



(11) **EP 4 389 992 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**26.06.2024 Patentblatt 2024/26**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**E02F 9/20<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **23217444.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**E02F 9/207; E02F 9/2235; E02F 9/2242;  
E02F 9/2246; F15B 11/006; F15B 11/0423;  
F15B 21/087; F15B 2211/20515; F15B 2211/20538;  
F15B 2211/20546; F15B 2211/20576;  
F15B 2211/20584; F15B 2211/30535;  
F15B 2211/30575; F15B 2211/30595;** (Forts.)

(22) Anmeldetag: **18.12.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL  
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(72) Erfinder:  
• **Mallebrein, Georg**  
**70825 Korntal-Muenchingen (DE)**  
• **Engel, Erik**  
**89171 Illerkirchberg (DE)**  
• **Rose, Steffen**  
**74366 Kirchheim am Neckar (DE)**  
• **Steker, Nils**  
**74321 Bietigheim-Bissingen (DE)**  
• **Rill, Viktor**  
**70825 Korntal-Muenchingen (DE)**  
• **Hoffmann, Dominik Thomas**  
**89077 Ulm (DE)**

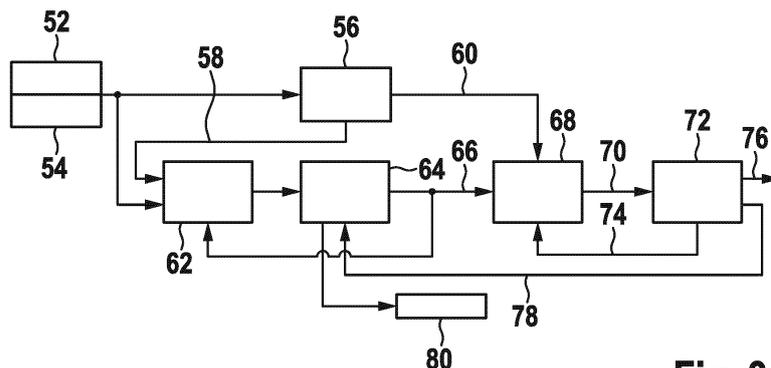
(30) Priorität: **20.12.2022 DE 102022213991**

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**  
**70442 Stuttgart (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUR VERRINGERUNG VON LEISTUNGSVERLUSTEN IN EINEM ELEKTROHYDRAULISCHEN SYSTEM**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verringerung von Leistungsverlusten in einem elektrohydraulischen System, das einen elektrischen Antrieb (3) mit wenigstens einer elektrischen Antriebskomponente und wenigstens eine Hydraulikmaschine (8, 10) aufweist, die mit dem elektrischen Antrieb gekoppelt ist und durch diesen entsprechend einer Drehzahl angetrieben wird, wobei das elektrohydraulische System mehrere Verlustleistungen aufweist, die von der Drehzahl und/oder einem Betriebspunkt des elektrohydraulischen Systems und/oder von anderen erfassten Größen abhängig sind,

wobei die mehreren Verlustleistungen wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen elektrischen Antriebskomponente und wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen Hydraulikmaschine einschließen, die jeweils von der Drehzahl abhängig sind; wobei eine Sollzahl (58) für die Drehzahl in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt des elektrohydraulischen Systems bestimmt wird (130), wobei die Sollzahl so bestimmt wird, dass sie eine zu optimierende Funktion optimiert, die eine Summe der mehreren Verlustleistungen einschließt.



**Fig. 3**

**EP 4 389 992 A1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)

F15B 2211/40592; F15B 2211/41581;

F15B 2211/428; F15B 2211/46; F15B 2211/62;

F15B 2211/635; F15B 2211/6651;

F15B 2211/6652; F15B 2211/6653;

F15B 2211/6654

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verringerung von Leistungsverlusten in einem elektrohydraulischen System sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung und ein elektrohydraulisches System.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Maschinen, z.B. mobile Arbeitsmaschinen, wie etwa Bagger, Lader oder Raupen, weisen üblicherweise ein hydraulisches System auf, mit dem Elemente der jeweiligen Maschine, etwa Armelemente eines Baggers, bewegt werden. Dabei sind eine oder mehrere Hydraulikpumpen in dem hydraulischen System zur Druckversorgung vorgesehen. Die eine oder die mehreren Hydraulikpumpen können durch einen elektrischen Antrieb mittels einer Welle angetrieben werden. Im Falle mehrerer Hydraulikpumpen können diese gemeinsam, indem alle Hydraulikpumpen an die Welle gekoppelt sind, von dem elektrischen Antrieb angetrieben werden.

## Offenbarung der Erfindung

**[0003]** Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zur Verringerung von Leistungsverlusten in einem elektrohydraulischen System sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung und ein elektrohydraulisches System mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

**[0004]** Die Erfindung bedient sich der Maßnahme, in einem elektrohydraulischen System, in dem eine Hydraulikmaschine (Hydraulikpumpe) durch einen elektrischen Antrieb angetrieben wird, eine Soll-drehzahl der Hydraulikmaschine bzw. des elektrischen Antriebs in Abhängigkeit von einem Betriebszustand des elektrohydraulischen Systems mittels Optimierung einer zu optimierenden Funktion zu bestimmen, die eine Summe von Verlustleistungen des elektrohydraulischen Systems einschließt, wobei zumindest drehzahlabhängige Verlustleistungen für elektrische Antriebskomponenten und die Hydraulikmaschine vorgesehen sind. Die Verlustleistungen sind von Größen, die den Zustand des elektrohydraulischen Systems charakterisieren, nämlich von der Drehzahl und/oder einem Betriebspunkt des elektrohydraulischen Systems und/oder von anderen erfassten Größen, abhängig. Entsprechend wird ermöglicht, die Gesamt-Verlustleistung abhängig vom jeweiligen Zustand des elektrohydraulischen Systems zu verringern, insbesondere gegenüber der Verwendung einer Soll-drehzahl, die unabhängig vom Betriebspunkt und/oder von den weiteren Größen bestimmt wurde.

**[0005]** Der Betriebspunkt charakterisiert den Zustand und/oder Eigenschaften des elektrohydraulischen Systems zumindest teilweise. Der Betriebspunkt ist insbesondere durch eine oder mehrere der folgenden Größen (bzw. Parameter) charakterisiert bzw. definiert: wenigstens einen Soll-Druck der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens einen Soll-Volumenstrom der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens ein Soll-Drehmoment der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens einen Soll-Schwenkwinkel (bzw. wenigstens eine Soll-Verdrängung) der wenigstens einen Hydraulikmaschine, einen Soll-Geräuschpegel des elektrohydraulischen Systems, wenigstens einen Ist-Druck der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens einen Ist-Volumenstrom der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens ein Ist-Drehmoment der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens einen Ist-Schwenkwinkel (bzw. wenigstens eine Ist-Verdrängung) der wenigstens einen Hydraulikmaschine, einen Ist-Geräuschpegel des elektrohydraulischen Systems (wobei ebenso weitere oder andere Größen denkbar sind). Die Soll-Größen können zusammen als Soll-Betriebspunkt bzw. als Größen, die den Soll-Betriebspunkt charakterisieren, angesehen werden). Die Ist-Größen können zusammen als Ist-Betriebspunkt bzw. als Größen, die den Ist-Betriebspunkt charakterisieren, angesehen werden. Die Soll-Größen sind typischerweise Größen, die einer Steuerung oder Regelung vorgegeben werden. Die Ist-Größen können mittels Sensoren gemessen bzw. erfasst werden. Ebenso oder zusätzlich können die Ist-Größen aus Soll-Größen und/oder gemessenen Ist-Größen abgeleitet und/oder berechnet und/oder geschätzt werden, z.B. mittels geeigneter Formeln und/oder mittels eines oder mehrerer geeigneter Modelle. Es kann der Fall auftreten, dass einzelne der Größen nicht gleichzeitig im Betriebspunkt umfasst sein können, etwa kann für eine einzelne Hydraulikmaschine typischerweise nicht ein Soll-Druck und ein Soll-Volumenstrom vorgegeben werden (es sind dann z.B. der Soll-Druck und der Ist-Druck in den Größen, die den Betriebspunkt charakterisieren, eingeschlossen).

**[0006]** Weitere erfasste Größen können insbesondere mit Sensoren gemessene Größen sein, z.B. gemessene Temperaturen oder Drücke des Druckmittels, und/oder berechnete bzw. geschätzte Größe, z.B. mittels eines Modells.

**[0007]** In einer Ausgestaltung wird die Summe der mehreren Verlustleistungen als gewichtete Summe der Verlustleistungen gebildet, in der eine oder mehrere der Verlustleistungen mit einem jeweiligen Gewichtungsfaktor gewichtet werden. Insbesondere sind die Gewichtungsfaktoren jeweils von wenigstens einem Parameter abhängig, wobei der wenigstens eine Parameter ausgewählt ist aus der Gruppe, die die Soll-drehzahl, eine Größe, die den Betriebspunkt charakterisiert, und wenigstens eine andere erfasste Größe einschließt. Dadurch wird die Optimierung von Leistungs-

verlusten unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen, die durch die Gewichtungsfaktoren implementiert werden, ermöglicht.

**[0008]** In einer weitergehenden Ausgestaltung schließt der wenigstens eine Parameter bzw. die wenigstens eine andere erfasste Größe wenigstens eine Temperatur der wenigstens einen Antriebskomponente ein, wobei die Gewichtungsfaktoren wenigstens einen Antriebs-Gewichtungsfaktor für die wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen Antriebskomponente einschließen, der abhängig von der wenigstens eine Temperatur ist. Insbesondere steigt der wenigstens eine Antriebs-Gewichtungsfaktor an, wenn die wenigstens eine Temperatur wenigstens eine vorbestimmte Temperaturschwelle überschreitet und/oder über der wenigstens einen vorbestimmten Temperaturschwelle liegt. Der Anstieg ab der Temperaturschwelle kann stetig, z.B. entsprechend einer monoton oder strengmonoton steigenden Funktion, und/oder in einem oder mehreren Schritten erfolgen. Die Steilheit des Anstiegs kann z.B. so bestimmt werden, etwa auf Grundlage von Datenblättern der elektrischen Maschine und/oder durch Versuche, dass eine kritische Temperatur der elektrischen Maschine, bei der eine Leistungsverringerung, notwendig wird, möglichst nicht erreicht wird. Die Höhe der wenigstens einen vorbestimmten Temperaturschwelle sowie die Steigung oder Schrittweite, mit der der Gewichtungsfaktor ansteigt, können geeignet (unter Berücksichtigung der Dynamik des elektrischen Antriebs bzw. der Wärmeentwicklung und -abfuhr desselben) gewählt werden, um eine Überhitzung zu vermeiden.

**[0009]** In einer Ausgestaltung weist das elektrohydraulische System wenigstens eine weitere Komponente, an der Verlustleistung auftritt, auf, wobei die Summe wenigstens eine Verlustleistung für die wenigstens eine weitere Komponente einschließt. Die wenigstens eine weitere Komponente kann beispielsweise wenigstens eine Kühleinrichtung einschließen. Die wenigstens eine Kühleinrichtung kann etwa eines oder mehreres sein von einem Lüfter des elektrischen Antriebs, einer Kühlkreislaufpumpe (insbesondere des elektrischen Antriebs), einem Kühler für Druckmittel oder Ähnlichem.

**[0010]** Das elektrohydraulische System kann insbesondere zwei hydraulische Kreise aufweisen, die jeweils von einer Hydraulikmaschine mit Druckmittel versorgt werden, wobei die beiden Kreise durch eine Summierungseinrichtung, insbesondere ein Summierungsventil, hydraulisch zusammenschaltbar sind. In diesem Fall kann in einer Ausgestaltung die wenigstens eine weitere Komponente wenigstens die Summierungseinrichtung einschließen. Die zu optimierende Funktion schließt entsprechend einen Summanden (Verlustleistung der Summierungseinrichtung) für die Summierungseinrichtung (Summierungsventil) ein. Verlustleistung entsteht an der Summierungseinrichtung, da der hydraulische Druck in den beiden Kreisen unterschiedlich ist und dementsprechend ein Druckabfall und damit verbunden eine Wandlung hydraulischer Energie in Wärme auftritt.

**[0011]** In einer Ausgestaltung weist die Summierungseinrichtung einen Zustand auf, entsprechend dem die Kreise zusammenschaltet oder nicht zusammenschaltet sind, wobei der Zustand der Summierungseinrichtung ein freier Parameter der zu optimierenden Funktion ist, wobei diese zusätzlich bezüglich des Zustands variiert wird. In dieser Ausgestaltung kann beispielsweise das Zusammenschalten der Kreise in Abhängigkeit davon erfolgen, in welchem Zustand der Summierungseinrichtung die zu optimierende Funktion optimal ist. D.h., die Kreise werden zusammenschaltet, wenn das Optimum der zu optimierenden Funktion (z.B. Minimum einer Kostenfunktion) dem zusammenschalteten Zustand entspricht, und nicht zusammenschaltet, wenn das Optimum der zu optimierenden Funktion dem nicht zusammenschalteten Zustand entspricht. Der Summierungs-Verlustleistungsterm kann optional zusätzlich mit einem (Summierungs-)Gewichtungsfaktor gewichtet werden, der abhängig davon ist, ob eine Anforderung, die Kreise zusammenzuschalten (etwa um hohe Leistungsanforderungen in einem Kreis zu erfüllen), vorliegt (z.B. gleich eins ist, wenn eine solche Anforderung nicht vorliegt, und kleiner 1 ist, wenn eine solche Anforderung vorliegt).

**[0012]** Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines elektrohydraulischen Systems einer mobilen Arbeitsmaschine, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

**[0013]** Auch die Implementierung eines erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms oder Computerprogrammprodukts mit Programmcode zur Durchführung aller Verfahrensschritte ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

**[0014]** Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

**[0015]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0016]** Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

**[0017]**

- 5           Figur 1 zeigt beispielhaft eine Arbeitsmaschine, nämlich einen mobilen Bagger.
- Figur 2 zeigt ein beispielhaftes elektrohydraulisches System mit zwei Kreisen, wie es etwa im Bagger der Figur 1 verwendet werden kann.
- 10          Figur 3 zeigt eine Regelstrecke zur Ansteuerung einer elektrischen Maschine und einer Hydraulikpumpe.
- Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm gemäß einer Ausgestaltung des Verfahrens zur Verringerung thermischer Belastung eines elektrischen Antriebs in einem elektrohydraulischen System.

15    Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

**[0018]**   Figur 1 zeigt beispielhaft eine Arbeitsmaschine, nämlich einen mobilen Bagger 30. Der Bagger 30 umfasst ein Fahrgestell 32 und einen darauf drehbar montierten Aufbau 34. Am Fahrgestell sind Räder 36 montiert. Eine Drehung des Aufbaus relativ zum Fahrgestell wird durch ein Drehwerk 38 ermöglicht. Diese Drehung kann z.B. durch einen elektrischen Antrieb bzw. elektrischen Drehwerksantrieb angetrieben werden. Am Aufbau 34 ist ein Ausleger bzw. Baggerarm 40 befestigt, an dessen Ende sich eine Schaufel 42 befindet. Ausleger, Arm und Schaufel werden hier beispielsweise über eine Elektro-Hydraulik 44, d.h. eine durch einen elektrischen Antrieb angetriebene Hydraulik, mittels Hydraulikzylindern 46 bewegt bzw. angetrieben. Eine Batterie 48 (könnte aber auch eine beliebige andere elektrische Energiequelle wie z.B. ein Brennstoffzellensystem oder ein Kabel sein) versorgt den elektrischen Antrieb des Drehwerks und die Elektro-Hydraulik mit elektrischer Energie.

**[0019]**   Figur 2 zeigt ein beispielhaftes hydraulisches System bzw. elektrohydraulisches System mit zwei Kreisen, wie es etwa im Bagger der Figur 1 verwendet werden kann. Die zwei Kreise können entweder separat betrieben werden oder über ein Summierungsventil (d.h. eine Summierungseinrichtung) miteinander verbunden werden.

**[0020]**   Es ist eine elektrische Batterie 2 gezeigt, durch die ein elektrischer Antrieb 3 des elektrohydraulischen Systems zum Antreiben von Hydraulikpumpen und ein elektrischer Drehwerksantrieb zum Antreiben eines Drehwerks (nicht dargestellt) mit elektrischer Energie versorgt werden. Die Batterie 2 kann als Teil des elektrohydraulischen Systems angesehen werden. Alternativ könnte ebenso eine externe Batterie verwendet werden. Statt einer Batterie könnte auch eine andere Stromversorgung vorgesehen sein. Der elektrische Antrieb 3 der Hydraulik weist als elektrische Antriebskomponenten einen Inverter 4 (z.B. DC/AC-Wandler) und eine elektrische Maschine 6 auf. Der elektrische Drehwerksantrieb weist als elektrische Komponenten einen Inverter 5 (z.B. DC/AC-Wandler) und eine elektrische Drehwerksmaschine 7 auf.

**[0021]**   Die elektrische Maschine 6 ist über eine Welle mit einer ersten Hydraulikpumpe 8 (bzw. Hydraulikmaschine) und einer zweiten Hydraulikpumpe 10 gekoppelt. Ein erster Ausgangskanal 14 der ersten Hydraulikpumpe 8 ist mit einem ersten hydraulischen Kreis verbunden, um diesen mit Druckmittel (Hydraulikflüssigkeit, typischerweise ein Hydrauliköl) zu versorgen. Ein zweiter Ausgangskanal 16 der zweiten Hydraulikpumpe 10 ist mit einem zweiten hydraulischen Kreis verbunden, um diesen mit Druckmittel zu versorgen. Über die Welle werden beispielhaft weitere Hydraulikpumpen 12 bzw. Hilfspumpen angetrieben, die etwa dazu dienen, einen Steuerdruck zum Betätigen hydraulisch oder elektro-hydraulisch betätigter Ventile bereitzustellen.

**[0022]**   Es ist beispielhaft ein Summierungsventil 18 vorgesehen, mit dem die beiden Kreise hydraulisch verbunden werden können (etwa, um einer hohen Leistungsanforderung in einem der Kreise zu genügen).

**[0023]**   Über den ersten Kreis werden als hydraulische Verbraucher zwei Hydraulikzylinder 20 (die z.B. die Bewegung des Auslegers des Baggers der Figur 1 bewirken) mit Druckmittel versorgt. Der Fluss zu und von den Hydraulikzylindern 20 wird mittels einer ersten Ventilanordnung 24 gesteuert, die mit dem ersten Ausgangskanal 14, mit dem Summierungsventil 18 und mit einem Tank für Druckmittel hydraulisch verbunden ist.

**[0024]**   Über den zweiten Kreis werden als hydraulische Verbraucher zwei Hydraulikzylinder 22, 23 (die z.B. die Bewegung eines mittleren Armelements und der Schaufel des Baggers der Figur 1 bewirken) mit Druckmittel versorgt. Der Fluss zu und von den Hydraulikzylindern 22, 23 wird mittels zweiter Ventilanordnungen 26, 27 gesteuert, die mit dem zweiten Ausgangskanal 14, mit dem Summierungsventil 18 und mit dem Tank für Druckmittel hydraulisch verbunden sind.

**[0025]**   Die Ventilanordnungen umfassen einstellbare bzw. verstellbare Durchgänge, als einstellbare Messblenden dargestellt, so dass entsprechend deren Verstellung der Fluss an Druckmittel zu und von den hydraulischen Verbrauchern gesteuert werden kann. Die Messblenden (Durchgänge) können z.B. in Ventilen und insbesondere Wegeventilen gebildet sein, wobei verschiedene Schaltstellungen, etwa verschiedene Positionen eines Schiebers bzw. Kolbens eines Wegeventils, verschieden großen Querschnitten der Messblenden entsprechen, d.h. die Messblenden bzw. deren Querschnitte

können durch Verstellen der (Wege-)Ventile eingestellt werden. Der genaue Aufbau der Ventilanordnungen, der von der spezifischen Anwendung, z.B. der Maschine in der das elektrohydraulische System verwendet wird, abhängig ist, braucht hier nicht erläutert zu werden und ist dem Fachmann an sich bekannt. Letztendlich entsprechen Einstellungen der Ventilanordnungen bestimmten hydraulischen Leistungsanforderungen, z.B. ein geforderter Druck und/oder Volumenstrom, die von den Hydraulikpumpen 8, 10 bzw. dem elektrischen Antrieb (Inverter 4, elektrische Maschine 6) erfüllt werden müssen.

**[0026]** Figur 3 zeigt eine Regelstrecke zur Ansteuerung eines elektrischen Antriebs 64 und einer Hydraulikpumpe 72. Gegeben sind wenigstens ein Druck 52 und ein Sollvolumenstrom 54, etwa entsprechend einer Leistungsanforderung der Verbraucher. Entsprechend einer Betriebsstrategie bzw. durch ein Modul 56, das die Betriebsstrategie implementiert, werden daraus sowohl eine Solldrehzahl 58 als auch eine Vorgabe 60 für die Hydraulikpumpe bestimmt. Eine Drehzahlregelung 62 für den elektrischen Antrieb 64 regelt die Drehzahl entsprechend der Solldrehzahl ein. Eine Pumpensteuerung 68 stellt aus der Vorgabe 60 für die Hydraulikpumpe die Verdrängung 70 bzw. den Schwenkwinkel der Hydraulikpumpe 72 ein. Dabei kann die Leckage 74 der Hydraulikpumpe mitberücksichtigt werden. Insgesamt wird so ein effektiver Volumenstrom 76 erhalten, der im Rahmen der Regelung gleich dem Sollvolumenstrom sein sollte. Die Leistung bzw. das Drehmoment 78 der Hydraulikpumpe wird von der elektrischen Maschine aufgebracht. Der elektrische Antrieb weist einen entsprechenden Energieverbrauch 80 auf. Das Betriebsstrategie-Modul, d.h. das Modul 56, das die Betriebsstrategie implementiert, und/oder die Drehzahlregelung 62 und/oder die Pumpensteuerung 68 können insbesondere durch wenigstens ein Computerprogramm bzw. Computerprogrammmodul, das z.B. in einer elektronischen Steuerung (Recheneinheit) des elektrohydraulischen Systems ausgeführt wird, implementiert werden.

**[0027]** Es gilt  $n \cdot V_g = Q_{Soll} + Q_{Leck}$ , d.h. zwei einstellbare Parameter, nämlich die Drehzahl  $n$  und die Verdrängung  $V_g$ , können gewählt werden, um einen gewünschten Sollvolumenstrom  $Q_{Soll}$  zu erhalten, wobei der Leckage-Volumenstrom  $Q_{Leck}$  berücksichtigt werden sollte. Aufgrund der Einschränkung durch die vorstehende Gleichung ist somit ein Freiheitsgrad bzw. ein freier Parameter (im Rahmen technischer Schranken) vorhanden.

**[0028]** Die Wahl der Parameter Drehzahl und Verdrängung entsprechend der Betriebsstrategie kann Verlustleistungen, die im elektrischen Antrieb, bzw. in der elektrischen Maschine und im Inverter, und in der Hydraulikpumpe auftreten, berücksichtigen, um z.B. einen möglichst effizienten Betrieb zu gewährleisten.

**[0029]** Vereinfacht gilt, dass bei vorgegebener aufzubringender Leistung die Verlustleistungen von elektrischer Maschine und Inverter mit größerer Drehzahl kleiner sind, d.h. deren Betrieb bei größerer Drehzahl effizienter ist, während die Verlustleistung der Hydraulikpumpe (bei konstantem Druck) mit größerer Verdrängung bzw. kleinerer Drehzahl kleiner ist, d.h. deren Betrieb bei kleinerer Drehzahl effizienter ist. Allgemeiner sind die Verlustleistungen nicht nur von der Drehzahl abhängig.

**[0030]** Die Verlustleistung  $P_{V,EM}$  der elektrischen Maschine ist insbesondere abhängig von der Drehzahl  $n$ , dem Drehmoment  $M$ , einer Gleichspannung am Inverter  $U_{dc}$  und einer Temperatur  $T_{EM}$  der elektrischen Maschine (auch als Elektromaschinen-Temperatur bezeichnet; gemessen an einer geeigneten Stelle, z.B. an den Wicklungen und/oder am Eisenkern), die Verlustleistung der elektrischen Maschine kann also als Funktion dieser Parameter angesehen werden, d.h.  $P_{V,EM} = P_{V,EM}(n, M, U_{dc}, T_{EM})$ .

**[0031]** Die Verlustleistung  $P_{V,Inv}$  des Inverters ist insbesondere abhängig von der Drehzahl  $n$ , dem Drehmoment  $M$ , der Gleichspannung am Inverter  $U_{dc}$  und einer Temperatur  $T_{Inv}$  des Inverters (auch als Inverter-Temperatur bezeichnet; gemessen an einer geeigneten Stelle, z.B. an einem Kühlkörper und/oder einem Halbleiter des Inverters), die Verlustleistung des Inverters kann also als Funktion dieser Parameter angesehen werden, d.h.  $P_{V,Inv} = P_{V,Inv}(n, M, U_{dc}, T_{Inv})$ .

**[0032]** Die Verlustleistung  $P_{V,Pmp}$  der Hydraulikpumpe ist insbesondere abhängig von einem Druckunterschied  $\Delta p$  über die Hydraulikpumpe, dem von der Hydraulikpumpe geförderten Volumenstrom  $Q$ , der Drehzahl  $n$ , und der Verdrängung  $V_g$ , die Verlustleistung der Hydraulikpumpe kann also als Funktion dieser Parameter angesehen werden, d.h.  $P_{V,Pmp} = P_{V,Pmp}(\Delta p, Q, n, V_g)$ . Hier könnte zusätzlich auch der Verstellaufwand in der Berechnung der Verlustleistung berücksichtigt werden. Insbesondere wird in diesem Fall, je nachdem wie weit die Drehzahl-Schwenkwinkel-Paarung verschoben werden soll (ausgehend vom ist-Wert), sich ein anderer zusätzlicher Verlustanteil ergeben (Abschätzung über Stell- und Rückstellzylindergröße, Verstellrate und Druck).

**[0033]** Die Größen, von denen die Verlustleistungen bzw. Verlustleistungsterme abhängig sind bzw. sein können, können entsprechend neben der Drehzahl Größen, die den Betriebspunkt charakterisieren, und weitere gemessene bzw. erfasste Größen (z.B. Temperaturen) einschließen. Allgemein kann jede der Verlustleistungen (unabhängig voneinander) von der Drehzahl und/oder wenigstens einer Größe, die den Betriebspunkt charakterisiert und/oder wenigstens einer weiteren gemessenen bzw. erfassten Größe abhängig sein. Neben den genannten Verlustleistungen können auch Verlustleistungen an weiteren Komponenten des elektrohydraulischen Systems auftreten und in der Kostenfunktion berücksichtigt werden, wobei die Verlustleistungen von den vorstehend genannten Größen abhängig sein können. Beispielsweise können Verlustleistungen an einem Summierungsventil bei Zusammenschaltung hydraulischer Kreise oder an einer Kühleinrichtung für Druckmittel.

**[0034]** Um die Gesamtverlustleistung zu minimieren, kann in einer Optimierung, z.B. mittels eines geeigneten Optimierungsverfahren, die Drehzahl bzw. die Verdrängung so bestimmt werden, dass die folgende Kostenfunktion  $K_1$

minimiert wird:

$$K_1 = P_{V,EM}(n, M, U_{dc}, T_{EM}) + P_{V,Inv}(n, M, U_{dc}, T_{Inv}) + P_{V,Pmp}(\Delta p, Q, n, V_g)$$

5

**[0035]** Die Kostenfunktion schließt Verlustleistungsterme für die Verlustleistung der elektrischen Maschine (Elektromaschinen-Verlustleistungsterm), für die Verlustleistung des Inverters (Inverter-Verlustleistungsterm) und für die Verlustleistung der Hydraulikpumpe (Pumpen-Verlustleistungsterm) ein. Der Elektromaschinen-Verlustleistungsterm und der Inverter-Verlustleistungsterm können jeweils als Antriebs-Verlustleistungsterm angesehen werden. Allgemeiner, mit eventuell weiteren Verlustleistungen gilt:  $K_1 = \sum_i P_{V,i}$  mit  $i \in \{EM, Inv, Pmp, \dots\}$ .

10

**[0036]** Hierbei kann in der Optimierung die Drehzahl  $n$  als freier Parameter variiert werden, so dass die Kostenfunktion minimiert wird. Die Verdrängung  $V_g$  ergibt sich durch die oben angegebene Gleichung bei gegebenem Sollvolumenstrom  $Q_{soll}$  aus der Drehzahl. Das Drehmoment des E-Antriebs ergibt sich aus der Verdrängung  $V_g$  und aus dem Druckunterschied  $\Delta p$  über die Hydraulikpumpe und vorzugsweise unter Berücksichtigung von einem Reibmoment der Pumpe, das aus einem Kennfeld unter Berücksichtigung eines Schwenkwinkels und einer Drehzahl der Pumpe ermittelt werden kann. Alternativ könnte über die Verdrängung variiert werden, wobei die Drehzahl aufgrund der oben angegebenen Gleichung als abhängige Variable angesehen werden kann.

15

**[0037]** Durch die Abhängigkeit der Verlustleistungen von anderen Größen als der Drehzahl, können sich bei der Minimierung in Abhängigkeit dieser anderen Größen verschiedene Lösungen für die Drehzahl ergeben. Insbesondere auch dann, wenn der Betriebspunkt oder der Soll-Betriebspunkt der gleiche ist. Z.B. wenn die Soll-Größen, die den Betriebspunkt charakterisieren gleich sind, sich jedoch etwa unterschiedlicher externer Lasten unterschiedliche Ist-Größen einstellen oder unterschiedliche Temperaturen vorliegen.

20

**[0038]** Zur Lösung des beschriebenen Minimierungsproblems kann ein geeignetes Verfahren verwendet werden (z.B. `fmincon` in Matlab). Beispielsweise kann die Drehzahl als freier Parameter in Schritten zwischen einer minimalen und einer maximalen Drehzahl (die etwa durch den elektrischen Antrieb technisch vorgegeben sind) mit einer bestimmten Schrittweite variiert werden, für jeden Schritt die Kostenfunktion ausgewertet werden, und anschließend der Schritt, an dem die Kostenfunktion minimal ist bestimmt. Weitergehend ist in diesem Beispiel ein iteratives Verfahren denkbar, in dem in Iterationen die Schrittweite verkleinert wird.

25

**[0039]** Für ein System mit zwei von einem elektrischen Antrieb gemeinsam angetriebenen Hydraulikpumpen, die zwei über ein Summierungsventil verbindbare Kreise mit Druckmittel versorgen (wie z.B. in Figur 2 dargestellt), könne einerseits die Verlustleistungen des Antriebs und beider Hydraulikpumpen und andererseits mögliche (im zusammengeschalteten Zustand) Summierungsverluste, d.h. eine Verlustleistung des Summierungsventils (zusätzlicher Druckabfall bei Versorgung des Kreises mit dem niedrigeren Lastdruck), in der Kostenfunktion als zusätzliche Summanden zu berücksichtigen.

30

**[0040]** Der Schaltzustand bzw. Zustand des Summierungsventils (bzw. der Summierungseinrichtung) stellt dann in der Kostenfunktion einen zweiten freien Parameter dar. Dieser kann zwei verschiedene Zustände einnehmen: geschlossen, d.h. die Kreise sind nicht zusammengeschaltet, oder geöffnet, d.h. die Kreise sind zusammengeschaltet (wobei sich ein Öffnungsgrad bzw. Öffnungsquerschnitt aus den Drücken in den beiden Kreisen ergibt). Bei der Minimierung sollte entsprechend neben der Drehzahl über die beiden Schaltzustände variiert werden. Es sollte z.B. für beide Schaltzustände (zusammengeschaltet, nicht zusammengeschaltet) das Minimum bestimmt werden und daraus der Schaltzustand mit dem kleineren Minimum (bei entsprechender Drehzahl) gewählt werden. Die Entscheidung, ob oder ob nicht eine Summierung erfolgen soll (zusammengeschaltet oder nicht zusammengeschaltet), wird dann insbesondere so getroffen, dass die Kostenfunktion minimiert wird.

35

40

**[0041]** Optional kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Verlustleistungen verschieden gewichtet werden, wobei die Gewichtungen von einem oder mehreren Parametern abhängig sein können. Beispielsweise können sich die elektrischen Antriebskomponenten des elektrischen Antriebs, d.h. die elektrische Maschine und/oder der Inverter, insbesondere bei geringeren Drehzahlen aufgrund der dabei auftretenden größeren elektrischen Ströme stark erwärmen, so dass letztendlich eine Verringerung der Leistungsabgabe nötig wird (sogenanntes Derating), um ein Überhitzen der Antriebskomponenten und eventuelle Schäden zu vermeiden. Da die Hydraulikpumpe von Druckmittel durchströmt wird, womit auch eine Wärmeabfuhr verbunden ist, tritt eine zu starke Erwärmung der Hydraulikpumpe normalerweise nicht auf. Entsprechend kann vorgesehen sein, dass die Verlustleistung der elektrischen Maschine und die Verlustleistung des Inverters gegenüber der Verlustleistung der Hydraulikpumpe abhängig von der Elektromaschinen-Temperatur bzw. der Inverter-Temperatur gewichtet werden, insbesondere bei hohen Temperaturen stärker gegenüber der Verlustleistung der Hydraulikpumpe. Es wird beispielsweise die folgende Kostenfunktion  $K_2$  gebildet, die optimiert bzw. minimiert wird:

50

55

$$K_2 = X_{EM}(T_{EM}) \cdot P_{V,EM}(n, M, U_{dc}, T_{EM}) + X_{Inv}(T_{Inv}) \cdot P_{V,Inv}(n, M, U_{dc}, T_{Inv}) + P_{V,Pmp}(\Delta p, Q, n, V_g)$$

**[0042]** Dabei stellen  $X_{EM} = X_{EM}(T_{EM})$  und  $X_{Inv} = X_{Inv}(T_{Inv})$  Gewichtungsfaktoren dar, mit denen Verlustleistung  $P_{V,EM}$  der elektrischen Maschine und die Verlustleistung  $P_{V,Inv}$  des Inverters in der Kostenfunktion abhängig von der jeweiligen Temperatur  $T_{EM}$  bzw.  $T_{Inv}$  unterschiedlich stark gewichtet werden können. Im Allgemeinen können auch hier weitere Verlustleistungen in die Summe eingeschlossen werden:  $K_2 = \sum_i X_i \cdot P_{V,i}$  wobei hier auch der Fall eingeschlossen ist,

5 dass einzelne (nicht alle) Gewichtungsfaktoren konstant gleich 1 sein können.  
**[0043]** Insbesondere kann die funktionale Abhängigkeit des Gewichtungsfaktor  $X_{EM}$  der elektrischen Maschine (auch als Elektromaschinen-Gewichtungsfaktor bezeichnet) von der Temperatur  $T_{EM}$  der elektrischen Maschine so gewählt, dass dieser bis zu einer Temperaturschwelle bzw. Elektromaschinen-Temperaturschwelle gleich eins ist und bei Überschreiten der Temperaturschwelle bzw. ab der Temperaturschwelle auf Werte größer als eins ansteigt (z.B. auf Werte

10 im Bereich von 1 bis 2 oder im Bereich von 1 bis 5).  
**[0044]** In analoger Weise kann insbesondere die funktionale Abhängigkeit des Gewichtungsfaktor  $X_{Inv}$  des Inverters (auch als Inverter-Gewichtungsfaktor bezeichnet) von der Temperatur  $T_{Inv}$  des Inverters so gewählt, dass dieser bis zu einer Temperaturschwelle bzw. Inverter-Temperaturschwelle (die ungleich der Elektromaschinen-Temperaturschwelle sein kann) gleich eins ist und bei Überschreiten der Temperaturschwelle bzw. ab der Temperaturschwelle auf Werte

15 größer als eins ansteigt (z.B. auf Werte im Bereich von 1 bis 2 oder im Bereich von 1 bis 5).  
**[0045]** In beiden Fällen kann der Anstieg ab der jeweiligen Temperaturschwelle stetig, z.B. entsprechend einer monoton oder strengmonoton steigenden Funktion, und/oder in einem oder mehreren Schritten erfolgen. Die Steilheit des jeweiligen Anstiegs kann z.B. so bestimmt werden, etwa auf Grundlage von Datenblättern des Inverters bzw. der elektrischen Maschine und/oder durch Versuche, dass eine kritische Temperatur bzw. maximal zulässige Betriebstemperatur des Inverters bzw. der elektrischen Maschine, bei der eine Leistungsverringering, notwendig wird, möglichst nicht erreicht

20 wird.  
**[0046]** Liegen die Temperatur  $T_{EM}$  der elektrischen Maschine unter der Elektromaschinen-Temperaturschwelle und die Temperatur  $T_{Inv}$  des Inverters unter der Inverter-Temperaturschwelle, sind beide Gewichtungsfaktoren gleich eins, so dass die Gesamtverlustleistung minimiert wird. Liegt wenigstens eine der Temperaturen über der entsprechenden

25 Temperaturschwelle, wird die jeweilige Verlustleistung stärker gegenüber der Verlustleistung der Hydraulikpumpe gewichtet, was zu einem Betriebspunkt (Drehzahl bzw. Verdrängung) mit geringerer Verlustleistung der elektrischen Maschine und/oder des Inverters führt. Es wird also eine gegenüber der minimal möglichen Gesamtverlustleistung höhere Gesamtverlustleistung akzeptiert, um ein Überhitzen der elektrischen Maschine und/oder des Inverters zu vermeiden. Durch ein flaches Optimum (der Gesamtverlustfunktion) erhöht sich in den meisten Fällen die Gesamtverlustleistung

30 allerdings nur minimal. Das bedeutet, dass die Verlustanteile größtenteils nur verschoben werden (z.B. vom E-Antrieb auf die Pumpe).

**[0047]** Wenn nun eine thermische Überlastung der elektrischen Maschine und/oder des Inverters droht, kann man in der Kostenfunktion die Verlustleistungen der elektrischen Maschine und/oder des Inverters höher gewichten und so insgesamt eine niedrigere thermische Belastung der elektrischen Komponenten erzielen, z.B. wird auch hier das Drehzahlniveau zu höheren Drehzahlen hin verändert werden. Für ein elektrohydraulisches System mit zwei, mittels einer

35 Summierungseinrichtung zusammenschaltbaren Kreisen kann auch der Fall auftreten, dass als Ergebnis der Minimierung die Entscheidung, ob oder ob nicht die Summierung aktiviert wird, anders ausfällt. Beispielsweise kann der Fall auftreten, dass, wenn ein Kreis zusätzliche hydraulische Leistung anfordert, die Summierung dennoch nicht erfolgt, weil im anderen Kreis eine hohe Elektromaschinen-Temperatur und/oder Inverter-Temperatur vorliegt. Umgekehrt kann bei einer thermischen Überlastung (hohe Elektromaschinen-Temperatur und/oder Inverter-Temperatur) des elektrischen Antriebs

40 eines Kreises durch Summierung eine thermische Entlastung erfolgen, d.h. die Kreise werden zusammengeschaltet, obwohl dies allein aufgrund der benötigten hydraulischen Leistung nicht notwendig wäre.

**[0048]** Neben einer Gewichtung mit temperaturabhängigen Gewichtungsfaktoren kann allgemeiner eine Gewichtung wenigstens einer der Verlustleistungen (hier Verlustleistung der elektrischen Maschine, Verlustleistung des Inverters, Verlustleistung der Hydraulikpumpe) mit einem Gewichtungsfaktor (bzw. Gewichtungsfaktor) erfolgen, der von wenigstens einem bestimmten Parameter abhängig ist. Mit solchen von bestimmten Parametern abhängigen Gewichtungsfaktoren können gewünschte Nebenbedingungen implementiert werden, so dass durch die Optimierung die Sollzahl bestimmt wird, welche die Verlustleistung unter Berücksichtigung der Nebenbedingung(en) möglichst minimiert. Im vorstehenden

45 Beispiel besteht die Nebenbedingung im Verhindern zu hohen Temperaturen einzelner Komponenten. Wenn, in einem anderen Beispiel, etwa gewisse Drehzahlen, die mit starker Geräuschentwicklung oder hohem Verschleiß verbunden sind, vermieden werden sollen, könnten Gewichtungsfaktoren verwendet werden, die von der Drehzahl abhängig sind und die etwa bei den gewissen Drehzahlen und eventuell in kleinen Umgebungen dieser gewissen Drehzahlen größer relativ zu anderen Drehzahlbereichen sind.

**[0049]** Die Bestimmung des freien Parameters (Drehzahl bzw. Verdrängung) bzw. allgemeiner der freien Parameter (z.B. im Falle von zusammenschaltbaren Kreisen) im Rahmen der Minimierung bzw. Optimierung kann im Rahmen einer Regelung und/oder Steuerung des elektrohydraulischen System erfolgen, die durch eine elektronische Steuerung des elektrohydraulischen System implementiert wird, z.B. mittels Ausführung eines entsprechenden Computerprogramms bzw. entsprechender Computerprogrammmodule. Hier ist auch denkbar, dass vorausberechnete Werte, etwa

50

in Form eines Kennfelds gespeicherte, verwendet werden. Bezugnehmend auf Figur 3 kann die Minimierung bzw. Optimierung beispielsweise im Rahmen der Betriebsstrategie bzw. durch das Modul 56, das die Betriebsstrategie implementiert, erfolgen. Es wird darauf hingewiesen, dass auch wenn Figur 3 nur einen Kreis beschreibt und das Modul 56 nur Drehzahl und Schwenkwinkel dieses einen Kreises steuert, die vorliegende Erfindung auch bei mehreren Modulen, bzw. bei Modulen, die jeweils mehrere Drehzahlen und Schwenkwinkel steuern können, benutzt werden kann.

**[0050]** Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass auch für die Pumpe ein Gewichtungsfaktor eingefügt werden kann. Das könnte beispielweise in Abhängigkeit von den anderen Gewichtungsfaktoren ermittelt werden.

**[0051]** Vorstehend wurden Kostenfunktionen  $K_1$ ,  $K_2$  als Summe bzw. gewichtete Summe einzelner Verlustleistungen gewählt und eine Minimierung durchgeführt. Klarerweise wäre auch eine Formulierung als Maximierungsproblem denkbar. Entsprechend erfolgt, allgemeiner formuliert, eine Optimierung, wobei eine zu optimierende Funktion eine Summe von Verlustleistungen, die mit Gewichtungsfaktoren gewichtet sein können, einschließt. In der Summe werden drehzahlabhängige Verlustleistungen der elektrischen Antriebskomponenten und der Hydraulikmaschine(n) berücksichtigt. Insbesondere wird in der Optimierung eine Drehzahlveränderung immer automatisch mit einer Verdrängungs- und Drehmomentveränderung verbunden. Diese mehrdimensionalen Abhängigkeiten der Verlustleistungen werden in der (modellbasierten) Optimierung berücksichtigt.

**[0052]** Falls eine Gewichtung mit Gewichtungsfaktoren vorgesehen ist, können diese von bestimmten Parametern (z.B. Temperaturen) abhängig sein. Beispielsweise wird im wenigstens eine Verlustleistung (im obigen Beispiel die Verlustleistungen der elektrischen Maschine und des Inverters) in Abhängigkeit von wenigstens einer Temperatur wenigstens einer elektrischen Antriebskomponente (Elektromaschinen-Temperatur, Inverter-Temperatur) des elektrischen Antriebs gewichtet bzw. berücksichtigt, so dass die Verlustleistung im elektrischen Antrieb bei Bedarf, d.h. bei entsprechend hoher Temperatur, reduziert wird, um ein weiteres Erwärmen und mögliches Überhitzen zu vermeiden. Die Soll-Drehzahl und gegebenenfalls der einzustellende Zustand (Soll-Zustand) des Summierungsventils werden also bei gegebenem Betriebspunkt so bestimmt, dass die wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen elektrischen Antriebskomponente reduziert wird, wenn die wenigstens eine Temperatur hoch ist, beispielsweise über wenigstens einer Temperaturschwelle liegt. Die wenigstens eine Temperaturschwelle ist insbesondere so gewählt, dass sie kleiner ist als eine maximal zulässige Betriebstemperatur der entsprechenden wenigstens einen elektrischen Antriebskomponente.

**[0053]** Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm gemäß einer Ausgestaltung des Verfahrens zur Verringerung thermischer Belastung eines elektrischen Antriebs in einem elektrohydraulischen System.

**[0054]** In Schritt 110 wird, etwa entsprechend einer Leistungsanforderung hydraulischer Verbraucher, ein Sollvolumenstrom und optional wenigstens ein Druck vorgegeben. Ebenso können hier weitere Größen, die den Betriebspunkt charakterisieren, erfasst bzw. vorgegeben werden.

**[0055]** Im optionalen Schritt 120 wird wenigstens ein Parameter, von dem gegebenenfalls Gewichtungsfaktoren abhängig sind) erfasst. Beispielsweise wird wenigstens eine Temperatur wenigstens einer Antriebskomponente des elektrischen Antriebs erfasst (z.B. werden von Temperatursensoren gemessene Werte empfangen).

**[0056]** In Schritt 130 wird durch eine Optimierung einer zu optimierenden Funktion eine Soll-Drehzahl und daraus (entsprechend dem Sollvolumenstrom bzw. allgemeiner dem Betriebspunkt) eine Verdrängung (bzw. ein Schwenkwinkel) bestimmt. Die erfolgt beispielweise, wie vorstehend beschrieben, im Rahmen einer Betriebsstrategie. Die zu optimierende Funktion schließt eine Summe der Verlustleistungen ein bzw. ist eine Summe der Verlustleistungen. Die Summe kann als gewichtete Summe gebildet werden, wobei Gewichtungsfaktoren für einzelne Verlustleistungen vorgesehen sind, die insbesondere von dem in Schritt 120 erfassten wenigstens einem Parameter abhängig sind (z.B. von der wenigstens einen Temperatur).

**[0057]** In Schritt 140 werden der elektrische Antrieb entsprechend der bestimmten Drehzahl und die wenigstens eine Hydraulikpumpe (oder Hydraulikmaschine) entsprechend der bestimmten Verdrängung geregelt bzw. angesteuert.

**[0058]** Die Schritte 120 (soweit vorhanden), 130, 140 können fortlaufend durchgeführt werden, so dass sich Drehzahl auch ohne Änderung der Vorgabe (Soll-Größen, z.B. Sollvolumenstrom, Druck; bzw. Betriebspunkt) ändern kann. Im optionalen Schritt 150 kann eine Anpassung des Betriebspunkts erfolgen, z.B. wenn sich Ist-Größen, die den Betriebspunkt charakterisieren ändern (etwa aufgrund einer Änderung einer Belastung der hydraulischen Verbraucher) und/oder in Reaktion auf eine geänderte Bedienvorgabe. Entsprechend kann wieder mit Schritt 110 mit dem angepassten Betriebspunkt fortgefahren werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Verringerung von Leistungsverlusten in einem elektrohydraulischen System, das einen elektrischen Antrieb (3) mit wenigstens einer elektrischen Antriebskomponente und wenigstens eine Hydraulikmaschine (8, 10) aufweist, die mit dem elektrischen Antrieb gekoppelt ist und durch diesen entsprechend einer Drehzahl angetrieben wird, wobei das elektrohydraulische System mehrere Verlustleistungen aufweist, die von der Drehzahl und/oder

einem Betriebspunkt des elektrohydraulischen Systems und/oder von anderen erfassten Größen abhängig sind, wobei die mehreren Verlustleistungen wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen elektrischen Antriebskomponente und wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen Hydraulikmaschine einschließen, die jeweils von der Drehzahl abhängig sind;

5 wobei eine Soll-Drehzahl (58) für die Drehzahl in Abhängigkeit von dem Betriebspunkt des elektrohydraulischen Systems bestimmt wird (130), wobei die Soll-Drehzahl so bestimmt wird, dass sie eine zu optimierende Funktion optimiert, die eine Summe der mehreren Verlustleistungen einschließt.

10 **2.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Betriebspunkt durch eine oder mehrere der folgenden Größen charakterisiert ist: wenigstens einen Soll-Druck der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens einen Soll-Volumenstrom der wenigstens einen Hydraulikmaschine, einen Soll-Geräuschpegel des elektrohydraulischen Systems, wenigstens einen Ist-Druck der wenigstens einen Hydraulikmaschine, wenigstens einen Ist-Volumenstrom der wenigstens einen Hydraulikmaschine, einen Ist-Geräuschpegel des elektrohydraulischen Systems.

15 **3.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das elektrohydraulische System wenigstens eine weitere Komponente, an der Verlustleistung auftritt, aufweist; wobei die Summe wenigstens eine Verlustleistung für die wenigstens eine weitere Komponente einschließt; wobei die wenigstens eine weitere Komponente insbesondere wenigstens eine Kühleinrichtung einschließt.

20 **4.** Verfahren nach Anspruch 3, wobei das elektrohydraulische System zwei hydraulische Kreise und wenigstens zwei Hydraulikmaschinen (8, 10) aufweist, wobei jeder hydraulische Kreis jeweils von einer der wenigstens zwei Hydraulikmaschinen (8, 10) mit Druckmittel versorgt wird; wobei die beiden Kreise durch eine Summierungseinrichtung, insbesondere ein Summierungsventil (18), hydraulisch zusammenschaltbar sind; wobei die wenigstens eine weitere Komponente die Summierungseinrichtung einschließt.

25 **5.** Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Summierungseinrichtung einen Zustand aufweist, entsprechend dem die Kreise zusammengeschaltet oder nicht zusammengeschaltet sind; wobei der Zustand der Summierungseinrichtung ein freier Parameter der zu optimierenden Funktion ist, wobei diese zusätzlich bezüglich des Zustands variiert wird; wobei insbesondere das Zusammenschalten der Kreise in Abhängigkeit davon erfolgt, in welchem Zustand der Summierungseinrichtung die zu optimierende Funktion optimal ist.

30 **6.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine elektrische Antriebskomponente eine elektrische Maschine (6) und/oder einen Inverter (4) einschließt.

35 **7.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Summe der mehreren Verlustleistungen als gewichtete Summe der Verlustleistungen gebildet wird, in der eine oder mehrere der Verlustleistungen mit jeweiligen Gewichtungsfaktoren gewichtet werden.

40 **8.** Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Gewichtungsfaktoren jeweils von wenigstens einem Parameter abhängig sind; wobei der wenigstens eine Parameter eines oder mehrerer einschließt von: der Soll-Drehzahl, einer Größe, die den Betriebspunkt charakterisiert, wenigstens einer anderen erfassten Größe.

45 **9.** Verfahren nach Anspruch 8, wobei der wenigstens eine Parameter bzw. die wenigstens eine andere erfasste Größe wenigstens eine Temperatur der wenigstens einen Antriebskomponente einschließt; und wobei die Gewichtungsfaktoren wenigstens einen Antriebs-Gewichtungsfaktor für die wenigstens eine Verlustleistung der wenigstens einen Antriebskomponente einschließen, der abhängig von der wenigstens eine Temperatur ist.

50 **10.** Verfahren nach Anspruch 9, wobei der wenigstens eine Antriebs-Gewichtungsfaktor ansteigt, wenn die wenigstens eine Temperatur wenigstens eine vorbestimmte Temperaturschwelle überschreitet und/oder über der wenigstens einen vorbestimmten Temperaturschwelle liegt; und/oder wobei der wenigstens eine Antriebs-Gewichtungsfaktor unabhängig von der wenigstens einen Temperatur ist und/oder konstant ist, insbesondere gleich eins ist, wenn die wenigstens eine Temperatur unter der wenigstens einen vorbestimmten Temperaturschwelle liegt; und/oder wobei ein Gewichtungsfaktor der Verlustleistung der Hydraulikmaschine unabhängig von der wenigstens einen Temperatur ist und/oder konstant ist und/oder gleich eins ist.

55 **11.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Anpassung des Betriebspunkts erfolgt (150).

**12.** Recheneinheit umfassend einen Prozessor, die so konfiguriert ist, dass sie das Verfahren nach einem der vorste-

henden Ansprüche ausführt.

- 5
13. Elektrohydraulisches System, das einen elektrischen Antrieb (3) mit wenigstens einer elektrischen Antriebskomponente (4, 6) und wenigstens eine Hydraulikmaschine (8, 10) aufweist, die mit dem elektrischen Antrieb gekoppelt ist und durch diesen entsprechend einer Drehzahl angetrieben wird, wobei die wenigstens eine elektrischen Antriebskomponente (4, 6) und die wenigstens eine Hydraulikmaschine jeweils wenigstens eine Verlustleistung aufweisen, die von der Drehzahl abhängig ist; weiter aufweisend eine Recheneinheit gemäß Anspruch 12.
- 10
14. Computerprogramm umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach Anspruch 1 bis 11 auszuführen.
15. Computerlesbarer Datenträger, auf dem das Computerprogramm nach Anspruch 14 gespeichert ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

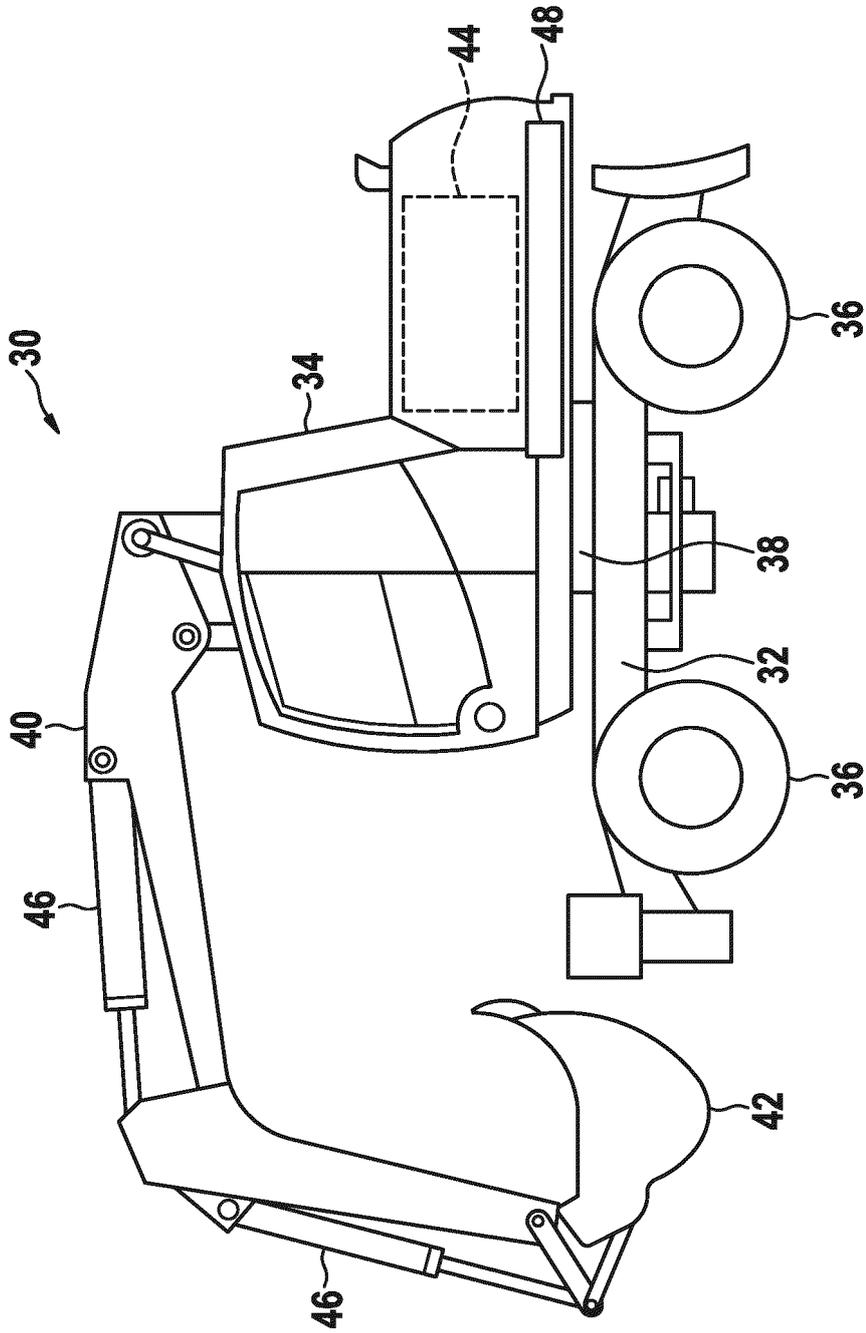


Fig. 1

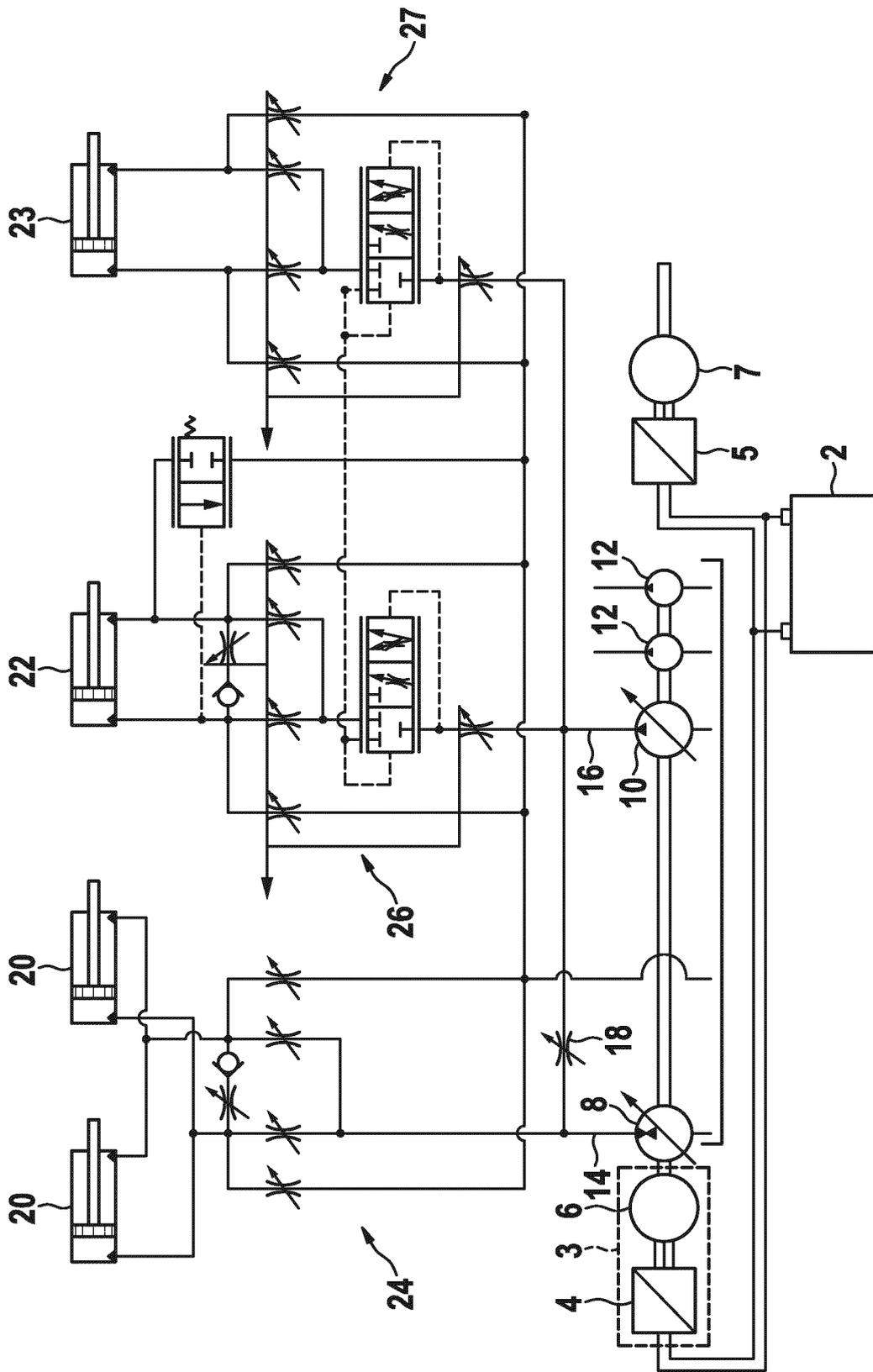


Fig. 2

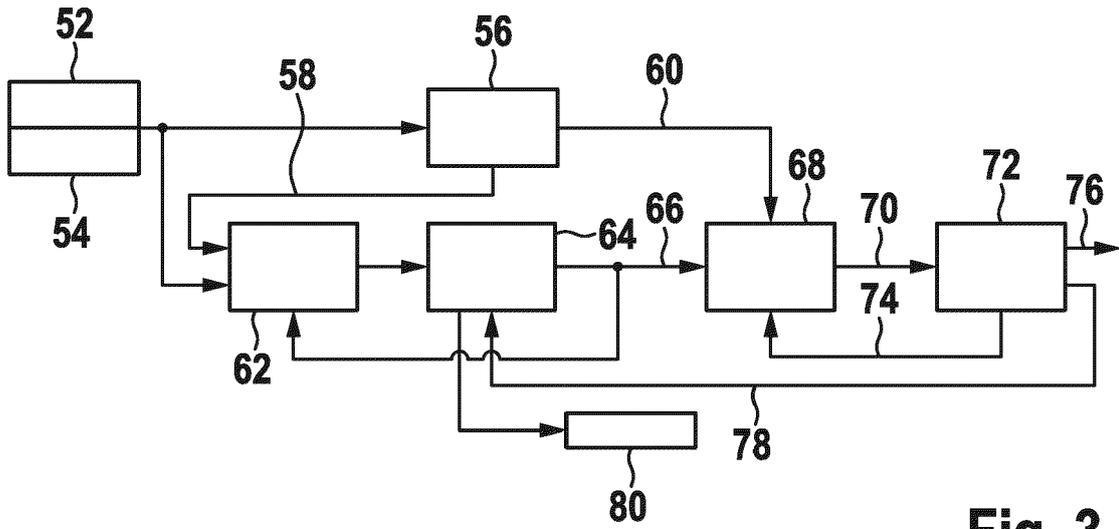


Fig. 3

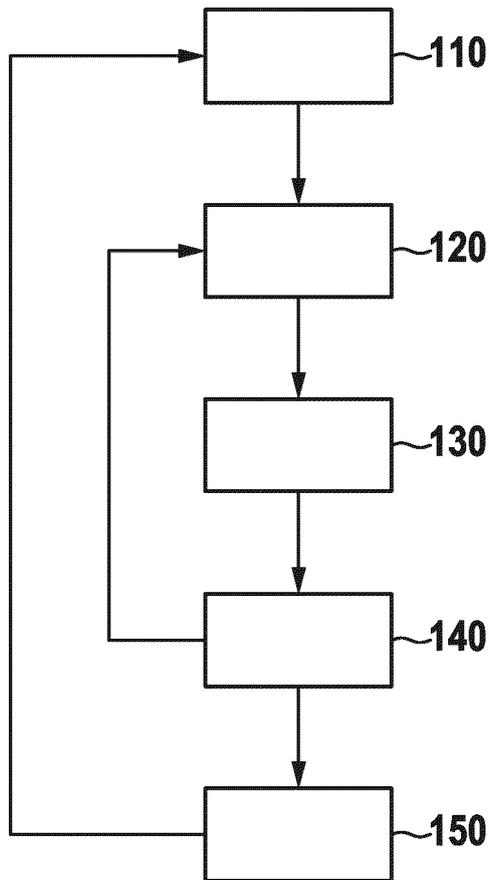


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 21 7444

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X, P	DE 10 2022 201577 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17. August 2023 (2023-08-17) * Absätze [0019], [0040], [0041], [0053], [0056]; Ansprüche 1,14-16; Abbildung 1 *	1, 2, 11-15	INV. E02F9/20
X A	DE 10 2013 006137 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 16. Oktober 2014 (2014-10-16) * Absätze [0023], [0029] - [0042]; Ansprüche 1,14-16; Abbildung 1 *	1, 2, 6-8, 11-15 3-5, 9, 10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02F F15B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>11. April 2024</b>	Prüfer <b>Dreyer, Christoph</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 21 7444

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

11-04-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	<b>DE 102022201577 A1</b>	<b>17-08-2023</b>	<b>DE 102022201577 A1</b>	<b>17-08-2023</b>
			<b>WO 2023156279 A1</b>	<b>24-08-2023</b>
15	<b>DE 102013006137 A1</b>	<b>16-10-2014</b>	<b>AT 514225 A2</b>	<b>15-11-2014</b>
			<b>DE 102013006137 A1</b>	<b>16-10-2014</b>
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82