



(19)

Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 3 770 428 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.01.2021 Patentblatt 2021/04

(51) Int Cl.:
F04B 1/295 (2020.01)
F04B 49/00 (2006.01)

F04B 1/32 (2020.01)
F04B 49/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 20186955.9

(22) Anmeldetag: 21.07.2020

(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 MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: 26.07.2019 DE 102019120329
12.12.2019 DE 102019219451

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

(72) Erfinder:

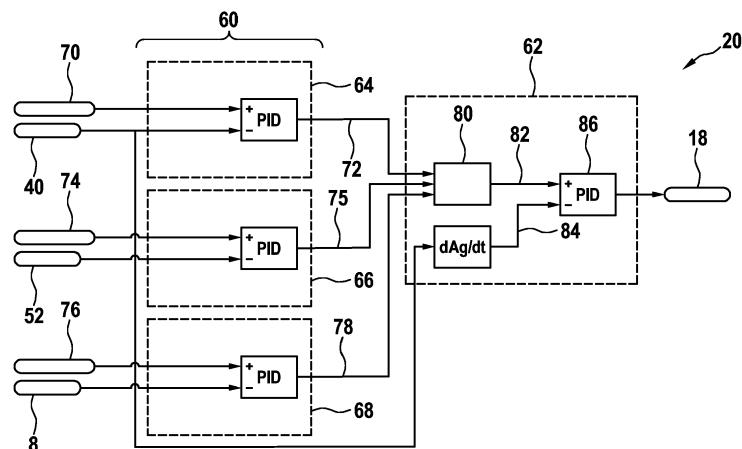
- **Wang, Ximing**
89233 Neu-Ulm (DE)
- **An, Minha**
89264 Weissenhorn (DE)
- **Brand, Michael**
89075 Ulm (DE)
- **Tetik, Salih**
89278 Nersingen (DE)
- **Muehlbauer, Florian**
89231 Neu-Ulm (DE)

(54) **HYDRAULISCHE DRUCKMITTELVERSORGUNGSANORDNUNG FÜR EINE MOBILE ARBEITSMASCHINE UND VERFAHREN**

(57) Offenbart ist eine Hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung, die eine verstellbare Axialkolbenmaschine hat, wobei ein Stellzylinder über ein Pilotventil gesteuert ist. Das Pilotventil wird von einer Steuereinrichtung angesteuert. Die Steuereinrichtung weist als Eingangsgrößen einen Ist-Druck und/oder einen Ist-Schwenkwinkel der verstellbaren Axialkolbenmaschine auf. Eine oder mehrere der genannten Eingangsgrößen werden mit einem passenden Sollwert verglichen und ein Stellwert oder jeweils ein Stellwert ausgegeben.

Die Regelung der genannten Eingangsgrößen ist Teil eines ersten Regelkreises. Ein unterlagerter zweiter Regelkreis hat eine auf der Stellgröße oder den Stellgrößen basierende Eingangsgröße, die als Sollgröße dient. Eine weitere Eingangsgröße des zweiten Regelkreises ist eine Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit der Axialkolbenmaschine. Als Ausgangsgröße für den zweiten Regelkreis ist dann ein Stellwert für das Pilotventil vorgesehen.

Fig. 2



Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft eine hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung für einen offenen hydraulischen Kreis, beispielsweise für mobile Arbeitsmaschinen, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Aus dem Dokument RD 30630/04.13 der Firma Rexroth, ist ein Druck- und Förderstrom-Regelsystem bekannt. Dieses dient zur elektrohydraulischen Regelung eines Schwenkwinkels, eines Drucks und einer Leistung einer Axialkolben-Verstellpumpe. Das Regelsystem hat eine Axialkolben-Verstellpumpe mit einem elektrisch angesteuerten Proportionalventil. Über dieses kann ein Stellkolben angesteuert werden. Dieser dient zum Verstellen einer Schrägscheibe der Verstellpumpe. Für den Stellkolben ist ein Wegaufnehmer vorgesehen, über den anhand des Verschiebewegs des Stellkolbens ein Schwenkwinkel der Schrägscheibe bestimmbar ist. Alternativ zum Wegaufnehmer kann auch ein Schwenkwinkel der Schrägscheibe an der Schenkachse über einen Hall-Sensor abgegriffen werden. Aus dem Schwenkwinkel der Schrägscheibe wiederum kann der Volumenstrom der Verstellpumpe ermittelt werden. Die Verstellpumpe wird über einen Motor angetrieben. Wird die Verstellpumpe nicht angetrieben, und ist das Stellsystem drucklos, dann schwenkt die Verstellpumpe durch eine Federkraft einer Feder auf ein maximales Fördervolumen. Im angetriebenen Zustand der Verstellpumpe und bei stromlosem Pilotventil und verschlossenem Pumpenausgang schwenkt die Verstellpumpe dagegen auf einen Nullhubdruck. Ein Gleichgewicht zwischen Pumpendruck am Stellkolben und Federkraft der Feder stellt sich bei etwa 4 bis 8 bar ein. Die Grundeinstellung wird üblicherweise bei spannungsloser Regelelektronik eingenommen. Eine Steuerung für das Pilotventil weist als Eingangsgröße einen Soll-Druck, einen Soll-Schwenkwinkel und optional einen Soll-Leistungswert auf. Ein Ist-Druck ausgangsseitig der Verstellpumpe wird durch einen Drucksensor erfasst. Wie vorstehend erläutert, wird ein Ist-Schwenkwinkel über den Wegaufnehmer ermittelt. Die aufgenommenen Ist-Werte werden in einer Elektronikeinheit digital verarbeitet und mit den vorgegebenen Sollwerten verglichen. Ein Minimalwertbildner sorgt dann dafür, dass automatisch nur der dem gewünschten Arbeitspunkt zugeordnete Regler aktiv ist. Ein Ausgangssignal des Minimalwertbildners ist dann ein Sollwert für einen Proportionalmagneten am Pilotventil. Zum Steuern des Pilotventils wird ein Verschiebeweg eines Ventilschiebers des Pilotventils über einen Wegaufnehmer erfasst und der Steuerung gemeldet. In dem Dokument RD 30242/03.10 der Firma Rexroth ist eine externe Ansteuerelektronik für die beschriebene Verstellung der Axialkolben-Verstellmaschine offenbart. Des

Weiteren ist in dem Dokument RD 92 088/08.04 der Firma Rexroth ein elektro-hydraulisches Regelsystem offenbart.

[0003] Aus der EP 1 460 505 A2 ist eine ablösende Regelung eines Drucks und eines Förderstroms offenbart. Hierbei ist eine verschwenkbare hydraulische Axialkolben-Verstellmaschine vorgesehen, die über eine Triebwelle mit einer weiteren Hydromaschine verbunden ist. Des Weiteren ist ein Regelkreis für ein Antriebsdrehmoment der Verstellmaschine vorgesehen. Dem Regelkreis wird ein Ist-Antriebsdrehmoment und ein Soll-Antriebsdrehmoment zugeführt, woraus eine Stellgröße für eine Stelleinrichtung der Verstellmaschine ermittelt wird. Das Soll-Antriebsdrehmoment wiederum ist eine Ausgangsgröße eines Minimalwertbildners. Dieser wählt hierbei eine Ausgangsgröße einer Druckregelung und einer Volumenstromregelung aus. Als Ist-Volumenstrom ist hierbei der Volumenstrom der mit der Verstellmaschine verbundenen Hydromaschine vorgesehen. Des Weiteren ist als Ist-Druck ein Hochdruck dieser Hydromaschine vorgesehen.

[0004] Des Weiteren ist in den Dokumenten EP 2 851 565 B1, US 4 801 247, US 5 182 908, EP 034 9092 B1, US 5267441, US 5967756 und US 5170625 jeweils eine Hydromaschine mit einem Schwenkwinkelsensor und einem Drucksensor offenbart. Es können der Druck, der Volumenstrom und die Leistung gesteuert werden.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung zu schaffen, die vorrichtungstechnisch einfach und kostengünstig ausgestaltet ist und dennoch wesentliche Regelgrößen einer verstellbaren Hydromaschine und Parameter zuverlässig und dynamisch regelt und/oder limitieren kann. Des Weiteren soll ein einfaches Verfahren für die Druckmittelversorgungsanordnung vorgesehen sein.

[0006] Die Aufgabe hinsichtlich der Druckmittelversorgungsanordnung wird gelöst gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 und hinsichtlich des Verfahrens gemäß den Merkmalen des Anspruchs 13.

[0007] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Erfindungsgemäß ist eine hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung für einen offenen hydraulischen Kreis, insbesondere für eine mobile Arbeitsmaschine, vorgesehen. Die Druckmittelversorgungsanordnung kann eine Hydromaschine und einen Verstellmechanismus aufweisen. Der Verstellmechanismus dient vorzugsweise zum Verstellen eines Fördervolumens der Hydromaschine. Hierzu ist ein Stellzylinder mit einem Stellkolben vorgesehen. Des Weiteren weist der Verstellmechanismus ein elektrisch proportional ansteuerbares Pilotventil auf. Über dieses kann ein Zufluss und/oder ein Abfluss in einem vom Stellkolben begrenzten Steuerraum des Stellzylinders steuerbar sein, um den Stellkol-

ben zum Ansteuern mit Druckmittel zu beaufschlagen. Weiterhin weist die Druckmittelversorgungsanordnung vorzugsweise eine elektronische Steuerung auf. Dies hat weiter vorzugsweise als Eingangsgrößen zumindest einen Soll-Ausgangsdruck der Hydromaschine. Alternativ oder zusätzlich kann als Eingangsgröße für die Steuerung ein Soll-Fördervolumen der Hydromaschine vorgesehen sein. Es ist denkbar, die Soll-Größe/n festzulegen oder alternativ auch verstellbar auszustalten, so dass diese beispielsweise im Betrieb bedarfsabhängig anpassbar sind. Als Ausgangsgröße der Steuerung ist vorzugsweise eine Stellgröße für das Pilotventil vorgesehen. Des Weiteren kann die Steuerung einen ersten Regelkreis für einen Ist-Ausgangsdruck der Hydromaschine haben. Dieser wird vorzugsweise zwischen einem Hochdruckanschluss der Hydromaschine und einem Hauptsteuerventil für Verbraucher abgegriffen. Alternativ oder zusätzlich kann der erste Regelkreis für ein Ist-Fördervolumen der Hydromaschine vorgesehen sein. Handelt es sich bei der Hydromaschine um eine Axialkolbenmaschine mit einer verstellbaren Schwenkwiege oder Schrägscheibe zum Einstellen eines Fördervolumens, so kann beispielsweise das Ist-Fördervolumen über ein entsprechendes Mittel, beispielsweise über einen Schwenkwinkelsensor, wie beispielsweise einen Wegaufnehmer für den Stellkolben, erfasst werden. Alternativ zum Wegaufnehmer kann auch ein Schwenkwinkel der Schrägscheibe an der Schwenkachse über einen Hall-Sensor abgegriffen werden. Mit anderen Worten ist ein Messmittel zur Erfassung der Verdrängungsposition oder des Verdrängungsvolumens vorgesehen. Denkbar wäre auch den Schwenkwinkel über ein Drehmoment der Antriebswelle und Druckmessung zu ermitteln. Vorzugsweise ist dem ersten Regelkreis ein zweiter Regelkreis unterlagert, der für eine Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit vorgesehen sein kann. Als Eingangsgröße für den zweiten Regelkreis ist vorzugsweise eine Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit, insbesondere als Ableitung des Ist-Fördervolumens, der Hydromaschine vorgesehen. Wird die Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit über das Ist-Fördervolumen ermittelt, so kann das erfasste Ist-Fördervolumen vorteilhafterweise sowohl für den ersten als auch für den zweiten Regelkreis verwendet werden, womit eine separate Erfassung der Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit nicht notwendig ist. Eine Ausgangsgröße des zweiten Regelkreises ist vorzugsweise die Stellgröße für das Pilotventil. Vorteilhafterweise kann dem zweiten Regelkreis ein Stellwert aus dem ersten Regelkreis in Form einer Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit zugeführt sein. Bei dem Stellwert aus dem ersten Regelkreis kann es sich dann um eine Soll-Größe für den zweiten Regelkreis handeln.

[0009] Diese Lösung hat den Vorteil, dass eine elektronisch ansteuerbare Hydromaschine für Mobilanwendungen im offenen Kreis geschaffen ist, die einen einfachen Pumpen-Verstellmechanismus ohne eine hydro-mechanische Rückführung aufweist. Im Unterschied

zum Stand der Technik ist es nicht notwendig, eine Position des Stellkolbens des Pilotventils zu erfassen, womit auf entsprechende Mittel verzichtet werden kann, womit Kosten und vorrichtungstechnischer Aufwand reduziert sind. Die Druckmittelversorgungsanordnung ist somit äußerst einfach und kostengünstig ausgestaltet.

Durch die Berücksichtigung der Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit wird wiederum die Dynamik des Systems bei der Steuerung des Pilotventils berücksichtigt. Die Stellgröße des Pilotventils ist somit auch von der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit abhängig, was zu einer hohen Regelgüte führt.

[0010] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist der erste Regelkreis vorzugsweise als Eingangsgrößen den Ist-Ausgangsdruck der Hydromaschine und/oder das Ist-Fördervolumen der Hydromaschine auf.

[0011] Der erste Regelkreis der Steuerung kann des Weiteren für ein Ist-Drehmoment der Hydromaschine ausgebildet sein. Als Eingangsgröße für die Steuerung ist dann beispielsweise ein Soll-Drehmoment und ein Ist-Drehmoment vorgesehen. Alternativ oder zusätzlich ist denkbar, dass der erste Regelkreis der Steuerung für eine Ist-Leistung unter Einbeziehung einer Ist-Drehzahl der Hydromaschine ausgebildet ist. Denkbar ist auch, dass aus der Ist-Drehzahl über eine Kennlinie die Ist-Leistung oder das Ist-Drehmoment ermittelbar ist, um dann die Ist-Leistung zu regeln. Zum Regeln des Ist-Drehmoments kann ein Regler, insbesondere ein P-Regler vorgesehen sein. Alternativ ist denkbar, den Regler als PI-Regler oder als PID-Regler auszubilden.

[0012] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist der erste Regelkreis für den Ist-Ausgangsdruck der Hydromaschine und/oder für das Ist-Fördervolumen der Hydromaschine und/oder für das Ist-Drehmoment der Hydromaschine jeweils eine Stellgröße auf. Die Steuerung kann dann eine ablösende Regelung vorsehen, die einen Minimalwertbildner für die ausgegebenen Stellgrößen des ersten Regelkreises hat. Eine Ausgangsgröße des Minimalwertbildners ist dann vorzugsweise der Stellwert in Form der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit, der dem zweiten Regelkreis zugeführt wird. Der Minimalwertbildner sorgt dafür, dass automatisch nur der dem gewünschten Arbeitspunkt zugeordnete Regler aktiv ist. Beispielsweise wählt der Minimalwertbildner die kleinste der zugeführten Stellgrößen aus und führt diese dann dem untergelagerten zweiten Regelkreis als Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit zu.

[0013] Für das Fördervolumen oder den Schwenkwinkel - aus dem das Fördervolumen bestimbar ist - der Hydromaschine hat der erste Regelkreis vorzugsweise einen Regler. Bei diesem handelt es sich beispielsweise vorzugsweise um einen P-Regler. Alternativ kann dieser als PI-Regler oder als PID-Regler ausgebildet sein. Der Regler kann als Eingangsgröße einen Soll-Schwenkwinkel und einen Ist-Schwenkwinkel oder ein Soll-Fördervolumen oder Ist-Fördervolumen aufweisen.

[0014] Vorzugsweise ist für den Ist-Schwenkwinkel ein Filter, beispielsweise in Form eines PT1-Glieds oder ein

Filter höherer Ordnung, vorgesehen. Durch den Filter kann auf einfache Weise eine Beruhigung des Signals erfolgen.

[0015] Vorzugsweise weist der erste Regelkreis einen Regler für den Ist-Ausgangsdruck der Hydromaschine auf. Als Eingangsgröße ist diesem der, insbesondere über einen Drucksensor erfasste, Ist-Ausgangsdruck und der Soll-Ausgangsdruck zugeführt. Als Regler ist vorzugsweise ein PID-Regler vorgesehen. Alternativ kann ein P-Regler oder PI-Regler eingesetzt sein. Der Soll-Ausgangsdruck der Hydromaschine ist vorzugsweise verstellbar. Insbesondere wird zum Ermittlung des Soll-Ausgangsdrucks ein Ist-Load-Sensing(LS)-Druck der Verbraucher, die über die Druckmittelversorgungsanordnung mit Druckmittel versorgt sind, erfasst. Insbesondere handelt es sich bei dem Ist-LS-Druck um den höchsten Ist-Lastdruck der Verbraucher. Der Ist-LS-Druck wird vorzugsweise der Steuerung bzw. dem Regler für den Ist-Ausgangsdruck als Eingangsgröße zugeführt. Bei einer Load-Sensing(LS)-Steuerung soll der höchste Lastdruck der Verstellpumpe gemeldet werden und die Verstellpumpe soll so geregelt werden, dass in der Pumpenleitung ein um eine bestimmte Druckdifferenz (Δ_p) über dem höchsten Ist-Lastdruck liegender Ist-Ausgangsdruck herrscht. Somit ist vorteilhafte Weise vorgesehen, dass dem Regler für den Ist-Ausgangsdruck zusätzlich ein Soll-Differentialdruck als Eingangsgröße zugeführt wird. Der Soll-Ausgangsdruck kann dann durch Addition des Ist-LS-Drucks und des Soll-Differentialdrucks berechnet werden und dem Regler als Eingangsgröße dienen. Der Soll-Differentialdruck kann entweder fest parametriert sein oder flexibel als Parameter verstellbar und vorgegeben werden.

[0016] Insbesondere ist es auch denkbar, mehrere Ist-LS-Drücke zu erfassen und eine Maximalwertbildung oder eine Priorisierung in der Steuerung vorzunehmen. Dies kann durch Rückmeldung an ein Hauptventil oder an ein Main-Control-Valve erfolgen, wenn beispielsweise eine Fördermenge der Hydromaschine (Pumpe) begrenzt ist und damit die durch das Hauptventil geführte Fördermenge begrenzt werden kann, wodurch beispielsweise eine Priorisierung einer hydraulischen Lenkung im Falle einer Unterversorgung ermöglicht ist. Dabei wird vorteilhaft die Hydromaschine (Pumpe) zusätzlich zur LS-Druckführung auf eine Mindestmenge eingestellt, um auch im Falle einer Drucksensor-Fehlinformation die Lenkfähigkeit sicherzustellen. Mit anderen Worten kann als führende Größe der LS-Druck angesehen sein, anhand dessen die Hydromaschine geregelt wird. Zusätzlich ist denkbar, dass in Abhängigkeit von der Lenkanforderung eine Mindestmenge eingestellt wird, damit selbst bei einer Fehlinformation hinsichtlich des LS-Drucks die Lenkfähigkeit erhalten bleibt.

[0017] Bei einem Regler für den Ist-Ausgangsdruck und/oder für den Ist-Fördervolumen und/oder für das Ist-Drehmoment kann ein I-Anteil vorgesehen sein, wie beispielsweise bei einem PID-Regler, was obenstehend erläutert ist. Es kann dann, insbesondere beim Einsatz des

Minimalwertbildners, vorgesehen sein, dass bei dem Regler oder den Regler/n, die nicht-aktiv sind und einen I-Anteil haben, der I-Anteil eingefroren oder, insbesondere teilweise oder vollständig zurückgesetzt wird. Ist der Regler dann aktiv, so wird der I-Anteil auf übliche Weise genutzt und der Regler kann sofort reagieren. Dies führt dazu, dass der I-Anteil des oder der Regler/s bei Inaktivität nicht aufgezogen wird. Diese Ausgestaltung kann als "Anti-windup" bezeichnet werden, das heißt, dass die Einfrierung und das Zurückstellen des I-Anteils kombiniert ist.

[0018] Für den Regler des Ist-Ausgangsdrucks können vorteilhafter Weise ein oder mehrere Filter mit einem druckabhängigen Filterkoeffizienten vorgesehen sein. Bei dem jeweiligen Filter handelt es sich beispielsweise um einen variablen PT1-Filter oder um einen Filter höherer Ordnung. Vorzugsweise ist der Filter oder ein jeweiliger Filter für den Ist-Ausgangsdruck und/oder für den Ist-LS-Druck vorgesehen. Vorzugsweise ist der druckabhängige Filter derart ausgestaltet, dass bei einer Steigerung des Ist-Ausgangsdrucks der Hydromaschine die Filterung reduziert wird und umgekehrt bei einer Senkung des Ist-Ausgangsdrucks der Hydromaschine die Filterung erhöht wird, um Einfluss auf die Dynamik der Regelung zu nehmen.

[0019] Alternativ oder zusätzlich kann ein oder können mehrere Filter, insbesondere mit druckabhängigen Filterkoeffizienten, für die weiteren obenstehend und untenstehend angeführten Regler, insbesondere für eine oder mehrere Eingangsgrößen, eingesetzt sein.

[0020] Alternativ oder zusätzlich ist denkbar für den Regler des Ist-Ausgangsdrucks und/oder für einen oder mehrere der obenstehend und untenstehend angeführten Regler, insbesondere für die eine oder mehrere Eingangsgröße/n einen asymmetrischen Filter vorzusehen. Dieser ist abhängig von der Richtung, in der die Schrägscheibe verschwenkt wird. Das heißt die Filterung des Filters in der ersten Verschwenkrichtung ist im Vergleich zur Filterung in der zweiten Verschwenkrichtung verschieden.

[0021] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist ein Verstärkungsfaktor (K_p), insbesondere für den Regler für den Ist-Ausgangsdruck, vorgesehen, der von der Ist-Temperatur des Druckmittels der Hydromaschine, insbesondere des ausgangsseitigen Druckmittels, und/oder der Ist-Drehzahl der Hydromaschine und/oder des Ist-Ausgangsdrucks der Hydromaschine und/oder eines vorgegebenen Druckgradienten oder Soll-Druckgradienten, insbesondere für den Soll-Ausgangsdruck der Hydromaschine, abhängt. Der Verstärkungsfaktor kann somit in Abhängigkeit von diesen Größen ermittelt werden. Der Verstärkungsfaktor kann dann beispielsweise beim Regler mit der Regelabweichung multipliziert werden, wobei die Regelabweichung beispielsweise der Soll-Differentialdruck minus der Ist-Differential-Druck ist und wobei der Ist-Differentialdruck gleich der Ist-LS-Druck minus der Ist-Ausgangsdruck ist.. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass, je kleiner die Ist-Temperatur ist, desto kleiner

ner ist der Verstärkungsfaktor, da hierdurch vorzugsweise im Kaltzustand der Hydromaschine ein Schwingen der Hydromaschine verhindert oder zumindest verminder werden kann. Entsprechend kann umgekehrt gelten, dass, je größer die Ist-Temperatur ist, desto größer ist der Verstärkungsfaktor. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass, je kleiner die Ist-Drehzahl der Hydromaschine ist, desto größer ist der Verstärkungsfaktor, da der Druckaufbau vom Volumenstrom abhängt und somit von der Drehzahl der Hydromaschine. Entsprechend kann auch hier umgekehrt gelten, dass, je größer die Ist-Drehzahl ist, desto kleiner ist der Verstärkungsfaktor. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass, je größer der Druckgradient des Soll-Ausgangsdrucks ist, desto größer ist der Verstärkungsfaktor. Dies ist vorteilhaft, da, je größer der Druckgradient, desto größer ist die Anforderung zum Ausschwenken der Hydromaschine und somit muss die Hydromaschine schneller reagieren als im Kleinsignalbereich. Umgekehrt gilt dann auch hier, dass, je kleiner der Druckgradient ist, desto kleiner ist der Verstärkungsfaktor. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass, je größer der Ist-Ausgangsdruck ist, desto größer ist der Verstärkungsfaktor. Dies ist vorteilhaft, da bei größerem Ist-Ausgangsdruck, auch die Streckendynamik höher ist. Somit kann die Hydromaschine schneller verschwenkt werden, ohne instabil zu werden. Umgekehrt gilt der gleiche Zusammenhang.

[0022] Der Verstärkungsfaktor kann vorteilhafter Weise als arbeitspunktabhängiger Regelparameter ausgebildet sein. Für die Druckregelung und/oder für die Drehmomentregelung und/oder für die Schwenkwinkelregelung kann beispielsweise gelten: je größer der Ist-Ausgangsdruck, desto größer kann der Verstärkungsfaktor sein oder der Verstärkungsfaktor wird bis zu einem vorbestimmten Ist-Ausgangsdruck erhöht und im Anschluss bei weiter steigendem Ist-Ausgangsdruck wieder gesenkt. In anderen Worten kann ein Verstärkungsfaktor auch bei den Reglern für den Ist-Ausgangsdruck und/oder für das Ist-Drehmoment vorgesehen sein, insbesondere für die Ist-Größen. Insbesondere kann in anderen Worten eine druckabhängige Anpassung der Regelkreisverstärkungen vorgesehen sein. Die Regelparameter sind somit im Betrieb der Druckmittelversorgungsanordnung anpassbar. Es erfolgt vorteilhafter Weise eine bedarfsgerechte Anpassung der Regeldynamik und/oder Regelstabilität im Betrieb.

[0023] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein Soll-Druckgradient für den Regler des Ist-Ausgangsdrucks vorgesehen ist. Dieser ist vorzugsweise anpassbar und verstellbar. Der Soll-Druckgradient kann dann beispielsweise Einfluss auf den Soll-Ausgangsdruck haben. Ein Einfluss ist beispielsweise derart, dass, je höher der Soll-Druckgradient ist, desto schneller soll die Hydromaschine ausschwenken. Je höher der Soll-Druckgradient, desto schneller wächst die Anforderung als der Ist-Gradient, weshalb die Hydromaschine schneller verschwenkt wird, um den

Soll-Druckgradienten zu erreichen. Es ist denkbar, den Soll-Druckgradienten als Begrenzung für den Soll-Ausgangsdruck oder als Begrenzung für die Änderung des Soll-Ausgangsdrucks zu verwenden.

- 5 **[0024]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung hat der erste Regelkreis vorzugsweise einen Regler für das Ist-Drehmoment oder die Ist-Leistung auf Basis des Ist-Drehmoments multipliziert mit der Ist-Drehzahl. Als Eingangsgröße kann eine Ist-Drehzahl vorgesehen sein, die von einer Triebwelle, insbesondere über einen Drehzahlensor, der Hydromaschine abgegriffen ist. Aus der Ist-Drehzahl kann dann das Ist-Drehmoment oder Aufnahmedrehmoment der Hydromaschine (Pumpe) berechnet werden. Das Ist-Drehmoment berechnet sich 10 aus dem Ist-Schwenkwinkel multipliziert mit dem Ist-Ausgangsdruck geteilt durch den hydromechanischen Wirkungsgrad. Der hydromechanische Wirkungsgrad ist eine Funktion aus dem Ist-Ausgangsdruck, aus dem Ist-Schwenkwinkel und der Ist-Drehzahl und kann beispielsweise über eine Kennlinie ermittelbar sein. Des Weiteren kann für den Regler ein Soll-Drehmoment vorgegeben sein. Die ausgangsseitige Stellgröße des Reglers wird vorzugsweise dem Minimalwertbildner zugeführt. Die Kennlinie zum Bestimmen des Ist-Drehmoments ist beispielweise abhängig vom Ist-Druck und/oder vom Ist-Schwenkwinkel. Mit anderen Worten kann mit dem Regler eine Momentanleistung berechnet werden, insbesondere wenn die Ist-Drehzahl mit einbezogen wird.
- 15 **[0025]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung werden die Ist-Größen für den ersten und zweiten Regelkreis oder einen Teil der Ist-Größen und ein oder mehrere Ableitungen davon zur Beruhigung der Signale gefiltert. Hier sind beispielsweise wie vorstehend bereits erläutert ein PT1 Glied oder ein variables PT1 Glied eingesetzt.
- 20 **[0026]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist denkbar, eine Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe oder ein Maximale-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit für die Steuerung vorzusehen, die, insbesondere nachgeschaltet zum Minimalwertbildner, dem zweiten Regelkreis zugeführt wird. Insbesondere wird die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe über ein Regelglied der Steuerung zugeführt. Dieses hat als Eingangsgröße vorzugsweise den Stellwert aus dem ersten Regelkreis, also der vom Minimalwertbildner ausgegebene Stellwert. Als weitere Eingangsgröße kann die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe vorgesehen sein. Als Ausgangsgröße des Regelglieds kann dann die endgültige Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit für den zweiten Regelkreis vorgesehen sein. Über die zusätzlich vorgegebene Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe, die beispielsweise verstellbar ist, wird insbesondere der Stellwert des Minimalwertbildners begrenzt, um eine Regeldynamik der Druckmittelversorgungsanordnung zu beeinflussen. Bei der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe kann es sich beispielsweise um ein positives oder negatives Maximum der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit handeln. Je höher die endgültige Soll-Fördervo-

lumen-Verstellgeschwindigkeit, desto schneller kann die Hydromaschine ausschwenken.

[0027] Mit dem vorstehend erläuterten verstellbaren Soll-Druckgradienten und/oder der verstellbaren Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe kann auf einfache Weise Einfluss auf die Regeldynamik der Druckmittelversorgungsanordnung genommen werden. Somit kann die Steuerkraft für das Pilotventil abhängig vom Soll-Druckgradienten und/oder von der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe sein. Diese Werte sind variabel im Betrieb anpassbar. Es kann somit eine bedarfsgerechte Anpassung der Regeldynamik im Betrieb erfolgen und beispielsweise betriebspunkt- oder arbeitspunktabhängig sein. Durch den oder die Wert/e kann somit eine Limitierung und/oder Anpassung der Pumpendynamik erfolgen. Der Schwenkwinkel der Hydromaschine und/oder die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit kann dann derart eingeregelt werden, dass der Soll-Wert oder die Soll-Werte nicht überschritten werden. Mit den verstellbaren Größen (Soll-Druckgradienten und/oder der verstellbaren Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe) kann mit anderen Worten eine Anpassung der Dynamik der Druckmittelversorgungsanordnung über Softwareparameter erfolgen, womit beispielsweise ein weiches oder hartes Maschinenverhalten einstellbar ist. Die Dynamik ist auch für Teilfunktionen veränderbar. Eine Teilfunktion kann mit dem Soll-Druckgradienten und die andere Teilfunktion mit der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe angepasst sein. Durch die Anpassung der Dynamik ist auch eine Reduzierung von Schwingungen ermöglicht. Des Weiteren können ruckartige Bewegungen vermieden werden. Es hat sich gezeigt, dass die hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung zu einer Steigerung des Wirkungsgrads, insbesondere durch weniger Steuerölverbrauch, führt.

[0028] Ein weiterer Vorteil der hydraulischen Druckmittelversorgungsanordnung ist eine leichtere Integration im Vergleich zur hydromechanischen Reglern, da beispielsweise Verbindungsleitungen oder Schläuche zum hydromechanischen Regler der Verstellpumpe wegfallen.

[0029] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann eine Vorsteuerung und/oder eine Auto-Kalibrierung eines Neutralstroms für einen Aktuator des Pilotventils vorgesehen sein. Mit anderen Worten kann eine druckabhängige Vorgabe eines Neutralsignalwerts für das Pilotventil vorhanden sein. Bei dem Neutralsignalwert handelt es sich beispielsweise um den Vollsteuerwert für das Pilotventil, bei dem die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit Null ist. Hierfür kann der Ist-Ausgangsdruck aufgegriffen werden. Daraus kann dann, insbesondere über ein Kennfeld, ein Neutralstrom ermittelt werden. Dieser wird dann vorzugsweise der Stellgröße der Steuerung zugeführt, insbesondere durch Addition. Durch die Vorsteuerung des Neutralstroms kann die Steuerung entlastet werden. Mit anderen Worten kann eine Auto-Kalibrierung des Neutralstroms erfolgen. Dieser kann notwendig sein, um einen stationären Zustand der Hydromaschine

abhängig von einem Ist-Ausgangsdruck und/oder einer Viskosität des Druckmittels und/oder einer Federstreuung und/oder einer Magnetstreuung des Pilotventils zu halten. Somit kann eine Kompensation der Hardwarestreuung über die Auto-Kalibrierung des Neutralstroms ermöglicht sein.

[0030] Mit Vorteil ist ein Soll-Drehmomentgradient für den Regler des Ist-Drehmoments vorgesehen. Dieser kann beispielsweise anpassbar und verstellbar ausgebildet sein. Der Soll-Drehmomentgradient kann beispielsweise Einfluss auf das Soll-Drehmoment haben. In diesem Fall ist vorzugsweise der Soll-Drehmomentgradient als Begrenzung für das Soll-Drehmoment oder für die Begrenzung der Änderung des Soll-Drehmoments vorgesehen. Denkbar ist auch den Soll-Drehmomentgradienten als Vorgabe zu regeln. In diesem Fall kann ein Soll-Drehmoment basierend auf dem Soll-Drehmomentgradienten gebildet werden. Ein vorgesehener Filter oder Vorfilter kann dann eine Soll-Dynamik einstellen.

[0031] In weiterer Ausgestaltung kann zusätzlich zur Steuerung oder Pumpen-Steuerung eine übergeordnete Maschinensteuerung vorgesehen sein. Dieses ist beispielsweise der Ist-Ausgangsdruck und/oder der Ist-Schwenkwinkel und/oder das Ist-Drehmoment und/oder das Ist-Fördervolumen und/oder die Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit und/oder der Gradient des Ist-Ausgangsdrucks und/oder das Maximalmoment und/oder der Gradient der Momentenveränderung zugeführt.

[0032] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein Ventilschieber des Pilotventils derart angesteuert ist, dass dieser zeitweise oder ständig, insbesondere im Betrieb der Druckmittelversorgungsanordnung eine axiale Schwingbewegung ausführt. Die Schwingungsbewegung erfolgt vorzugsweise derart, dass die aktuelle Schaltstellung des Ventilschreibers praktisch nicht beeinflusst wird. Mit anderen Worten erfolgt eine druckabhängige Anpassung und Optimierung der Hysteresereduzierenden Maßnahme (Dither) mit dem Ziel, die Hysterese des Pilotventils zu optimieren und die Regeldynamik nicht durch Gegenkompenstation durch den Dither zu beeinflussen, insbesondere wenn Reglerausgang gegenphasig oder in phase mit der Dither arbeitet.

[0033] Mit anderen Worten ist ein Verfahren offenbart, dass zur Regelung eines Hubvolumens und/oder eines Drehmoments und/oder eines Drucks einer hydrostatischen Maschine vorgesehen ist.

[0034] Diese kann eine Stellvorrichtung zur Einstellung ihres Hubvolumens aufweisen. Vorzugsweise hat das Verfahren folgende Schritte:

- Erfassen eines vorgegebenen Soll-Drehmoments,
- Erfassen eines vorgegebenen Soll-Hubvolumens,
- Erfassen eines vorgegebenen Soll-Drucks,
- Erfassen eines Ist-Hubvolumens oder eingestelltem Hubvolumens,
- Erfassen eines Ist-Drucks oder eingestelltem

Drucks,

- Ermittlung des Ist-Drehmoments oder des eingesetzten Drehmoments an der Triebwelle der Maschine.

5

[0035] Als Weiterer Schritt kann ein Regeln eines Volumenstroms in die Stellvorrichtung hinein oder aus der Stellvorrichtung hinaus mittels eines Regelventils zum Einstellen des Hubvolumens auf Basis einer Kraftdifferenz zwischen einer Steuerkraft und einer in entgegengesetzter Richtung an dem Regelventil angreifenden Kraft vorgesehen sein. Die in entgegengesetzter Richtung zur Steuerkraft an dem Regelventil angreifende Kraft kann eine Federkraft sein. Die Steuerkraft kann des Weiteren eine elektrische Kraft eines Elektromagnetenventils sein. In Abhängigkeit des erfassten Hubvolumens und/oder Drucks und/oder Soll-Hubvolumens und/oder Soll-Drucks und/oder Soll-Drehmoment die Maschine eingestellt wird. Das Hubvolumen wird vorzugsweise so eingestellt, dass stets das kleinste Hubvolumen eingestellt wird, welches zum Erreichen einer der Soll-Größen führt.

10

[0036] Vorzugsweise ist die Hydromaschine stromlos bei Nullhub oder bei Maximalhub, je nach der Fail-Operation-Anwendung.

15

[0037] Wie einleitend erläutert kann aus dem Schwenkwinkel der Schrägscheibe der Volumenstrom der Hydromaschine oder Verstellpumpe ermittelt werden. Wird die Verstellpumpe nicht angetrieben, und ist das Stellsystem drucklos, dann schwenkt die Verstellpumpe durch eine Federkraft einer Feder beispielsweise auf ein maximales Fördervolumen. Im angetriebenen Zustand der Verstellpumpe und bei stromlosem Pilotventil und verschlossenem Pumpenausgang schwenkt die Verstellpumpe dagegen auf einen Nullhubdruck. Ein Gleichgewicht zwischen Pumpendruck am Stellkolben und Federkraft der Feder plus Pumpendruck am Gegenkolben stellt sich bei etwa 4 bis 8 bar ein. Die Grundeinstellung wird üblicherweise bei spannungsloser Regelektronik eingenommen. Denkbar wäre auch umgekehrt, dass bei stromlosen Pilotventil die Verstellpumpe auf maximales Fördervolumen verschwenkt wird, um eine Druckmittelversorgung eines Verbrauchers, wie beispielsweise einer Lenkung sicherzustellen. Vorzugsweise ist dann ein Druckbegrenzungsventil vorgesehen, um den Ist-Ausgangsdruck der Hydromaschine zu begrenzen. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass das Ventilverhalten des Pilotventils invertiert ist. Also kann beispielsweise im stromlosen Zustand am Pilotventil der Stellzylinder-Anschluss mit dem Tankanschluss verbunden sein.

20

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0038] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfahrung werden im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung eine hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 2 in einer schematischen Darstellung eine Steuerung für die Druckmittelversorgungsanordnung aus Fig. 1,

Fig. 3 in einer schematischen Darstellung eine Steuerung für die Druckmittelversorgungsanordnung aus Fig. 1 gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 und Fig. 5 jeweils in einer schematischen Darstellung eine Ermittlung von Verstärkungsfaktoren eines Reglers gemäß einem Ausführungsbeispiel, Fig. 6a und 6b eine Raupenbagger und in einer schematischen Darstellung eine Druckmittelversorgungsanordnung für einen Raupenbagger,

Fig. 7a und 7b einen Teleskoplader und in einer schematischen Darstellung eine Druckmittelversorgungsanordnung für einen Teleskoplader,

Fig. 8a und 8b einen Kompaktbagger und in einer schematischen Darstellung eine Druckmittelversorgungsanordnung für einen Kompaktbagger und

Fig. 9a und 9b ein Kühler-Lüfter-System und in einer schematischen Darstellung eine Druckmittelversorgungsanordnung für ein Kühler-Lüfter-System.

25

30

[0039] Gemäß Fig. 1 ist eine hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung 1 gezeigt, die eine Hydromaschine in Form einer Axialkolbenmaschine 2 aufweist. Diese weist eine Schwenkwiege zum Verstellen eines Fördervolumens auf. Die Axialkolbenmaschine 2 ist sowohl als Pumpe als auch als Motor einsetzbar. Angetrieben wird die Axialkolbenmaschine 2 über eine Antriebsseinheit 4, bei der es sich beispielsweise um einen Verbrennungsmotor, wie beispielsweise ein Dieselaggregat, oder um einen Elektromotor handeln kann. Über eine Triebwelle 6 ist die Axialkolbenmaschine 2 mit der Antriebsseinheit 4 verbunden. Eine Drehzahl 8 der Triebwelle 6 kann über nicht dargestellte Mittel, beispielsweise über einen Drehzahlsensor, abgegriffen werden und einer Steuerung der Druckmittelversorgungsanordnung 1 zugeführt werden. Für die Axialkolbenmaschine 2 ist ein Verstellmechanismus 12 vorgesehen. Dieser hat ein Pilotventil 14. Dessen Ventilschieber ist elektrisch proportional über einen Aktor 16 ansteuerbar. Hierfür wird dem Aktor 16 eine Stellgröße 18 von einer Steuerung 20 zugeführt. Der Ventilschieber des Pilotventils 14 in Richtung einer Grundstellung mit einer Federkraft einer Ventilfeder 22 beaufschlagt. Die Federkraft wirkt dabei entgegen der Aktorkraft des Aktors 16.

35

[0040] Die Axialkolbenmaschine 2 ist ausgangsseitig mit einer Druckleitung 24 verbunden, die wiederum mit einem Hauptsteuerventil 26 oder Ventilblock verbunden ist. Über dieses kann die Druckmittelversorgung zwischen der Axialkolbenmaschine 2 und einem oder mehreren Verbrauchern gesteuert werden. Von der Druckleitung 24 zweigt eine Steuerleitung 28 ab, die an einen Druckanschluss P des Pilotventils 14 angeschlossen ist. Die Steuerleitung 28 ist beispielsweise in einem Gehäu-

se der Axialkolbenmaschine 2 ausgebildet. Des Weiteren weist das Pilotventil 14 einen Tankanschluss T auf, der über eine Druckleitung 30 mit einem Tank verbunden ist. Außerdem hat das Pilotventil 14 einen Arbeitsanschluss A, der mit einem Steuerraum 32 eines Stellzylinders 34 verbunden ist. Der Steuerraum 32 wird dabei von einem Stellkolben 36 des Stellzylinders begrenzt. Über den Stellkolben 36 kann dann eine Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 verstellt werden. Ein Verschiebeweg des Stellkolbens 36 wird über einen Wegaufnehmer 38 erfasst. Alternativ oder zusätzlich wird ein Schwenkwinkel der Schwenkwiege der Axialkolbenmaschine 2 über einen rotatorischen, magnetischen Sensor von einer Schwenkachse der Schwenkwiege abgegriffen. Über den erfassten Weg kann dann das Ist-Fördervolumen oder das Ist-Verdrängungsvolumen der Axialkolbenmaschine 2 ermittelt werden. Das Ist-Fördervolumen 40 wird dann der Steuerung 20 gemeldet. In der Grundstellung des Ventilschiebers des Pilotventils 14 ist der Druckanschluss P mit dem Arbeitsanschluss A verbunden und der Tankanschluss T abgesperrt. Bei Beaufschlagung des Ventilschiebers mit der Aktorkraft des Aktors 16 wird der Ventilschieber ausgehend von seiner Grundstellung in Richtung von Schaltstellungen bewegt, bei denen der Druckanschluss P gesperrt und der Arbeitsanschluss A mit dem Tankanschluss T verbunden ist. Somit wird in der Grundstellung des Ventilschiebers des Pilotventils 14 der Stellkolben 36 mit Druckmittel aus der Druckleitung 24 beaufschlagt. Des Weiteren ist bei dem Verstellmechanismus 12 ein Zylinder 42 vorgesehen. Dieser hat einen Stellkolben 44, der an der Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 angreift. Der Stellkolben 44 begrenzt einen Steuerraum 46, der mit der Druckleitung 24 verbunden ist. Über Druckmittel des Steuerraums 46 und über die Federkraft einer Feder 48 wird der Stellkolben 44 derart beaufschlagt, dass dieser die Schrägscheibe in Richtung einer Vergrößerung des Fördervolumens belastet.

[0041] Des Weiteren ist ein Drucksensor 50 vorgesehen, über den der Druck in der Druckleitung 24 abgegriffen und der Steuerung 20 gemeldet wird, wobei es sich bei dem Druck um einen Ist-Ausgangsdruck 52 handelt. Außerdem ist ein Drucksensor 54 vorgesehen, der den höchsten Ist-Lastdruck (Ist-LS-Druck) 56 erfasst, der der Steuerung 20 übermittelt wird.

[0042] Eine Steuerung 57 ist über ein CAN Interface 58 mit der Steuerung 20 verbunden, um insbesondere die Ist-Drehzahl an die Steuerung 20 zu übermitteln. Denkbar ist auch, die Ist-Drehzahl 8 direkt der Steuerung 20 zuzuführen.

[0043] Im Einsatz der Druckmittelversorgungsanordnung 1 wird über das Pilotventil 14 und den Stellkolben 36 die Position der Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 gesteuert. Ein geförderter Volumenstrom der Axialkolbenmaschine 2 ist proportional zur Stellung der Schrägscheibe. Der durch die Feder 48 vorgespannte Verstellkolben 44 oder Gegenkolben wird ständig mit dem Ist-Ausgangsdruck oder Pumpendruck beauf-

schlagt. Bei nichtdrehender Axialkolbenmaschine 2 und drucklosem Verstellmechanismus 12 wird die Schrägscheibe durch die Feder 48 in einer Position +100 Prozent gehalten. Bei angetriebener Axialkolbenmaschine 2 und stromlosem Aktor 16 des Pilotventils 14 schwenkt die Schrägscheibe auf einen Nullhubdruck, da der Stellkolben 36 mit Druckmittel der Druckleitung 24 beaufschlagt ist. Ein Gleichgewicht zwischen einem Ist-Ausgangsdruck am Stellkolben 36 und der Federkraft der Feder 48 stellt sich bei einem vorbestimmten Druck oder Druckbereich ein, beispielsweise zwischen 8 bis 12 bar. Dieser Nullhubbetrieb wird beispielsweise bei einer spannungslosen Elektronik oder Steuerung 20 eingenommen. Die Ansteuerung des Pilotventils 14 erfolgt über die Steuerung 20, bei der es sich beispielsweise um vorzugsweise eine digitale Elektronik, alternativ um eine analoge Elektronik, handelt. Die Steuerung 20 verarbeitet die benötigten Regelsignale, was untenstehend näher erläutert ist.

[0044] Fig. 2 zeigt schematisch eine Funktionsweise der Steuerung 20. Diese hat einen ersten Regelkreis 60 und einen zweiten Regelkreis 62. Der erste Regelkreis 60 weist einen Regler 64 für einen Schwenkwinkel der Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 aus Fig. 1, einen Regler 66 für den Ausgangsdruck der Axialkolbenmaschine 2 und einen Regler 68 für ein Drehmoment der Axialkolbenmaschine 2 auf. Der Regler 64 hat als Eingangsgrößen ein Soll-Fördervolumen 70 und das Ist-Fördervolumen 40. Als Ausgangsgröße ist eine Stellgröße 72 vorgesehen. Der Regler 66 weist als Eingangsgrößen einen Soll-Ausgangsdruck 74 und den Ist-Ausgangsdruck 52 auf. Als Ausgangsgröße ist eine Stellgröße 75 vorgesehen. Der Regler 68 weist als Eingangsgrößen eine Ist-Drehmoment 76 oder ein Soll-Drehmoment auf. Als weitere Eingangsgröße ist das Ist-Drehmoment vorgesehen, das wiederum beispielsweise anhand eines Kennfelds über die Ist-Drehzahl 8 ermittelbar ist. Als Ausgangsgröße für den Regler 68 ist eine Stellgröße 78 vorgesehen. Bei dem jeweiligen Regler 64 bis 68 werden die Eingangsgrößen jeweils einem Regelglied in Form eines PID-Reglers zugeführt.

[0045] Die Stellgrößen 72, 75 und 78 werden einem Minimalwertbildner 80 zugeführt. Dieser sorgt dafür, dass automatisch nur der dem gewünschten Arbeitspunkt zugeordnete Regler 72, 75 oder 78 aktiv ist. Hierbei wird dann entweder der Ausgangsdruck, das Drehmoment oder das Fördervolumen exakt ausgeregelt, wobei die jeweils beiden anderen Größen unterhalb eines vorgegebenen Sollwertes liegen. Ein Ausgangssignal des Minimalwertbildners 80 ist dann ein Sollwert in Form einer Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit oder Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit 82. Diese ist dann eine Eingangsgröße für den zweiten unterlagerten Regelkreis 62. Eine weitere Eingangsgröße des zweiten Regelkreises 62 ist die Ableitung des Ist-Fördervolumens 40, womit es sich dann um eine Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit 84 handelt. Die Eingangsgrößen 82 und 84 für den zweiten Regelkreis 62 werden

dann einem Regelglied in Form eines PID-Glieds 86 zugeführt. Dieses gibt dann die Stellgröße 18 für das Pilotenventil 14 aus Fig. 1 aus.

[0046] Gemäß Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform für die Steuerung 20 aus Fig. 1 gezeigt. Diese hat einen Regler 88 für das Fördervolumen der Axialkolbenmaschine 2, s. auch Fig. 1. Des Weiteren ist ein Regler 90 für den Ausgangsdruck der Axialkolbenmaschine 2 und ein Regler 92 für das Drehmoment der Axialkolbenmaschine 2 vorgesehen. Dies ist ein Teil eines ersten Regelkreises 94. Des Weiteren ist ein dem ersten Regelkreis unterlagerter zweiter Regelkreis 96 für die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit der Axialkolbenmaschine 2 vorgesehen.

[0047] Der Regler 88 weist ein Regelglied 98 in Form eines P-Glieds auf. Als Eingangsgröße sind das Soll-Fördervolumen 70 und das Ist-Fördervolumen 40 vorgesehen. Das Ist-Fördervolumen 40 wird mit dem Regelglied 98 über einen Filter in Form eines PT1-Filters zugeführt. Ausgangsseitig des Reglers 88 ist die Stellgröße 72 als Ausgangsgröße vorgesehen, die dem Minimalwertbildner 80 zugeführt wird.

[0048] Der Regler 90 weist als Eingangsgrößen den Ist-Ausgangsdruck 52, den Ist-LS-Druck 56, eine Soll-Druckdifferenz 100 und einen Soll-Druckgradienten 102 auf. Der Ist-LS-Druck 56 und die Soll-Druckdifferenz 100 werden über ein Summierglied 104 zu einem Soll-Ausgangsdruck verknüpft. Der Soll-Ausgangsdruck wird dann einem Regelglied 106 in Form eines invertierten PT1-Glieds zugeführt, das einen voraussichtlichen Signalverlauf abschätzt. Der Soll-Ausgangsdruck wird dann weiter einem Regelglied 108 zugeführt, das als weitere Eingangsgröße den Soll-Druckgradienten 102 aufweist. Der Soll-Druckgradient 102 gibt dann den maximal möglichen Gradienten vor, der vorgesehen sein soll. Über das Regelglied 108 wird dann der Soll-Ausgangsdruck von dem vorgegebenen Soll-Druckgradienten 102 derart beeinflusst, dass mit dem Soll-Druckgradienten 102 die Dynamik der Druckmittelversorgungsanordnung 1 aus Fig. 1 steuerbar ist. Beispielsweise kann die Beeinflussung derart sein, dass, je höher der Soll-Druckgradient 102 ist, desto schneller kann die Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 verstellt werden. Umgekehrt gilt dann, je kleiner der Soll-Druckgradient ist, desto langsamer wird die Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 verstellt. Nach dem Regelglied 108 wird dann der Soll-Ausgangsdruck einem Regelglied 110 in Form eines PID-Glieds zugeführt. Als weitere Eingangsgröße für das Regelglied 110 ist dann der Ist-Ausgangsdruck 52 vorgesehen. Als Ausgangsgröße des Regelglieds 110 ergibt sich die Stellgröße 75, die dem Minimalwertbildner 80 zugeführt wird.

[0049] Der Ist-LS-Druck 56 des Reglers 90 wird vor dem Summierglied 104 einem Filter 112 zugeführt, bei dem es sich um einen variablen PT1-Filter handelt. Das Gleiche gilt für den Ist-Ausgangsdruck, der vor dem Regelglied 110 ebenfalls einem Filter 114 in Form eines variablen PT1-Filters zugeführt wird. Die Filter 112 und

114 haben variable, insbesondere druckabhängige, Filterkoeffizienten, was obenstehend näher erläutert ist.

[0050] Der Regler 92 hat als Eingangsgrößen die Ist-Drehzahl 8, das Ist-Fördervolumen 40, den Ist-Ausgangsdruck 52 und ein Soll-Drehmoment 116. Die Eingangsgrößen werden einem Regelglied 118 in Form eines P-Glieds zugeführt. Als Ausgangsgröße für das Regelglied 118 ist die Stellgröße 78 vorgesehen, die dem Minimalwertbildner 80 zugeführt ist. Nach dem Regelglied 118 ist für die Stellgröße 78 ein Regelglied 120 vorgesehen, bei dem es sich wie bei dem Regelglied 106 um einen invertierten PT1-Filter handelt. Des Weiteren wird die Ist-Drehzahl, das Ist-Fördervolumen 40 und der Ist-Ausgangsdruck 8 vor Zuführung zum Regelglied 118 einem Regelglied 122 zugeführt. Dieses dient zur Berechnung eines Ist-Drehmoments 124 basierend auf der Ist-Drehzahl 8, auf dem Ist-Fördervolumen 40 und dem Ist-Ausgangsdruck 8. Die Berechnung erfolgt anhand eines Kennfelds des Regelglieds 122. Das Kennfeld ist abhängig von dem Ist-Ausgangsdruck 52, der dem Regelglied 122 zugeführt wird. Des Weiteren wird dem Regelglied 122 das Ist-Fördervolumen 40 zugeführt. Das Kennfeld kann dann alternativ oder zusätzlich vom Ist-Fördervolumen 40 abhängen. Mit anderen Worten wird das Ist-Drehmoment 124 aus der Ist-Drehzahl 8 und aus dem Ist-Ausgangsdruck 52 und/oder aus dem Ist-Fördervolumen 40 gebildet. Das Ist-Drehmoment 124 wird dann im Anschluss einem Filter 126 in Form eines PT1-Glieds zugeführt, bevor es zum Regelglied 118 gelangt.

[0051] Des Weiteren wird das Ist-Fördervolumen 40, bevor es dem Regelglied 98 zugeführt wird, einem Filter 99 in Form eines PT1-Glieds zugeführt.

[0052] Der Minimalwertbildner 80 bildet aus den Stellgrößen 72, 75 und 78 die Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit 82. Diese wird einem Regelglied 128 zugeführt. Mit diesem kann die Dynamik der Druckmittelversorgungsanordnung 1 beeinflusst werden. Hierfür ist als weitere Eingangsgröße für das Regelglied 128 eine Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe 130 vorgesehen, die verstellbar ist. Beispielsweise ist mit der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe 130, die aus dem Minimalwertbildner 80 ausgegebene Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit 82 limitierbar und/oder derart beeinflussbar, dass, je höher die Größe 130 ist, desto schneller kann die Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 verschwenkt werden und umgekehrt. Somit kann die Dynamik der Druckmittelversorgungsanordnung 1 durch Verstellen der Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe 130 und/oder durch

50 Verstellen des Soll-Druckgradienten 102 beeinflusst werden. Beispielsweise kann hierdurch die Druckmittelversorgungsanordnung 1 an unterschiedliche Arbeitsmaschinen und/oder an unterschiedliche Einsatzbedingungen und/oder an unterschiedliche Einsatzzwecke auf einfache und kostengünstige Weise angepasst werden.

[0053] Nach dem Regelglied 128 wird die endgültige Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit 132 dem zweiten Regelkreis 96 als Eingangsgröße zugeführt. Die-

ser hat ein Regelglied 134 in Form eines PI-Glieds. Als weitere Eingangsgröße für das Regelglied 134 ist die Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit 84 vorgesehen. Diese basiert auf dem Ist-Fördervolumen 40, das in einem Regelglied 136 abgeleitet wird. Danach wird die Ableitung, also die Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit, einem Filter 138 in Form eines PT1-Filters zugeführt. Anschließend ist ein Regelglied 140 in Form eines invertierten PT1-Filters vorgesehen, bevor die Ist-Größe 84 dem Regelglied 134 zugeführt ist. Das Regelglied 134 des zweiten Regelkreises 96 weist als Ausgangsgröße die Stellgröße 18 für das Pilotventil 14 aus Fig. 1 auf. Diese wird einem Summierglied 142 zugeführt. Als weitere Eingangsgröße für das Summierglied 142 ist ein Vorsteuerwert 144 vorgesehen. Bei diesem handelt es sich um eine Ausgangsgröße eines Regelglieds 150, das als Eingangsgröße den Ist-Ausgangsdruck 52 aufweist. Basierend auf dem Ist-Ausgangsdruck 52 wird dann der Vorsteuerwert 144 ermittelt. Das Summierglied 142 verknüpft dann die Stellgröße 18 und den Vorsteuerwert 144, womit ein Neutralstrom des Pilotventils vorgesteuert ist. Es erfolgt damit eine druckabhängige Vorgabe eines Neutralsignalwertes für das Pilotventil 14 aus Fig. 1. Dies hat den Vorteil, dass die Steuerung 20 hinsichtlich dieser Steuerungsaufgabe entlastet wird. Als Ausgangsgröße des Summierglieds 142 ist dann eine endgültige Stellgröße 146 für das Pilotventil 14 vorgesehen.

[0054] Es ist denkbar, dass dem Summierglied 142 ein in Fig. 3 nicht dargestelltes Regelglied nachgelagert ist, das als Eingangsgröße die Stellgröße 146 hat. Diese wird durch das Regelglied mit einem niederfrequenten Signal überlagert, damit der Ventilschieber des Pilotventils 14 ständig in axialer Schwingbewegung ist, um ein Festfahren des Ventilschiebers zu vermeiden. Als Ausgangsgröße des Regelglieds ist dann die endgültige Stellgröße für das Pilotventil 14 vorgesehen. Die Überlagerung mit dem niederfrequenten Signal kann als "Dithering" bezeichnet werden. Ziel des Dithers ist es die Hysterese des Pilotventils 14 zu verringern, indem eine kleine Bewegung des Ventilschiebers aufrechterhalten wird. Dabei darf diese Bewegung nicht zu groß werden, um Auswirkungen auf das System zu vermeiden (z.B. Pilotventil 14 schwingt zu heftig, sodass auch der Schwenkwinkel oder Druck diese Schwingung sieht). Der Dither (Frequenz und Amplitude) wird derart optimiert, sodass die Hysterese minimal wird und das System nicht angeregt wird. Je kleiner die Frequenz und je größer die Amplitude, desto besser lässt sich der Ventilschieber in Bewegung halten. Eine kleine Frequenz aber führt zu einer großen Periodendauer des überlagerten "Sinus-signals". Dadurch entsteht das Problem, dass diese Periode gerade gelegentlich zu dem Soll-Signal laufen kann. Man bekommt eine verzögerte Reaktion, wenn der überlagerte Dither in die andere Richtung läuft wie das Soll-Signal, was nachteilig sein kann in der Pumpenregelung. Es besteht aber die Möglichkeit, dass man bei höheren Drücken die Ditherfrequenz erhöhen und/ oder Amplitude verringern kann, da aufgrund des Druckes eine bessere Schmie-

rung stattfindet und die Hysterese des Pilotventils 14 sinkt. Dadurch reduziert man auch den Einfluss eines gegenphasigen Dithers und die Regeldynamik wird erhöht.

- 5 **[0055]** Fig. 4 zeigt schematisch einen arbeitspunktabhängigen Regelparameter für die Steuerung 20. Bei diesem handelt es sich beispielhaft um einen Verstärkungsfaktor K_p des Reglers 90 für den Ausgangsdruck der Axialkolbenmaschine 2. Der Verstärkungsfaktor K_p wird beispielsweise der Steuerung 20 über das Regelglied 110 zugeführt. Gemäß Fig. 4 kann der Verstärkungsfaktor K_p über ein Regelglied 152 in Abhängigkeit einer Temperatur 154 eines Druckmittels der Druckmittelversorgungsanordnung 1 berechnet werden. Die Temperatur wird beispielsweise über einen Sensor vom Druckmittel in der Druckleitung 24 abgegriffen. Der Verstärkungsfaktor K_p wird dann beispielsweise über ein Kennfeld ermittelt. Alternativ oder zusätzlich kann der Verstärkungsfaktor über ein Regelglied 156 von der Ist-Drehzahl 8 abhängen. Hierbei wird der Verstärkungsfaktor K_p ebenfalls über ein Kennfeld ermittelt. Alternativ oder zusätzlich ist ein Regelglied 158 vorgesehen, über das der Verstärkungsfaktor K_p über den Ist-Ausgangsdruck 52 ermittelbar ist, wobei dies ebenfalls über ein Kennfeld erfolgen kann. Des Weiteren kann alternativ oder zusätzlich der Verstärkungsfaktor K_p über ein Regelglied 160 basierend auf dem Solldruckgradienten 102 ermittelt werden. Der Solldruckgradient 102 kann dabei über ein Regelglied 162 vom Sollausgangsdruck 74 abgeleitet werden. 20 Wird der Verstärkungsfaktor K_p über mehrere Regelglieder 152, 156, 158, 160 ermittelt, so kann er über ein jeweils ausgangsseitiges Regelglied 164 verknüpft werden und dann final als Ausgangsgröße des Regelglieds 164 ausgegeben werden.
- 25 **[0056]** Gemäß Fig. 5 kann alternativ oder zusätzlich zu den in Fig. 4 aufgezeigten Regelgliedern 152, 156, 158, 160 der Verstärkungsfaktor K_p über den Ist-Ausgangsdruck 52 ermittelt werden. Hierfür ist ein Regelglied 166 vorgesehen, bei dem dann der Verstärkungsfaktor K_p basierend auf dem Ist-Ausgangsdruck 52 über ein Kennfeld ermittelt wird. In diesem Fall ist der Verstärkungsfaktor K_p umso größer, je größer der Ist-Ausgangsdruck ist. Der Verstärkungsfaktor K_p kann alternativ oder zusätzlich zum Regler 90 auch für den Regler 88 und/oder 92 eingesetzt sein.
- 30 **[0057]** Denkbar ist auch, dass eine zeitliche Anpassung der Laufzeiten zumindest eines Signals oder eines Teils der Signale oder aller Signale der Regelkreise 94 und 96 aus Fig. 3 vorgesehen ist, wobei insbesondere eine Phasenlage des oder der Signale anpassbar ist. Dies kann beispielsweise über das Regelglied 106 und/oder 120 erfolgen.
- 35 **[0058]** Im Regelglied 150 kann der Vorsteuerwert 144 vorzugsweise modellbasiert unter Berücksichtigung von Strömungskräften beim Pilotventil 14 und/oder einem Magnetcharakteristikum des Aktors 16 und/oder einer Steuerkantencharakteristik des Ventilschiebers des Pilotventils 14 und/oder einer Federsteifigkeit der Ventilfe-

der 22 ermittelt sein.

[0059] Gemäß Fig. 6a ist ein Raupenbagger gezeigt, der gemäß Fig. 6b eine Druckmittelversorgungsanordnung, siehe Fig. 1, aufweist. Dieser hat die Axialkolbenmaschine 2, die von der Antriebseinheit 4 in Form eines Dieselaggregats angetrieben ist. Über das Hauptsteuerventil 26 wird die Druckmittelversorgung zu Hydrozylin dern 168 und 170, zu Hydromaschinen 172, 174 zum Bewegen des Raupenbaggers und zu einem hydraulischen Hilfsantrieb 176 gesteuert. Der Raupenbagger weist hierbei diverse Eingabemittel 178 für einen Bedie ner auf, die an einen CAN-Bus 180 angeschlossen sind. Des Weiteren sind an den CAN-Bus 180 Drucksensoren 182, 184 angeschlossen. Diese greifen den Ist-Ausgangsdruck der Axialkolbenmaschine 2 ab. Eingangs seitig der Hydrozyylinder 168, 170 ist jeweils ein Sicherheitsventil vorgesehen, die bei einem Bruch einer Zulauf leitung die Hydrozyylinder 168, 170 absichern. Über die Steuerung 20 werden, wie obenstehend erläutert, erforderliche Eingangsgrößen erfasst und insbesondere das Pilotventil 14 gesteuert. Außerdem wird das Hauptsteuerventil 26 in Abhängigkeit der über den CAN-Bus 180 erfassten Signale der Eingabemittel 178 gesteuert.

[0060] Fig. 7a zeigt einen Telehandler mit einer der Druckmittelversorgungsanordnung gemäß Fig. 7b. Die se weist zwei Axialkolbenmaschinen 2 und 186 auf, die über eine gemeinsame Triebwelle von der Antriebseinheit 4 in Form eines Dieselaggregats angetrieben sind. Pilotventile der Axialkolbenmaschine 2, 186 werden wie obenstehend erläutert über die Steuerung 20 gesteuert. Die Axialkolbenmaschine 186 dient zur Druckmittelver sorgung einer Radbremse 188, eines Lenksystem 190 und einer Pilotölversorgung 192. Die Pilotölversorgung 192 ist für das Hauptsteuerventil 26 bzw. dem Haupt steuerventilblock vorgesehen. Über diesen wird die Druckmittelversorgung von Hydrozylindern 168, 170, 194, 196 gesteuert. Des Weiteren wird eine eingesetzte Hydromaschine 198 und der hydraulische Hilfsmotor 176 über das Hauptsteuerventil 26 gesteuert. Entsprechend der Ausführungsform in Fig. 6a und 6b sind auch hier Eingabemittel 178 vorgesehen, die durch den CAN-Bus 180 beispielsweise mit der Steuerung 20 verbunden sind. Des Weiteren ist eine Kommunikationseinrichtung 200 vorgesehen, um kabellos, beispielsweise über Funk oder WiFi, eine Kommunikation mit einem Server und/oder mit einem Rechner durchzuführen. Beispielsweise kön nen dann über die Kommunikationseinrichtung 200 Ein gangsgrößen für die Steuerung 20 angepasst werden und/oder eine Software erweitert oder upgedated wer den. Außerdem ist es möglich, Daten über die Kommu nikationseinrichtung 200 zu senden, die Informationen über einen Zustand der Druckmittelversorgungsanord nung 1 beinhalten.

[0061] Gemäß Fig. 8a ist ein Kompaktbagger mit einer Druckmittelversorgungsanordnung gemäß Fig. 8b ge zeigt. Hierbei ist die Axialkolbenmaschine 2 ersichtlich, die von der Antriebseinheit 4 in Form eines Dieselaggregats angetrieben ist. Des Weiteren ist die Steuerung 20

gezeigt, die beispielsweise mit einem Drucksensor 202 verbunden ist, der den Ist-Ausgangsdruck der Axialkolbenmaschine 2 abgreift. Außerdem ist die Steuerung 20 mit einem Drucksensor 204 verbunden, der den höchsten Lastdruck über das Hauptsteuerventil 26 bzw. den Hauptsteuerblock abgreift. Des Weiteren ist die Steuerung 20 mit einem Wegaufnehmer 206 für den Schwenkwinkel der Schrägscheibe der Axialkolbenmaschine 2 mit der Steuerung 20 verbunden. Außerdem ist das Pilot ventil 14 mit der Steuerung 20 verbunden. An das Haupt steuerventil 26 sind fünf Hydrozyylinder 208 angeschlos sen. Des Weiteren sind die Hydromaschinen 172, 174 und der hydraulische Hilfsmotor 176 angeschlossen. Optional kann die Pilotölversorgung 192 vorgesehen sein. Eingabemittel 178 können hydraulisch beispielsweise das Hauptsteuerventil 26 steuern oder über den CAN Bus 180 mit der Druckmittelversorgungsanordnung ver bunden sein.

[0062] Gemäß Fig. 9a und 9b ist die Einsatzmöglich keit der Druckmittelversorgungsanordnung 1 aus Fig. 1 für ein Lüftersystem gezeigt. Gemäß Fig. 9a ist die Axial kolbenmaschine 2 vorgesehen, die über die Antriebseinheit 4, beispielsweise in Form eines Dieselaggregats, angetrieben ist. Über den Drucksensor 50 wird der Ist Ausgangsdruck der Axialkolbenmaschine 2 abgegriffen. Über die Axialkolbenmaschine 2 wird ein Lüftermotor in Form einer Hydromaschine 210 angetrieben. Diese wiederum treibt Flügel 212 an, um einen Luftstrom zu erzeu gen. Über den Luftstrom wird dann Kühlmittel eines Kühl kreislaufes gekühlt. Über die Steuerung 20 kann das Pi lotventil 14 gesteuert werden. Der Steuerung 20 können beispielsweise über den CAN-Bus 180 eine oder mehrere über Sensoren abgegriffene Temperaturen zuge führt werden. Die Temperatur kann beispielsweise eine Temperatur des Kühlmittels in einer Kühlmittelleitung 214 und/oder eine Temperatur der Antriebseinheit 4 und/oder eine Temperatur des Druckmittels. Denkbar ist auch, der Steuerung 20 weitere Eingangsgrößen zuzu führen, wie obenstehend erläutert.

40

Patentansprüche

1. Hydraulische Druckmittelversorgungsanordnung, für einen offenen hydraulischen Kreis, mit einer Hydromaschine (2), mit einem Verstellmechanismus (12), der einen Stellzylinder (34) mit einem Stellkolben (36) zum Verstellen eines Fördervolumens der Hydromaschine (2) aufweist und der ein elektrisch proportional ansteuerbares Pilotventil (14) aufweist, wobei über das Pilotventil (14) ein Zufluss und/oder ein Abfluss in einem vom Stellkolben (36) begrenzten Steuerraum (32) des Stellzylinders (34) steuerbar ist, um den Stellkolben (36) zum Ansteuern mit Druckmittel zu beaufschlagen, und wobei eine elektronische Steuerung (20) vorgesehen ist, die als Eingangsgrößen zumindest einen Soll-Ausgangsdruck (74) der Hydromaschine (2) und/oder ein Soll-För

- dervolumen oder Soll-Schwenkwinkel (70) der Hydromaschine (2) und die als Ausgangsgröße eine Stellgröße für das Pilotventil (14) aufweist, wobei die Steuerung (20) einen ersten Regelkreis (60) für einen Ist-Ausgangsdruck (52) der Hydromaschine (2) und/oder für ein Ist-Fördervolumen oder Ist-Schwenkwinkel (40) der Hydromaschine (2) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (20) einen dem ersten Regelkreis (60) unterlagerten zweiten Regelkreis (62) für eine Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit oder Schwenkwinkel-Verstellgeschwindigkeit der Hydromaschine (2) aufweist, der als Eingangsgröße eine Ist-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit oder Ist-Schwenkwinkel-Verstellgeschwindigkeit (84) der Hydromaschine und der als Ausgangsgröße die Stellgröße (18) für das Pilotventil (14) aufweist, wobei dem zweiten Regelkreis (62) ein Stellwert (82) aus dem ersten Regelkreis (60) in Form einer Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit oder Soll-Schwenkwinkel-Verstellgeschwindigkeit (82) zugeführt ist.
2. Druckmittelversorgungsanordnung nach Anspruch 1, wobei der erste Regelkreis (60) der Steuerung (20) für ein Ist-Drehmoment (8) der Hydromaschine (2) ausgebildet ist, und wobei als Eingangsgröße für die Steuerung (20) ein Soll-Drehmoment (76) und das Ist-Drehmoment (8) vorgesehen ist.
3. Druckmittelversorgungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der erste Regelkreis (60) für den Ist-Ausgangsdruck (52) der Hydromaschine (2) und/oder für das Ist-Fördervolumen oder Ist-Schwenkwinkel (40) der Hydromaschine (2) jeweils eine Stellgröße ausgibt, wobei die Steuerung (20) eine ablösende Regelung aufweist, die einen Minimalwertbildner (80) für die ausgegebenen Stellgrößen (72, 75, 78) hat.
4. Druckmittelversorgungsanordnung nach Anspruch 3, wobei der erste Regelkreis (60) für den Ist-Ausgangsdruck (52) der Hydromaschine (2) und/oder für das Ist-Fördervolumen oder Ist-Schwenkwinkel (40) der Hydromaschine (2) und/oder für das Ist-Drehmoment (8) der Hydromaschine (2) einen Regler (110) mit einem I-Anteil hat, wobei bei Nicht-aktivität des den I-Anteil aufweisenden Reglers (110) oder der den I-Anteil aufweisenden Regler (110) der I-Anteil eingefroren oder teilweise oder vollständig reduziert ist.
5. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei ein Soll-Druckgradient (102) zur Regelung des Ist-Ausgangsdrucks (52) im ersten Regelkreis (60) als Eingangsgröße vorgesehen ist.
6. Druckmittelversorgungsanordnung nach Anspruch 5, wobei der Soll-Druckgradient (102) zur Anpassung der Regeldynamik der Druckmittelversorgungsanordnung verstellbar ist.
7. Druckmittelversorgungsanordnung nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Soll-Druckgradient (102) zur Begrenzung der Änderung des Soll-Ausgangsdrucks eingesetzt ist.
8. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe oder Schwenkwinkel-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe (130) als Eingangsgröße für die Steuerung (20) vorgesehen ist, die zur Anpassung der Regeldynamik der Druckmittelversorgungsanordnung verstellbar ist.
9. Druckmittelversorgungsanordnung nach Anspruch 8, wobei die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe oder Schwenkwinkel-Verstellgeschwindigkeit (130) einem Regelglied (128) zugeführt ist, das als weitere Eingangsgröße den Stellwert des ersten Regelkreises (60) in Form der Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit oder Soll-Schwenkwinkel-Verstellgeschwindigkeit (82) aufweist, und wobei das Regelglied (128) als Ausgangsgröße eine endgültige Soll-Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit (132) für den zweiten Regelkreis (96) ausgibt, die durch die Fördervolumen-Verstellgeschwindigkeit-Vorgabe (130) begrenzt ist.
10. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der höchste Ist-Lastdruck (56) von Verbrauchern (168, 170), die von der Druckmittelversorgungsanordnung versorgt sind, als Ist-Loadsensing-(LS)-Druck (56) erfasst ist und der Steuerung (20) als Eingangsgröße zugeführt ist, und wobei eine Soll-Druckdifferenz (100) als Eingangsgröße für die Steuerung (20) vorgesehen ist, wobei aus dem Ist-LS-Druck (56) und der Soll-Druckdifferenz (100) ein Soll-Druck für die Steuerung (20) ermittelt ist, der als Eingangsgröße für den ersten Regelkreis (60) vorgesehen ist, und/oder wobei Ist-LS-Drücke (56) von einem Teil der Verbraucher (168, 170) oder von allen Verbrauchern (168, 170) über entsprechende Mittel erfasst sind, und wobei eine Maximalwertbildung oder eine Priorisierung der Ist-LS-Drücke (56) in der Steuerung (20) erfolgt.
11. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Filter (99, 112, 114, 126, 138) für zumindest eine Eingangsgröße oder für einen Teil der Eingangsgrößen oder für alle Eingangsgrößen der Steuerung (20) vorgesehen ist.

12. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein oder ein jeweiliger Verstärkungsfaktor (K_p) für den ersten Regelkreis (60) für die Regelung des Ist-Ausgangsdrucks (52) der Hydromaschine (2) und/oder für die Regelung des Ist-Fördervolumens (40) der Hydromaschine (2) und/oder die Regelung des Ist-Drehmoments (8) der Hydromaschine (2) vorgesehen ist, wobei der Verstärkungsfaktor (K_p) abhängig von einer Ist-Temperatur (154) und/oder von der Ist-Drehzahl (8) der Hydromaschine (2) und/oder von dem Ist-Ausgangsdruck (52) der Hydromaschine (2) und/oder von dem Soll-Druckgradienten (102) der Hydromaschine (2) ist.

15

13. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Neutralstrom des Pilotventils (14) vorgesteuert ist.

14. Druckmittelversorgungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Ventilschieber des Pilotventils (14) derart angesteuert ist, dass dieser zeitweise oder ständig eine axiale Schwingbewegung ausführt, wobei die Frequenz und Amplitude der Schwingbewegung abhängig vom Ist-Ausgangsruck steuerbar ist

20

15. Verfahren mit einer hydraulischen Druckmittelversorgungsanordnung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mit dem ersten und zweiten Regelkreis (60, 62) das Pilotventil (14) gesteuert ist.

25

30

35

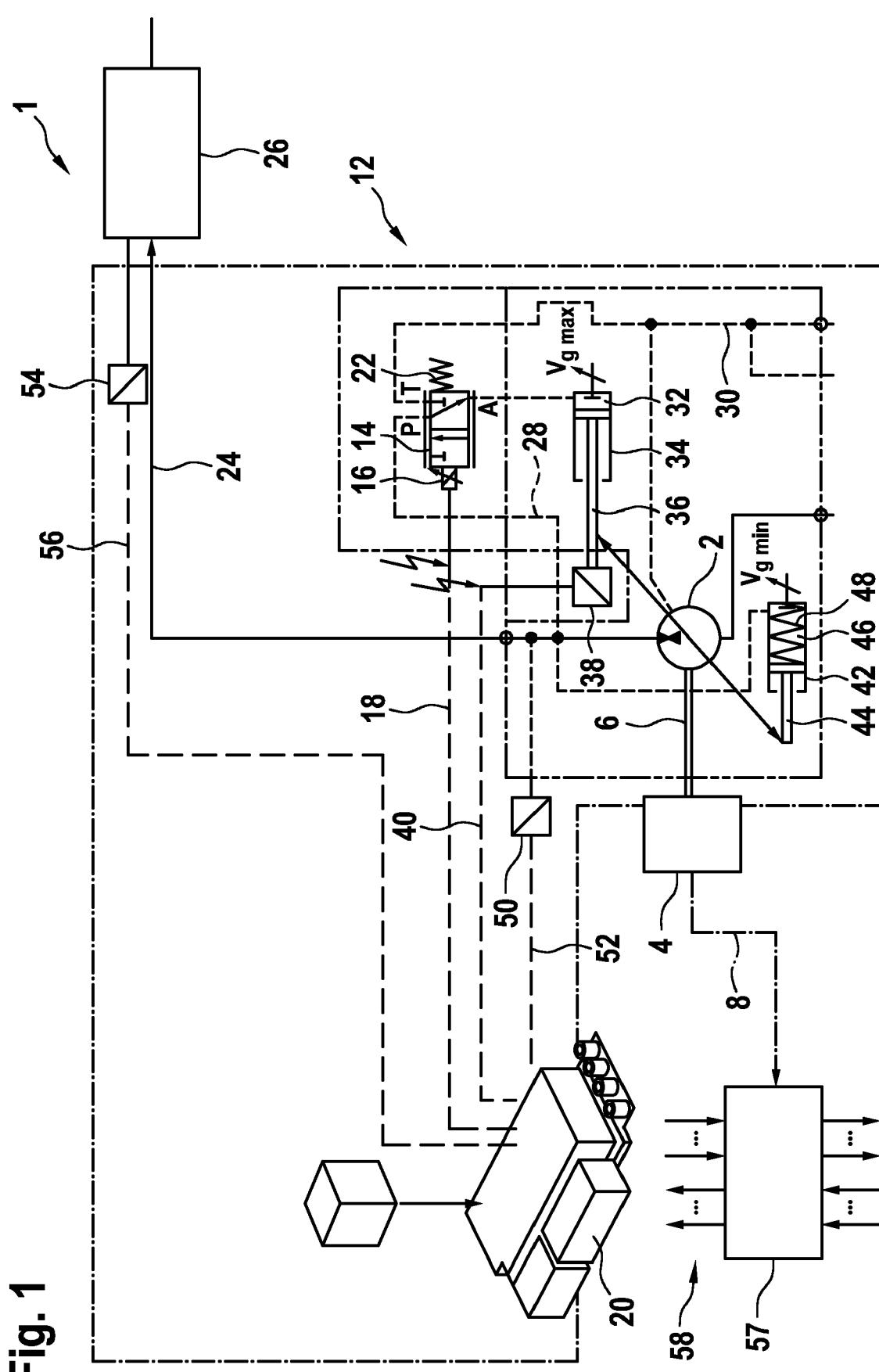
40

45

50

55

13



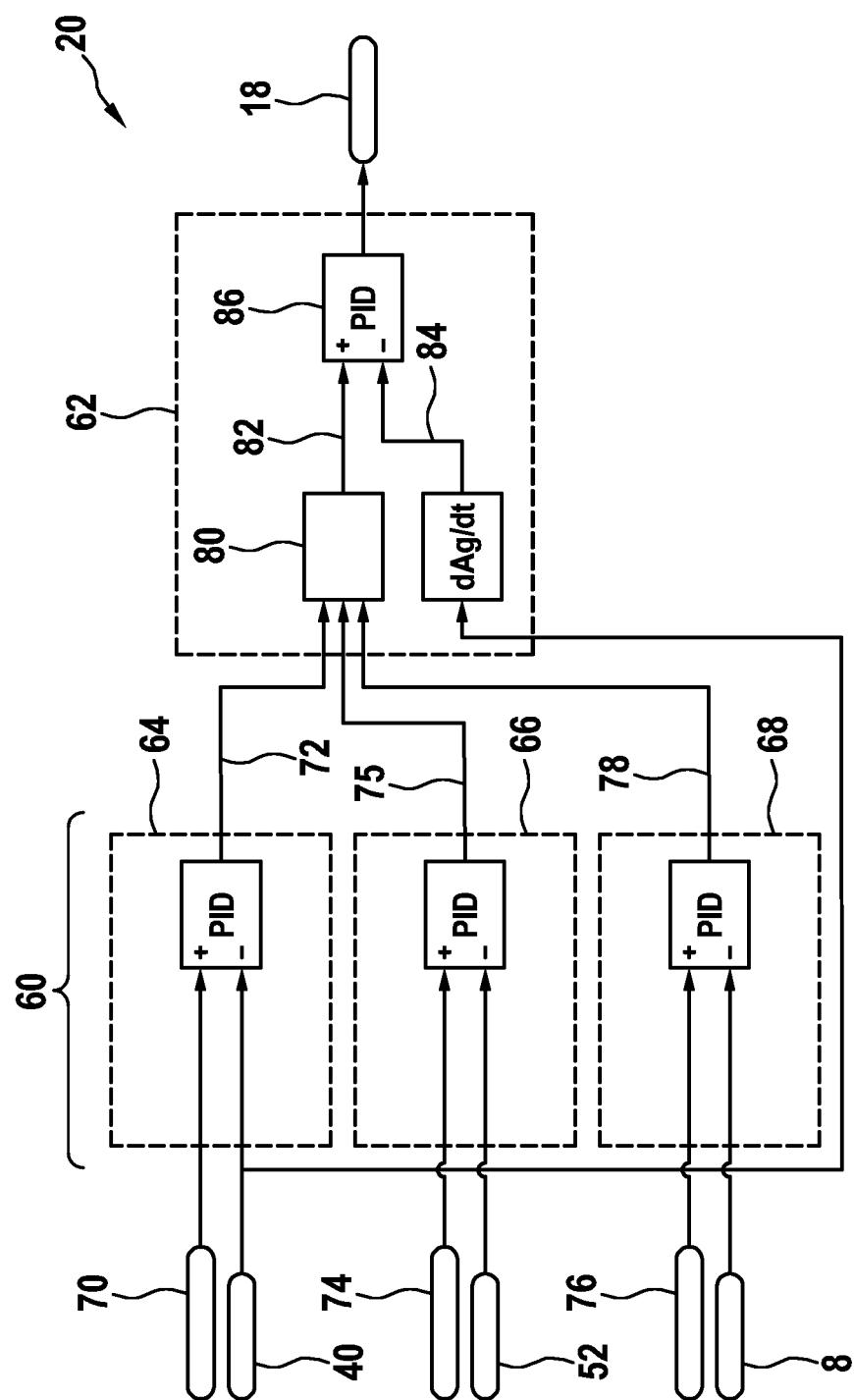


Fig. 2

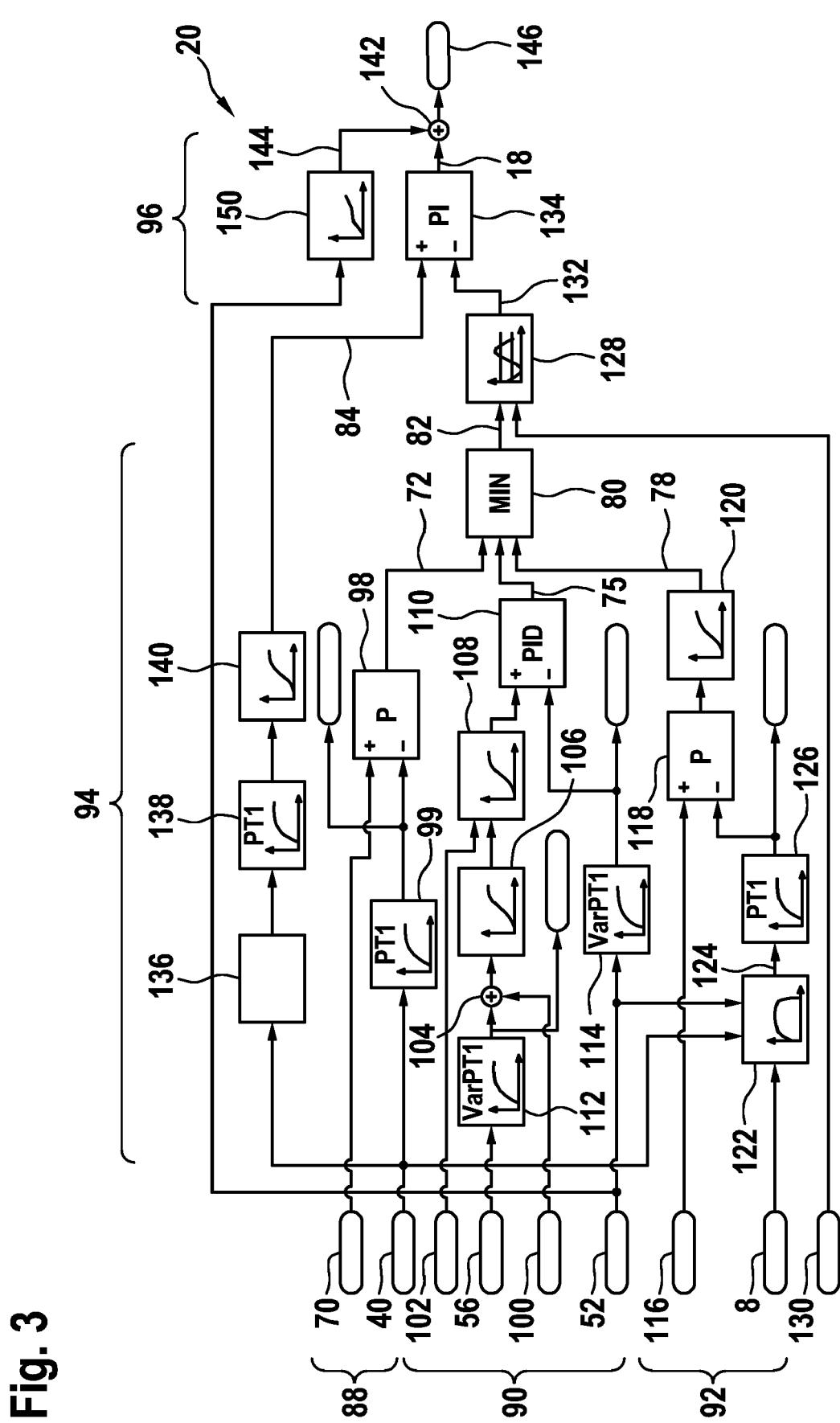


Fig. 4

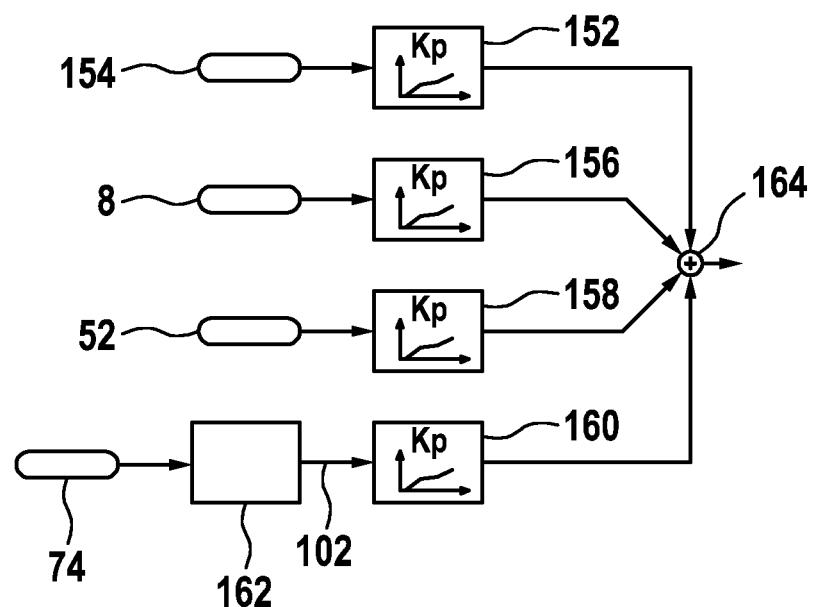


Fig. 5

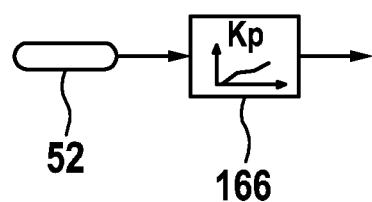


Fig. 6a

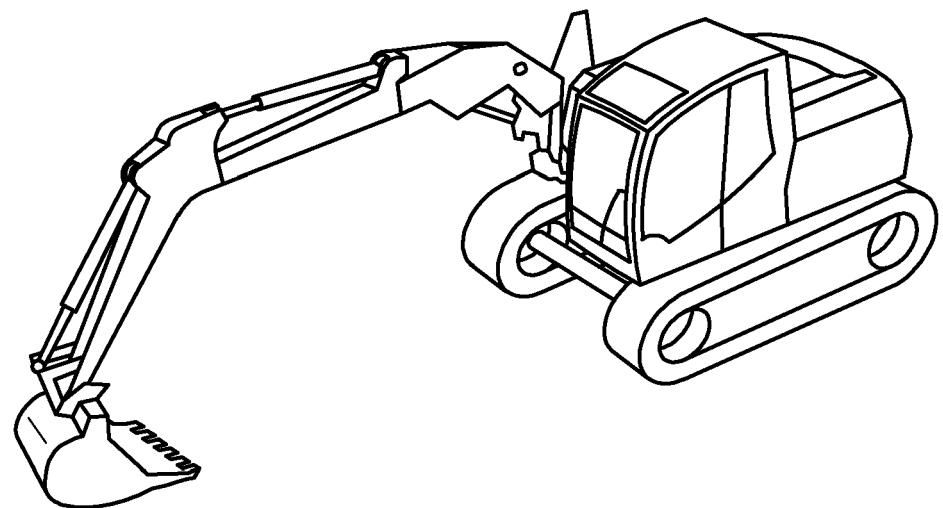


Fig. 6b

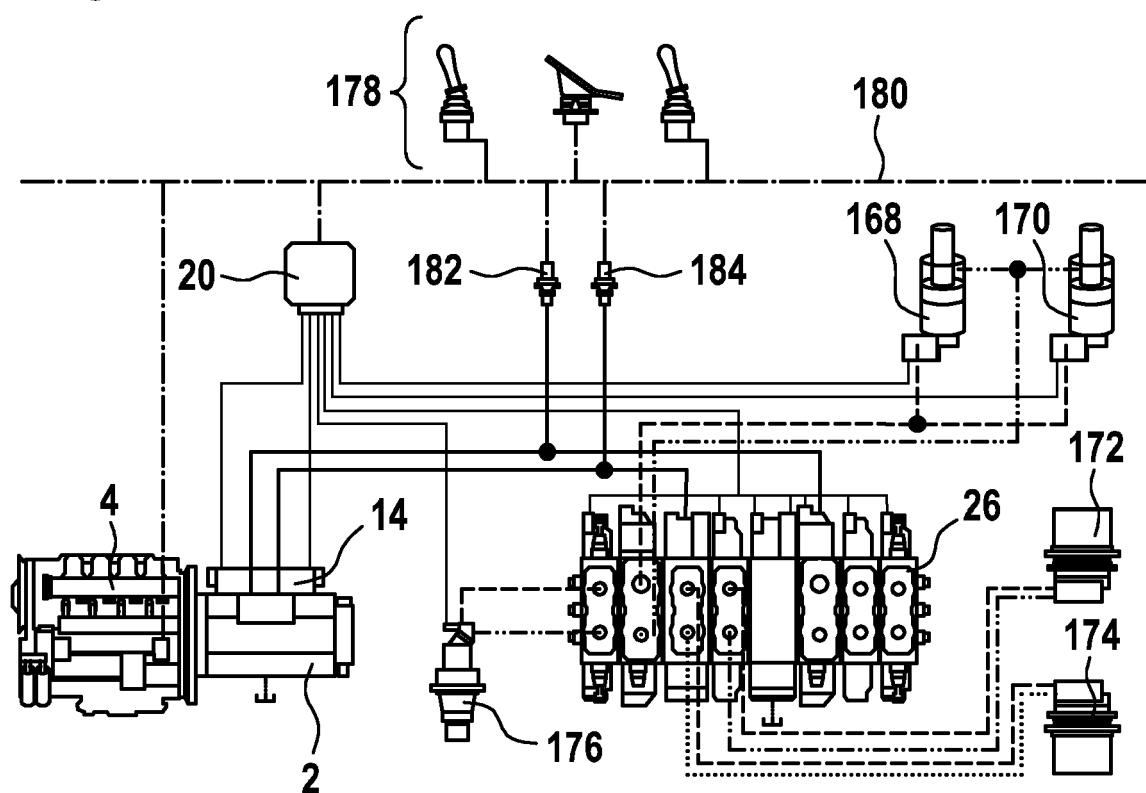


Fig. 7a

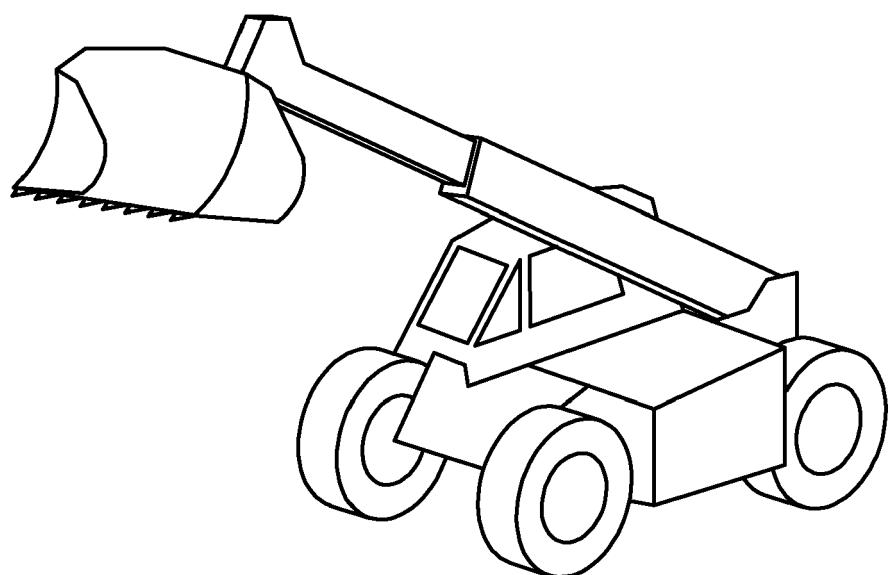


Fig. 7b

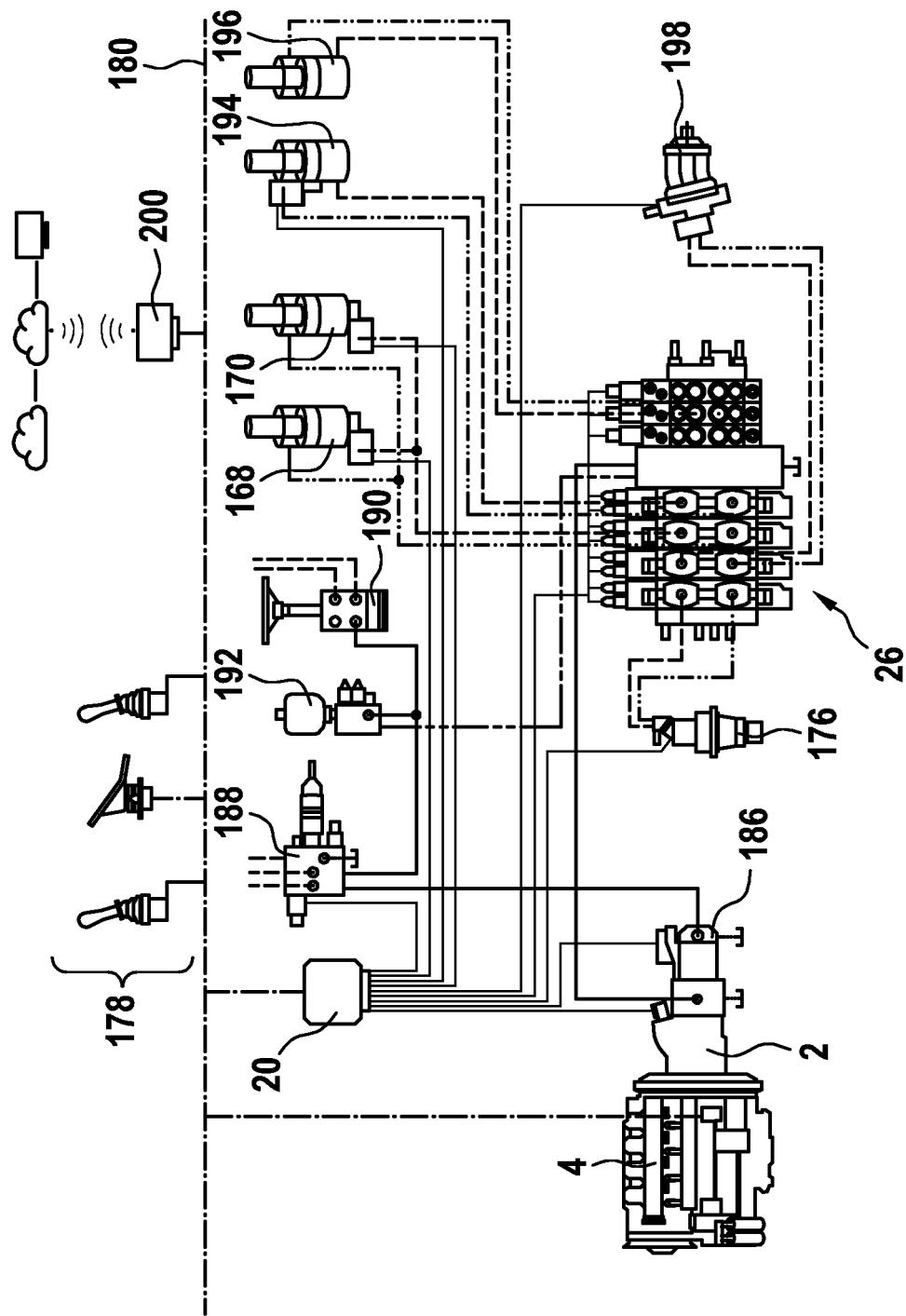
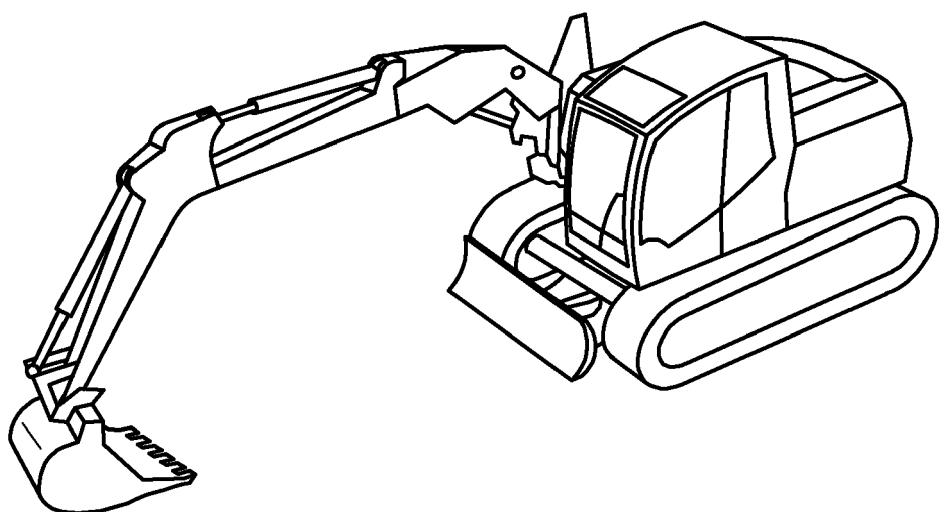


Fig. 8a



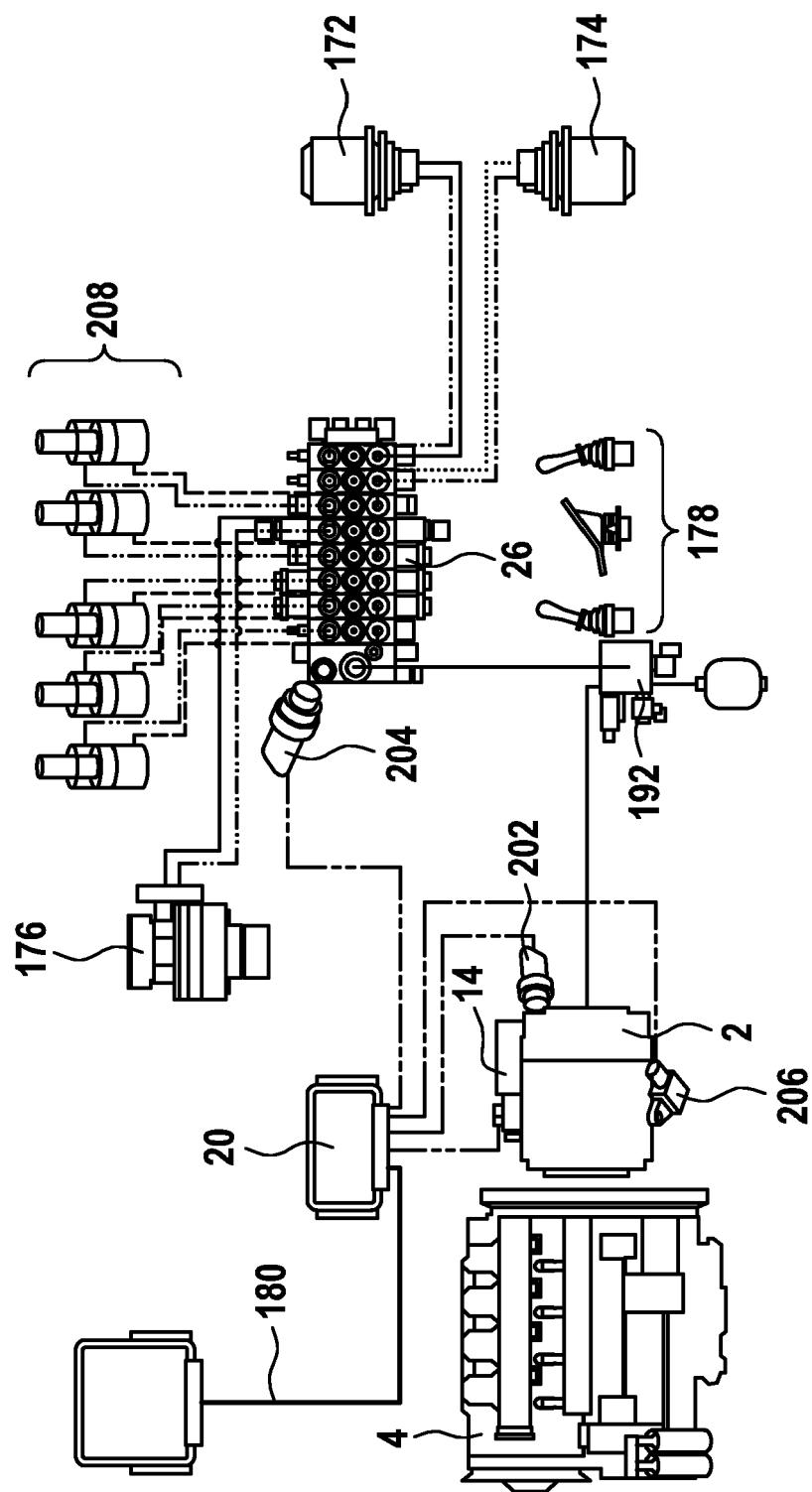


Fig. 8b

Fig. 9a

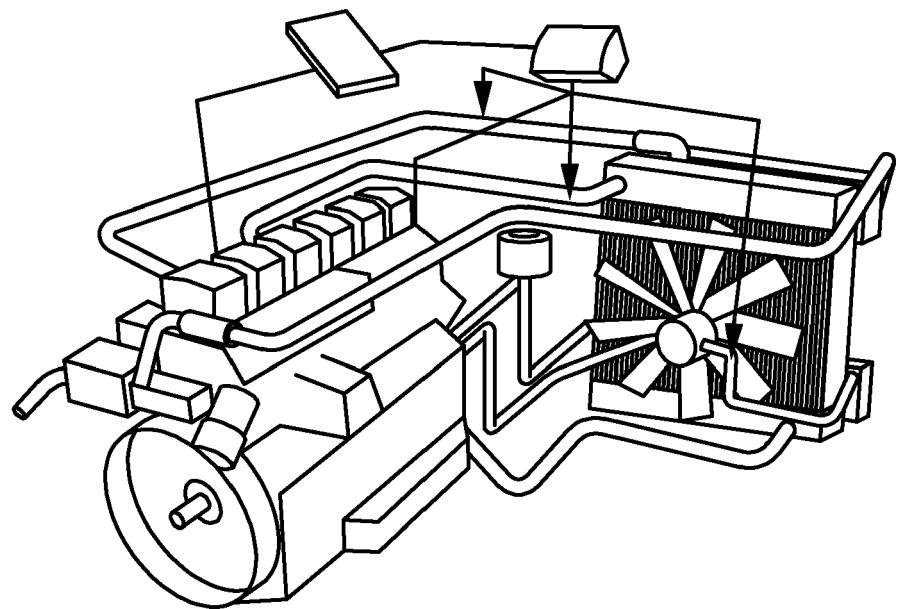
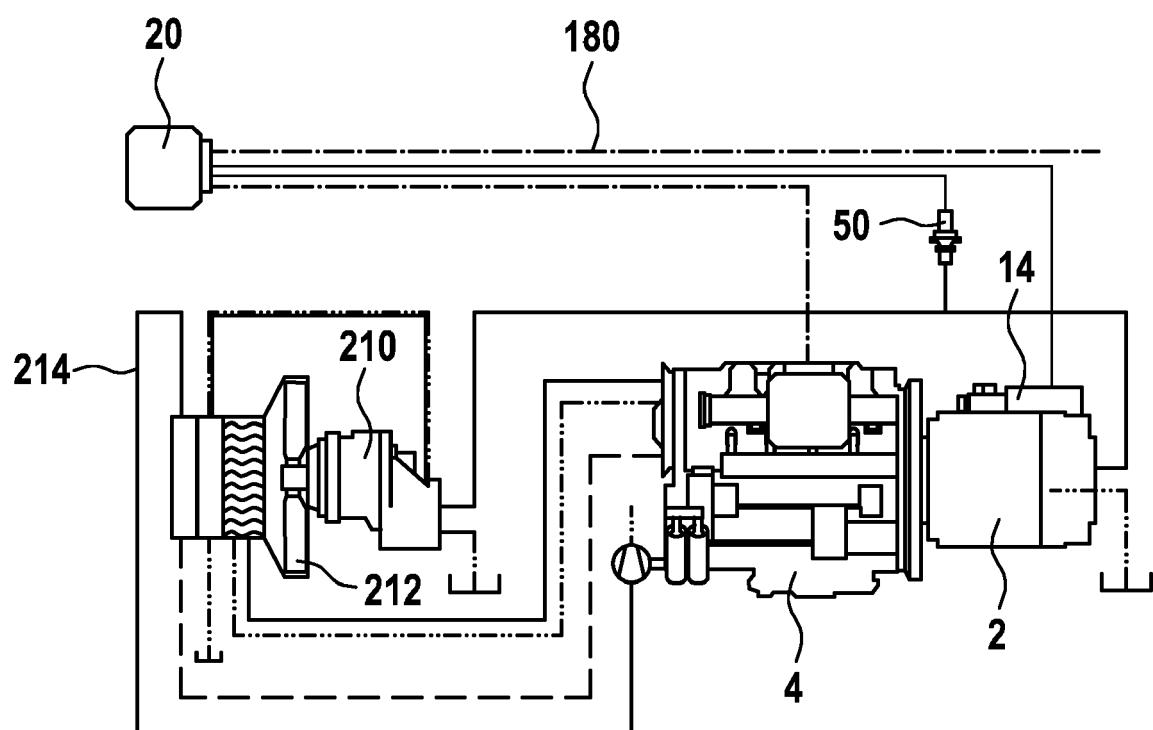


Fig. 9b





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 18 6955

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	Y,D EP 1 460 505 A2 (BOSCH REXROTH AG [DE]) 22. September 2004 (2004-09-22) A * Absätze [0008], [0019] - [0021] * ----- Y DE 103 52 851 A1 (ATLAS FAHRZEUGTECHNIK GMBH [DE]) 23. Juni 2005 (2005-06-23) * Seite 2, Absatz 2 * ----- Y EP 0 381 784 A1 (VICKERS SYSTEMS GMBH [DE]) 16. August 1990 (1990-08-16) * Spalte 3, Zeile 43 - Spalte 4, Zeile 4 * ----- A DE 10 2016 222139 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17. Mai 2018 (2018-05-17) * Absätze [0010], [0045] * ----- A DE 35 32 931 A1 (REXROTH MANNESMANN GMBH [DE]) 16. April 1987 (1987-04-16) * Spalte 3, Zeile 14; Abbildung 4 * ----- 	1-7,11, 15 8-10, 12-14 1-7,11, 15 1 1 1	INV. F04B1/295 F04B1/32 F04B49/00 F04B49/06
15			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
20			F04B
25			
30			
35			
40			
45			
50	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 14. Oktober 2020
55	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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	Prüfer Ziegler, Hans-Jürgen

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

EP 20 18 6955

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente 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.

14-10-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 1460505 A2	22-09-2004	DE EP	10312698 A1 1460505 A2	30-09-2004 22-09-2004
15	DE 10352851 A1	23-06-2005	DE EP JP US WO	10352851 A1 1682751 A2 2007530846 A 2007125331 A1 2005047657 A2	23-06-2005 26-07-2006 01-11-2007 07-06-2007 26-05-2005
20	EP 0381784 A1	16-08-1990		KEINE	
25	DE 102016222139 A1	17-05-2018	CN DE US	108071568 A 102016222139 A1 2018135605 A1	25-05-2018 17-05-2018 17-05-2018
30	DE 3532931 A1	16-04-1987	DE JP US	3532931 A1 S6267305 A 4901624 A	16-04-1987 27-03-1987 20-02-1990
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1460505 A2 [0003]
- EP 2851565 B1 [0004]
- US 4801247 A [0004]
- US 5182908 A [0004]
- EP 0349092 B1 [0004]
- US 5267441 A [0004]
- US 5967756 A [0004]
- US 5170625 A [0004]