke.

**[0020]** Grundsätzlich kann das Betriebskennfeld im gesamten Betriebsbereich des zumindest einen Elektromotors optimiert werden. Es kann aber auch vorteilhaft sein, dass Betriebskennfeld des zumindest einen Elektromotors nur in einem vorbestimmten Betriebsbereich zu optimieren. Eine derartige lokale Optimierung kann eingesetzt werden, um bestimmte Betriebsbereiche auszusparen, in denen beispielsweise in eine andere Richtung als Effizienz, zum Beispiel zur Reduzierung von NVH („Noise Vibration Harshness“) des Elektromotors, optimiert werden kann.

**[0021]** Vorteilhafterweise kann für die Systemeffizienzfunktion eine Verlustfunktion verwendet werden, wobei die Verlustfunktion zur Maximierung der Systemeffizienz minimiert wird. Ebenso können für die erste Effizienzfunktion und die zweite Effizienzfunktionen jeweils Verlustfunktionen

verwendet werden. Die Verwendung derartiger Verlustfunktionen für die erste Effizienzfunktion und die zweite Effizienzfunktion erlaubt eine einfache Kombination der beiden Effizienzfunktionen durch simple Addition miteinander. Entsprechend ist die Systemeffizienzfunktion für die Optimierung des Betriebskennfelds durch vergleichsweise einfache mathematische Operationen kalkulierbar.

**[0022]** Vorteilhafterweise kann das Verfahren für verschiedene Temperaturen durchgeführt werden. So können Betriebskennfelder des zumindest einen Elektromotors für verschiedene Temperaturen optimiert werden. Dies erlaubt es, jeweils für unterschiedliche Temperaturen optimierte Betriebskennfelder des Elektromotors in dem elektrischen Antriebssystem einzusetzen.

**[0023]** Schließlich kann das Verfahren ferner den Schritt eines Ausgebens des optimierten Betriebskennfelds zur Nutzung in einem elektrischen Antriebssystem des Kraftfahrzeugs aufweisen. Darüber hinaus kann das Verfahren selbstverständlich auch das Nutzen des optimierten Betriebskennfelds in dem elektrischen Antriebssystem des Kraftfahrzeugs aufweisen.

**[0024]** Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein System zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei das System aufweist:

- ein Bereitstellungsmodul zum

**[0025]** (a) Bereitstellen eines Betriebskennfelds zumindest eines Elektromotors des elektrischen Antriebssystems und eines Betriebszusammenhangs zumindest einer weiteren elektrischen Antriebskomponente des elektrischen Antriebssystems, und

**[0026]** (b) Bereitstellen einer Systemeffizienzfunktion, die aus einer ersten Effizienzfunktion des zumindest einen Elektromotors des elektrischen Antriebssystems und einer zweiten Effizienzfunktion der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente des elektrischen Antriebssystems kombiniert ist, und

- ein Optimierungsmodul zum

**[0027]** (c) Optimieren des Betriebskennfelds durch Maximieren der Systemeffizienzfunktion.

**[0028]** 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.

**[0029]** 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 Optimierungsmodul. 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.

**[0030]** 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.

**[0031]** Damit bringt ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren erläutert worden sind.

**[0032]** 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.

**[0033]** 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:

**[0034]** Fig. 1 ein elektrisch angetriebenes Kraftfahrzeug,

**[0035]** Fig. 2 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems, und

**[0036]** Fig. 3 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0037]** Identische oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren 1 bis 3 jeweils mit demselben Bezugszeichen bezeichnet.

**[0038]** Figur 1 zeigt schematisch ein elektrisch angetriebenes Kraftfahrzeug 10 mit einem elektrischen Antriebssystem 11. Das elektrische Antriebssystem 11 weist einen Elektromotor 12 und eine weitere elektrische Antriebskomponente 13, vorliegend in Form eines Wechselrichters 13, auf.

**[0039]** Neben den genannten elektrischen Antriebskomponenten 12, 13 kann das elektrische Antriebssystem 11 selbstverständlich weitere elektrische Antriebskomponenten, wie beispielsweise eine Traktionsbatterie, Leistungselektronik, Getriebe usw., aufweisen, die jedoch der Übersichtlichkeit halber nicht in der Fig. 1 gezeigt sind.

**[0040]** 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 elektrischen Antriebskomponenten in Form des beispielhaft nur einen Elektromotors 12 und des beispielhaft nur einen Wechselrichters 13.

**[0041]** Figur 2 zeigt schematisch ein System 20 in Form eines Computers mit einem Bereitstellungsmodul 21 und einem Optimierungsmodul 20, wobei das System 20 sich außerhalb des in Fig. 1 gezeigten Kraftfahrzeugs 10 befindet. Das System 20 dient der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens 30 der Fig. 3 und damit dem Optimieren der Systemeffizienz des elektrischen Antriebssystems 11 des elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugs 10 der Fig. 1.

**[0042]** Dabei dient das Bereitstellungsmodul 21 dem Bereitstellen eines voroptimierten Betriebskennfelds 1 des Elektromotors 12 und eines Betriebszusammenhangs 2 des Wechselrichters 13. Das voroptimierte Betriebskennfeld 1 ist dabei auf eine optimale Effizienz des Elektromotors 12 voroptimiert. Der Betriebszusammenhang 2 des Wechselrichters 13 zum Elektromotor 12 wird über Betriebsparameter, wie insbesondere Spannung und Stromstärke, des Elektromotors 12 definiert.

**[0043]** Außerdem stellt das Bereitstellungsmodul 21 eine Systemeffizienzfunktion in Form einer Systemverlustfunktion bereit, welche sich aus Effizienzfunktionen in Form von Verlustfunktionen des Elektromotors 12 und des Wechselrichters 13 zusammensetzt. Diese Systemverlustfunktion wird durch das Optimierungsmodul 22 minimiert, um das voroptimierte Betriebskennfeld 1 derart zu optimieren, dass eine Gesamteffizienz bzw. Systemeffizienz von dem Elektromotor 12 und dem Wechselrichter 13 gesteigert werden kann. Dazu wird in bestimmten Betriebspunkten des Betriebskennfelds 1 die Effizienz des Elektromotors 12 zugunsten einer höheren Effizienz beim Wechselrichter 13 gesenkt, wobei jedoch der Effizienzgewinn auf Seiten des Wechselrichters 13 überwiegt, sodass die Systemeffizienz insgesamt höher ausfällt. Im Ergebnis gibt das Optimierungsmodul 22, wie in der Fig. 2 gezeigt ist, oder, alternativ, ein separates, nicht gezeigtes Ausgabemodul, ein im Hinblick auf die Systemeffizienz optimiertes Betriebskennfeld 3 aus.

**[0044]** Wie in Zusammenschau der Fig. 1 und 2 durch einen Pfeil zwischen der Fig. 1 und 2 erkennbar ist, wird das nunmehr nicht nur im Hinblick auf den Elektromotor 12 auf maximale Effizienz voroptimierte Betriebskennfeld 1, sondern das auf die gesamte Systemeffizienz des elektrischen Antriebssystems 11 optimierte Betriebskennfeld 3 an das elektrische Antriebssystem 11 übergeben bzw. in dem elektrischen Antriebssystem 11 genutzt, um im Betrieb des Kraftfahrzeugs 10 mit maximaler Effizienz des elektrischen Antriebssystems 11 arbeiten zu können. Entsprechend erfolgt die beschriebene Optimierung des Betriebskennfelds 1 des Elektromotors 12 bzw. die Optimierung der Effizienz des elektrischen Antriebssystems 11 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.

**[0045]** Figur 3 zeigt ein Beispiel des bereits erläuterten erfindungsgemäßen Verfahrens 30 in Form von Verfahrensschritten 31...37 mit weiteren Details.

**[0046]** 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 Optimierungsmodul 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.

**[0047]** 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 die Effizienzfunktion in Form der Verlustfunktion des Wechselrichters 13 bestimmt. Dazu kann ein Modell basierend auf zumindest einem Betriebsparameter des Elektromotors 12, beispielsweise zumindest der Stromstärke des Elektromotors 12, aufgestellt werden. In dem Verfahrensschritt 34 wird dann die Effizienz des Wechselrichters 13 auf Basis der intrinsischen Betriebsparameter des Wechselrichters 13, wie beispielsweise einer Schaltfrequenz, eines Modulationsindex und/oder dem verwendeten Modulationsverfahren, berechnet. Schließlich werden die Verlustfunktionen von Elektromotor 12 und Wechselrichter 13 in dem Verfahrensschritt 35 zu der bereits beschriebenen Systemverlustfunktion zur Bestimmung der Systemeffizienz kombiniert.

**[0048]** In dem Verfahrensschritt 36 erfolgt nun die Optimierung des Betriebskennfelds 1, wobei jeder Betriebspunkt in dem Betriebskennfeld 1 durch die Minimierung der Systemverlustfunktion und unter Einhaltung der zuvor definierten Bedingungen optimiert werden kann. 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.

**[0049]** Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Betriebskennfeld, voroptimiertes Betriebskennfeld
- 2 Betriebszusammenhang
- 3 optimiertes Betriebskennfeld
- 10 Kraftfahrzeug
- 11 elektrisches Antriebssystem
- 12 elektrische Antriebskomponente, Elektromotor
- 13 weitere elektrische Antriebskomponente, Wechselrichter
- 20 System
- 21 Bereitstellungsmodul
- 22 Optimierungsmodul
- 30 Verfahren
- 31-37 Verfahrensschritte

## Patentansprüche

1. Verfahren (30) zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10), **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren (30) die folgenden Schritte aufweist:
  - (a) Bereitstellen eines Betriebskennfelds (1) zumindest eines Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und eines Betriebszusammenhangs (2) zumindest einer weiteren elektrischen Antriebskomponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11),
  - (b) Bereitstellen einer Systemeffizienzfunktion, die aus einer ersten Effizienzfunktion des zumindest einen Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und einer zweiten Effizienzfunktion der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11) kombiniert ist, und
  - (c) Optimieren des Betriebskennfelds (1) des zumindest einen Elektromotors (12) durch Maximieren der Systemeffizienzfunktion.
2. Verfahren (30) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren (30) außerhalb des Kraftfahrzeugs (10) ausgeführt wird.
3. Verfahren (30) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine weitere elektrische Antriebskomponente (13) ein Wechselrichter (13) ist.
4. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das in Schritt (a) bereitgestellte Betriebskennfeld (1) auf eine maximale Effizienz voroptimiert ist.
5. Verfahren (30) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass Schritt (c) unter der Bedingung ausgeführt wird, dass ein Drehmoment und eine Drehzahl des zumindest einen Elektromotors (12) von dem voroptimierten Betriebskennfeld (1) beibehalten werden.
6. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt (c) das Betriebskennfeld (1) zugunsten einer höheren Systemeffizienz auf eine geringere als eine maximale Effizienz des zumindest einen Elektromotors (12) optimiert wird.
7. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Effizienzfunktion von zumindest einem Betriebsparameter des zumindest einen Elektromotors (12) abhängt.
8. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Betriebskennfeld (1) unter Variation von zumindest einem Betriebsparameter des zumindest einen Elektromotors (12) in Schritt (c) optimiert wird.
9. Verfahren (30) nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Betriebsparameter eine Spannung und/oder eine Stromstärke des zumindest einen Elektromotors (12) ist.
10. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Betriebskennfeld (1) nur in einem vorbestimmten Betriebsbereich optimiert werden.
11. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Systemeffizienzfunktion eine Verlustfunktion verwendet wird, wobei die Verlustfunktion zur Maximierung der Systemeffizienz minimiert wird.
12. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren (30) für verschiedene Temperaturen durchgeführt wird.
13. Verfahren (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren (30) ferner den Schritt eines Ausgebens des optimierten Betriebskennfelds (3) zur Nutzung in dem elektrischen Antriebssystem (11) des Kraftfahrzeugs (10) aufweist.

14. System (20) zum Optimieren der Systemeffizienz eines elektrischen Antriebssystems (11) eines Kraftfahrzeugs (10), **dadurch gekennzeichnet**, dass das System aufweist:
- ein Bereitstellungsmodul (21) zum
    - (a) Bereitstellen eines Betriebskennfelds (1) zumindest eines Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und eines Betriebszusammenhangs (2) zumindest einer weiteren elektrischen Antriebskomponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11), und
    - (b) Bereitstellen einer Systemeffizienzfunktion, die aus einer ersten Effizienzfunktion des zumindest einen Elektromotors (12) des elektrischen Antriebssystems (11) und einer zweiten Effizienzfunktion der zumindest einen weiteren elektrischen Antriebskomponente (13) des elektrischen Antriebssystems (11) kombiniert ist, und
  - ein Optimierungsmodul (22) zum
    - (c) Optimieren des Betriebskennfelds (1) durch Maximieren der Systemeffizienzfunktion.
15. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 auszuführen.

**Hierzu 1 Blatt Zeichnungen**

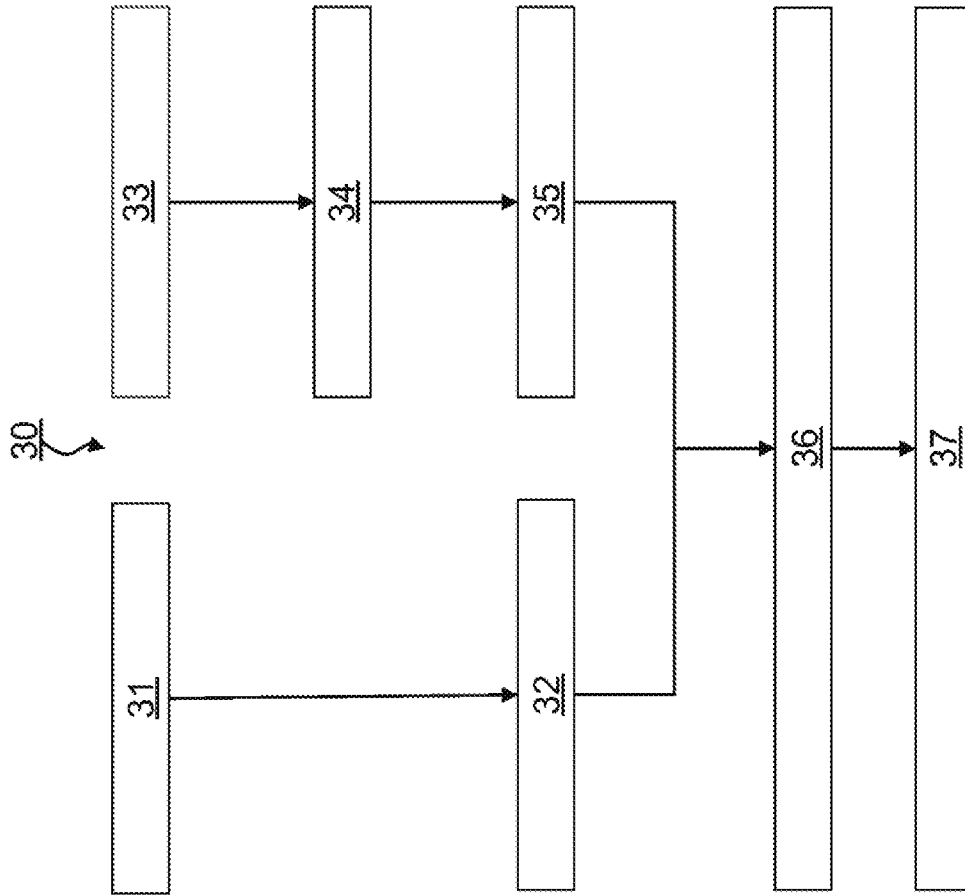


Fig. 3

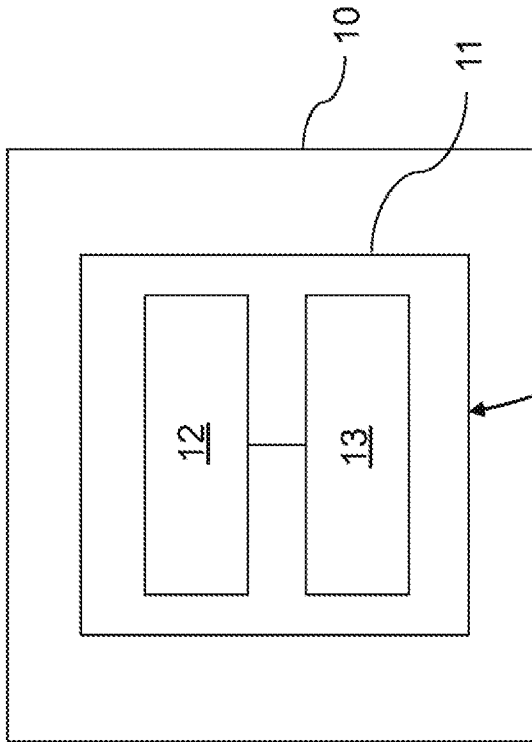


Fig. 1

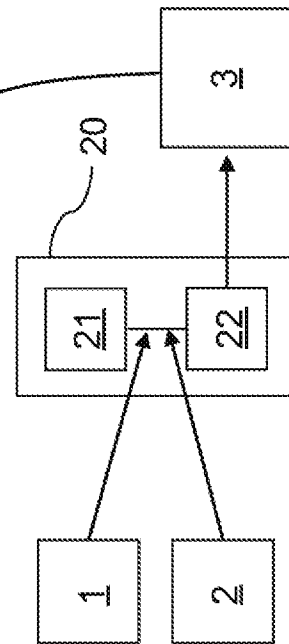


Fig. 2