



(11)

**EP 3 556 969 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**23.10.2019 Patentblatt 2019/43**

(51) Int Cl.:  
**E04G 21/04 (2006.01) B66C 13/06 (2006.01)**  
**B25J 9/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **19167399.5**

(22) Anmeldetag: **04.04.2019**

(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**

(72) Erfinder:  
• **Wanner, Julian**  
**70195 Stuttgart (DE)**  
• **Sawodny, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Oliver**  
**70186 Stuttgart (DE)**

(30) Priorität: **17.04.2018 DE 102018109057**

(74) Vertreter: **Behr, Wolfgang**  
**Lorenz Seidler Gossel**  
**Rechtsanwälte Patentanwälte**  
**Partnerschaft mbB**  
**Widenmayerstraße 23**  
**80538 München (DE)**

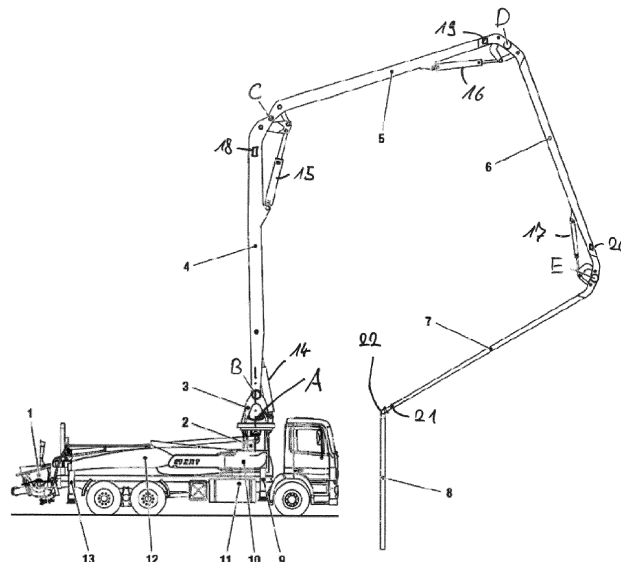
(71) Anmelder: **Liebherr-Mischtechnik GmbH**  
**88427 Bad Schussenried (DE)**

(54) **BETONPUMPE**

(57) Die vorliegende Erfindung zeigt eine Betonpumpe, insbesondere Autobetonpumpe, mit einer Förderpumpe, einer Betonleitung und einem einen Verteilermast bildenden Gelenkarm, an welchem die Betonleitung entlang geführt ist, wobei der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und/oder mindestens ein mittels eines Gelenkes um eine horizontale Achse verschwenkbares Segment aufweist, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und/oder das mindestens ein Segment über einen Aktuator um die horizontale Achse ver-

schwenkbar ist, wobei die Betonpumpe weiterhin eine Steuerung zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilermastes aufweist, wobei die Steuerung eine Störgrößenaufschaltung zur Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilermastes umfasst. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass die Störgrößenaufschaltung auf Grundlage eines physikalischen Modells der Betonförderung erfolgt, welches die strömungsbedingten Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilermast beschreibt.

Fig. 1



**EP 3 556 969 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Betonpumpe mit einer Förderpumpe, einer Betonleitung und einem einen Verteilermast bildenden Gelenkarm, an welchem die Betonleitung entlang geführt ist, wobei der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und/oder mindestens ein mittels eines Gelenkes um eine horizontale Achse verschwenkbares Segment aufweist, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und/oder das mindestens eine Segment über einen Aktuator um die horizontale Achse verschwenkbar ist, wobei die Betonpumpe weiterhin eine Steuerung zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilermastes aufweist, wobei die Steuerung eine Störgrößenaufschaltung zur Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilermastes umfasst. Insbesondere handelt es sich bei der Betonpumpe um eine Autobetonpumpe.

**[0002]** Der relevante Stand der Technik wird im einleitenden Abschnitt der Figurenbeschreibung im Detail erläutert. Insbesondere zeigt die DE 101 01 570 B4 eine Störgrößenaufschaltung kombiniert mit einer rückführungsbasierten Schwingungsdämpfung nach dem Prinzip eines virtuellen Feder-Dämpfer-Elements, durch welches ein Hydraulikzylinder des Gelenkarms beschrieben werden soll. Die Störgrößenaufschaltung soll anhand von Druck- oder Strömungssensoren in der Förderleitung erfolgen.

**[0003]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Betonpumpe mit einer verbesserten Störgrößenaufschaltung zur Verfügung zu stellen.

**[0004]** Diese Aufgabe wird in einem ersten Aspekt durch eine Betonpumpe gemäß Anspruch 1 und in einem zweiten Aspekt durch eine Betonpumpe gemäß Anspruch 10 gelöst.

**[0005]** Bevorzugte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0006]** In einem ersten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung eine Betonpumpe mit einer Förderpumpe, einer Betonleitung und einem einen Verteilermast bildenden Gelenkarm, an welchem die Betonleitung entlang geführt ist, wobei der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und/oder mindestens ein mittels eines Gelenkes um eine horizontale Achse verschwenkbares Segment aufweist, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und/oder das mindestens eine Segment über einen Aktuator um die horizontale Achse verschwenkbar ist, und wobei die Betonpumpe weiterhin eine Steuerung zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilermastes aufweist, wobei die Steuerung eine Störgrößenaufschaltung zur Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilermastes umfasst. Der erste Aspekt ist dadurch gekennzeichnet, dass die Störgrößenaufschaltung auf Grundlage eines physikalischen Modells der Betonförderung erfolgt, welches die strömungsbedingten Störkräfte der Betonförderung auf den

Verteilermast beschreibt. Durch den Einsatz des physikalischen Modells und die darauf basierende Bestimmung der Störkräfte auf den Verteilermast ergibt sich eine erheblich verbesserte Verminderung von durch die Betonförderung induzierten Schwingungen.

**[0007]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschreibt das physikalische Modell Reibungskräfte des Betons an der Innenwand der Betonleitung und/oder Trägheitskräfte aufgrund der Betonstromumlenkung in den Rohrbögen. Diese beiden Kräfte bestimmen wesentlich die auf den Gelenkarm wirkenden Störkräfte.

**[0008]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geht mindestens ein Betriebsparameter der Förderpumpe und/oder Betonförderung in die Störgrößenaufschaltung ein. Hierbei kann es sich beispielsweise um einen oder mehrere der folgenden Betriebsparameter handeln: Betondruck, Pumpfrequenz, Zylindergergeschwindigkeit der Zylinder der Förderpumpe und/oder die Zylinderposition der Zylinder der Förderpumpe.

**[0009]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung berücksichtigt das physikalische Modell der Betonförderung die aktuelle Stellung des Verteilermastes und insbesondere die Knickwinkel der Gelenke.

**[0010]** Bevorzugt erfolgt eine Ermittlung der aktuellen Stellung des Verteilermastes auf Grundlage von den Drehgelenken zugeordneten Sensoren zur mittelbaren oder unmittelbaren Messung des jeweiligen Drehwinkels der Gelenke des Gelenkarms.

**[0011]** Bevorzugt erfolgt die Bestimmung der Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilermast ohne eine Messung des Schwingungszustands des Verteilermastes oder der Segmente.

**[0012]** Bevorzugt gehen die Stellung des Verteilermastes und insbesondere die Knickwinkel der Gelenke in die Beschreibung der Betonstromumlenkung durch das physikalische Modell ein. Alternativ oder zusätzlich kann das physikalische Modell den hydrostatischen Druckverlust der Strömung unter Berücksichtigung der aktuellen Stellung des Verteilermastes berücksichtigen.

**[0013]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mindestens eine in die Modellierung durch das physikalische Modell eingehende Stoffeigenschaft des gepumpten Fluids aus Betriebsparametern der Förderpumpe und/oder der Betonförderung bestimmt wird. Hierdurch kann die Genauigkeit des Modells verbessert werden.

**[0014]** Bevorzugt wird zumindest die Viskosität des gepumpten Fluids bestimmt, insbesondere aus dem Betondruck und der Strömungsgeschwindigkeit des Betons.

**[0015]** Die Dichte des gepumpten Fluids kann durch den statischen Betondruck ermittelt werden. Alternativ kann für die Dichte des gepumpten Fluids dagegen auf einen abgespeicherten Mittelwert für die Dichte von Beton zurückgegriffen werden.

**[0016]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beruht die Störgrößenaufschaltung

weiterhin auf einem physikalischen Modell des Verteilermastes, welches mit dem physikalischen Modell der Betonförderung gekoppelt ist, um den Einfluss der durch das physikalische Modell der Betonförderung bestimmten Störkräfte auf den gesamten Verteilermast zu bestimmen.

**[0017]** Bevorzugt berücksichtigt das hierfür eingesetzte physikalische Modell des Verteilermastes die elastische Verformung mindestens eines der Segmente.

**[0018]** Gemäß der vorliegenden Erfindung erfolgt die Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilermastes durch die Störgrößenaufschaltung durch eine Ansteuerung der Aktoren des Gelenkarms.

**[0019]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt die Störgrößenaufschaltung als eine Vorsteuerung ohne eine Rückführung des dynamischen Zustands des Verteilermastes. Dies vereinfacht die Ansteuerung. Bevorzugt erfolgt die Vorsteuerung auf Grundlage einer Regelung eines virtuellen Modells des Verteilermastes. Bevorzugt regelt die Störgrößenaufschaltung das virtuelle Modell des Verteilermastes, welches im Rahmen der Bestimmung der Störkräfte mit dem Modell der Betonförderung gekoppelt ist. Insbesondere kann diese Regelung so erfolgen, dass der Einfluss der Störkräfte an mindestens einer Stelle des Gelenkarms ausgeglichen wird.

**[0020]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung steuert die Störgrößenaufschaltung die Aktoren des Gelenkarms so an, dass der Einfluss der Störkräfte auf die Spitze des Verteilermastes verringert und bevorzugt eliminiert wird.

**[0021]** Bei der Förderpumpe handelt es sich bevorzugt um eine Doppelkolbenpumpe. Eine solche Doppelkolbenpumpe umfasst zwei Kolben, welche im Gegentakt arbeiten, um den Beton zu fördern. Solche Förderpumpen sind bekannt.

**[0022]** Die Dämpfung induzierter Schwingungen durch die Störgrößenaufschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung beruht auf einer Ansteuerung der Aktoren des Gelenkarms.

**[0023]** Die Ansteuerung der Förderpumpe erfolgt dagegen bevorzugt unabhängig von der Störgrößenaufschaltung. Insbesondere kann die Störgrößenaufschaltung allein auf einer Ansteuerung der Aktoren des Gelenkarms beruhen.

**[0024]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Steuerung neben der Störgrößenaufschaltung weiterhin eine Regelung, welche auf einer Messung und/oder Rückführung der Stellung und/oder des Schwingungszustands des Verteilermastes beruht.

**[0025]** Insbesondere umfasst die Regelung eine Schwingungsdämpfung zur Dämpfung von horizontalen und/oder vertikalen Schwingungen des Verteilermastes, welche auf einer Messung und/oder Rückführung der Stellung und des Schwingungszustands des Verteilermastes beruht. Insbesondere kann die Schwingungs-

dämpfung so ausgestaltet sein, dass sie Eigenschwingungen des Verteilermastes dämpft.

**[0026]** Bevorzugt beruht die Schwingungsdämpfung auf einem physikalischen Modell des Verteilermastes. Insbesondere kann es sich bei diesem physikalischen Modell um das gleiche Modell handeln, welches auch zur Bestimmung des Einflusses der Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilermast dient.

**[0027]** Bevorzugt ist die Regelung und/oder Schwingungsdämpfung so ausgeführt, dass sie nur dann eingreift, wenn der Zustand des Verteilermastes von dem Zustand des virtuellen Modells abweicht, welches im Rahmen der Störgrößenaufschaltung geregelt wird.

**[0028]** In einem zweiten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung eine Betonpumpe mit einer Förderpumpe, einer Betonleitung und einem einen Verteilermast bildenden Gelenkarm, an welchem die Betonleitung entlang geführt ist, wobei der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und/oder mindestens ein mittels eines Gelenkes um eine horizontale Achse verschwenkbares Segment aufweist, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und/oder das mindestens eine Segment über einen Aktuator um die horizontale Achse verschwenkbar ist, und wobei die Betonpumpe weiterhin eine Steuerung zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilermastes aufweist, wobei die Steuerung eine Störgrößenaufschaltung zur Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilermastes umfasst, welche den Betondruck berücksichtigt. Der zweite Aspekt ist dadurch gekennzeichnet, dass die Störgrößenaufschaltung den Betondruck am Eingang der Betonleitung auf Grundlage von Betriebsparametern der Förderpumpe bestimmt.

**[0029]** Die erfindungsgemäße indirekte Bestimmung des Betondrucks auf Grundlage von Betriebsparametern der Förderpumpe hat den erheblichen Vorteil, dass auf extrem verschleißanfällige Drucksensoren an der Betonleitung verzichtet werden kann.

**[0030]** Bevorzugt erfolgt die Bestimmung des Betondrucks am Eingang der Betonleitung auf Grundlage des Hydraulikdrucks der Förderzylinder der Förderpumpe und dem Kolbenflächenverhältnis der Förderpumpe. Der Betondruck kann hierdurch anhand von einem im Hydrauliksystem der Förderpumpe zuverlässig bestimmbarer Messwert bestimmt werden.

**[0031]** Der erste und der zweite Aspekt der vorliegenden Erfindung können jeweils unabhängig voneinander zum Einsatz kommen. Insbesondere kann die auf Grundlage eines physikalischen Modells der Betonförderung erfolgende Störgrößenaufschaltung gemäß dem ersten Aspekt auch ohne eine gemäß dem zweiten Aspekt erfolgende Bestimmung des Betondrucks erfolgen. Weiterhin kann eine gemäß dem zweiten Aspekt erfolgende Bestimmung des Betondrucks auch bei einer Störgrößenaufschaltung zum Einsatz kommen, welche auf einem anderen Prinzip beruht als die Störgrößenaufschaltung gemäß dem ersten Aspekt.

**[0032]** Bevorzugt werden der erste und der zweite Aspekt jedoch in Kombination eingesetzt.

**[0033]** Bevorzugte Weiterbildungen einer Betonpumpe gemäß dem ersten und/oder zweiten Aspekt werden im folgenden näher dargestellt.

**[0034]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung berücksichtigt die Störgrößenaufschaltung die Frequenz der Förderpumpe und/oder die Position und/oder Geschwindigkeit der Förderkolben der Förderpumpe. Auch hier handelt es sich um einfach zugängliche Betriebsparameter der Förderpumpe, welche entweder durch Messung, oder aus der Ansteuerung der Förderpumpe ermittelbar sind, und aus welchen Betriebsgrößen der Betonförderung ermittelbar sind.

**[0035]** Insbesondere kann die Störgrößenaufschaltung die Strömungsgeschwindigkeit des Betons in der Betonleitung aus der Geschwindigkeit der Förderkolben der Förderpumpe ermitteln. Dieses Merkmal der vorliegenden Erfindung kann auch unabhängig vom ersten und vom zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen, insbesondere als Weiterbildung einer Betonpumpe gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

**[0036]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Betonpumpe mindestens einen Drehratensensor, welcher auf einem Segment des Gelenkarms angeordnet ist, wobei die Steuerung zur Störgrößenaufschaltung und/oder Schwingungsdämpfung auf Grundlage der Messwerte des Drehratensensors aus den Schwingungen der einzelnen Segmente einen Schwingungszustand des gesamten Verteilermastes bestimmt.

**[0037]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Betonpumpe mindestens einen Drehratensensor, welcher auf einem Segment des Gelenkarms angeordnet ist, wobei die Steuerung zur Störgrößenaufschaltung und/oder Schwingungsdämpfung ohne die Verwendung geodätischer Sensoren und/oder Deformationssensoren erfolgt.

**[0038]** In einer möglichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Betonpumpe mindestens einen Drehratensensor, welcher in einem vorderen Bereich eines Segmentes angeordnet ist, welches zwischen dem Drehbock und einem die Mastspitze bildenden Segment im Gelenkarm angeordnet ist.

**[0039]** Bevorzugt wird das Signal des Drehratensensors dazu eingesetzt, um Schwingungen des Segmentes, an welchem er angeordnet ist, zu bestimmen. Als vorderer Bereich eines Segmentes im Sinne der vorliegenden Erfindung werden bevorzugt die vorderen, d.h. der Mastspitze zugewandten 25 % der Längenausdehnung des jeweiligen Segmentes betrachtet, weiter bevorzugt die vorderen 10 % der Längenausdehnung.

**[0040]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung sind auf mindestens zwei Segmenten Drehratensensoren angeordnet. Bevorzugt werden die Signale dieser Drehratensensoren dazu eingesetzt, um Schwingungen der Segmente, an welchem diese angeordnet sind, zu bestimmen.

**[0041]** Bevorzugt bestimmt die Schwingungsdämpfung auf Grundlage der Messwerte der mindestens zwei Drehratensensoren einen Schwingungszustand der Segmente und/oder des gesamten Arms.

5 **[0042]** Bevorzugt sind die Drehratensensoren jeweils in einem vorderen Bereich der Segmente angeordnet. Dies verbessert die Erfassung von Schwingungen dieser Segmente.

10 **[0043]** Bevorzugt sind die mindestens zwei Segmente, an welchen die Drehratensensoren angeordnet sind, zwischen dem Drehbock und einem die Mastspitze bildenden Segment im Gelenkarm angeordnet. Weiter bevorzugt ist an dem die Mastspitze bildenden Segment ein weiterer Drehratensensor angeordnet, welcher bevorzugt zur Bestimmung von Schwingungen der Mastspitze eingesetzt wird.

15 **[0044]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst der Gelenkarm weiterhin den Drehgelenken zugeordnete Sensoren zur mittelbaren oder unmittelbaren Messung des jeweiligen Drehwinkels des Gelenkes, wobei die Messsignale der Sensoren in die Steuerung des Gelenkarms eingehen. Bevorzugt sind diese Sensoren zusätzlich zu den Drehratensensoren vorgesehen und können insbesondere dazu eingesetzt werden, um einen Drift der Messwerte, welcher bei Drehratensensoren konstruktionsbedingt nicht vermeidbar ist, auszugleichen.

20 **[0045]** Die Messsignale der Sensoren gehen bevorzugt in die Schwingungsdämpfung ein. Alternativ oder zusätzlich können die Messsignale der Sensoren zur Bestimmung der aktuellen Stellung des Gelenkarms dienen, und insbesondere für eine Positionsregelung des Gelenkarms genutzt werden.

30 **[0046]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung erfolgt die Störgrößenaufschaltung und/oder Schwingungsdämpfung unter Verwendung eines physikalischen Modells des Verteilermastes, bei welchem die Flexibilität mindestens eines Segmentes durch ein innerhalb dieses Segmentes angeordnetes virtuelles Gelenk beschrieben wird.

35 **[0047]** Bevorzugt wird zumindest die Flexibilität des unmittelbar am Drehbock angeordneten Segmentes durch ein entsprechendes virtuelles Gelenk berücksichtigt, da die Schwingungen dieses Segmentes den größten Einfluss auf den Schwingungszustand des Gelenkarms haben. Alternativ oder zusätzlich kann die Flexibilität des letzten Segmentes, welches die Mastspitze bildet, berücksichtigt werden. Dieses ist üblicherweise am wenigsten stabil und daher am flexibelsten. Das virtuelle Gelenk kann jedoch auch in einem anderen Segment vorgesehen sein.

40 **[0048]** Bevorzugt wird die Flexibilität mehrerer und weiter bevorzugt aller Segmente durch mindestens ein innerhalb des jeweiligen Segmentes angeordnetes virtuelles Gelenk beschrieben.

55 **[0049]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung handelt es sich bei dem physikalischen Modell um ein Starrkörpermodell mit aktuierten

Gelenken. Bevorzugt beschreibt das Modell mehrere und weiter bevorzugt alle Segmente des Gelenkarms, und gibt damit gleichzeitig die Stellung des Gelenkarms wieder. Die Schwingungsfähigkeit mindestens eines und bevorzugt mehrerer und weiter bevorzugt aller Segmente wird dann durch mindestens ein virtuelles Gelenk in den die tatsächlichen Segmente beschreibenden Starrkörpern beschrieben.

**[0050]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist dem virtuellen Gelenk ein Federelement und ein Dämpferelement zugeordnet. Hierdurch kann die Flexibilität des Segmentes beschrieben werden. Bevorzugt werden die Federkonstante und die Dämpferkonstante so gewählt werden, dass das virtuelle Gelenk die Größe der Durchbiegung und/oder Torsion und/oder erste Eigenfrequenz des realen Segmentes beschreibt. Das virtuelle Gelenk kann daher als eine erste Beschreibung der ersten Eigenschwingung des Segmentes in Frequenz und Amplitude betrachtet werden.

**[0051]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung sind innerhalb des Segmentes weniger als 10, weiter bevorzugt weniger als 5, weiter bevorzugt weniger als 3 und in einer möglichen Ausgestaltung genau ein virtuelles Gelenk vorgesehen. Dies verringert die Komplexität des Modells.

**[0052]** Soll nur eine Schwingung in der Vertikalen oder der Horizontalen berücksichtigt werden, so reicht ein virtuelles Gelenk mit nur einer Drehachse aus. Insbesondere kann zur Dämpfung von Schwingungen in der Vertikalen ein virtuelles Gelenk mit einer horizontalen Drehachse eingesetzt werden.

**[0053]** In einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung weist das virtuelle Gelenk jedoch mindestens zwei und bevorzugt drei Freiheitsgrade der Bewegung auf.

**[0054]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung berücksichtigt die Schwingungsdämpfung eine Torsion mindestens eines Segmentes und/oder des Gelenkarms.

**[0055]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung erfolgt die Berücksichtigung der Torsion mindestens eines Segmentes und/oder des Gelenkarms durch Verwendung eines physikalischen Modell des Gelenkarms, welches eine Torsion des Gelenkarms und/oder eines oder mehrerer Segmente des Gelenkarms beschreibt. Weiter bevorzugt erfolgt dies über ein virtuelles Drehgelenk, wie es oben beschrieben wurde, und welches sich in Längsrichtung des Segmentes erstreckt.

**[0056]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst der Gelenkarm mindestens zwei an unterschiedlichen Segmenten angeordnete Drehratensensoren, wobei die Torsion aus einem Vergleich der Messwerte der Drehratensensoren bestimmt wird.

**[0057]** Beispielsweise können die Messwerte eines ersten Drehratensensors, welcher innerhalb des Gelenkarms am nächsten zu dem Drehbock angeordnet ist,

mit den Messwerten eines zweiten Drehratensensors, welcher innerhalb des Gelenkarms am nächsten zur Mastspitze angeordnet ist, verglichen werden, um die Torsion des Gelenkarms zwischen den beiden Drehratensensoren zu bestimmen.

**[0058]** Alternativ oder zusätzlich können die Messwerte eines ersten Drehratensensors, welcher an einem ersten Segment angeordnet ist, mit den Messwerten eines zweiten Drehratensensors, welcher an einem innerhalb des Gelenkarms auf das erste Segment folgenden Segment angeordnet ist, verglichen werden, um die Torsion des Gelenkarms zwischen den beiden Drehratensensoren und insbesondere die Torsion des ersten oder zweiten Segments zu bestimmen. Die Drehratensensoren können hierfür beispielsweise jeweils in einem vorderen Bereich der Segmente angeordnet sein.

**[0059]** Alternativ oder zusätzlich kann der Gelenkarm mindestens zwei an unterschiedlichen Positionen desselben Segments angeordnete Drehratensensoren umfassen, wobei die Torsion des Segments aus einem Vergleich der Messwerte der Drehratensensoren bestimmt wird. Bevorzugt sind hierfür die Drehratensensoren in einem vorderen und einem hinteren Bereich des Segments angeordnet.

**[0060]** Weiterhin kann mindestens einer der Drehratensensoren, welcher zur Bestimmung der Torsion genutzt wird, am Drehbock und/oder in einem hinteren Bereich des unmittelbar an dem Drehbock angeordneten Segments angeordnet sein, und/oder mindestens einer der Drehratensensoren, welcher zur Bestimmung der Torsion genutzt wird, am letzten Segment des Gelenkarms und insbesondere im Bereich der Mastspitze angeordnet sein.

**[0061]** Bevorzugt weisen die Drehratensensoren, deren Messwerte zur Bestimmung der Torsion genutzt werden, mindestens zwei Sensitivitätsrichtungen auf, insbesondere eine erste horizontale Sensitivitätsrichtung und eine zweite, in einer vertikalen Ebene verlaufende Sensitivitätsrichtung. Hierdurch kann die Torsion durch den Vergleich relativ einfach bestimmt werden.

**[0062]** Jedoch auch unabhängig von der Bestimmung der Torsion weisen die Drehratensensoren, deren Messwerte in die erfindungsgemäße Schwingungsdämpfung eingehen, bevorzugt mindestens zwei Sensitivitätsrichtungen auf, insbesondere eine erste horizontale Sensitivitätsrichtung und eine zweite, in einer vertikalen Ebene verlaufende Sensitivitätsrichtung.

**[0063]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst die Steuerung des Gelenkarms einen Beobachter, welcher den Zustand des Gelenkarms schätzt. Insbesondere kann der Beobachter ein physikalisches Modell des Gelenkarms umfassen und dessen Zustand anhand des Modells und anhand von Messwerten von Sensoren schätzen.

**[0064]** Bevorzugt erfolgt die Schätzung auf Grundlage der Messwerte von Sensoren, wie sie oben bereits beschrieben wurden, insbesondere auf Grundlage von mindestens einem Drehwinkelsensor und/oder den Gelen-

ken zugeordneten Sensoren zur mittelbaren oder unmittelbaren Erfassung der Drehwinkel der Gelenke.

**[0065]** Bevorzugt setzt der Beobachter ein physikalisches Modell des Gelenkarmes ein, wie es oben näher beschrieben wurde, insbesondere ein physikalisches Modell, welches auch zur Bestimmung des Einflusses der Störkräfte auf den Gelenkarm durch die Störgrößenaufschaltung zum Einsatz kommt.

**[0066]** Bevorzugt schätzt der Beobachter die Stellung und/oder den Schwingungszustand des Gelenkarms.

**[0067]** Wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung dabei davon gesprochen, dass ein Zustand bestimmt wird, umfasst dies insbesondere eine Schätzung des Zustands durch einen Beobachter.

**[0068]** Die Schwingungsdämpfung könnte erfindungsgemäß in einer möglichen Ausgestaltung allein als eine Vorsteuerung erfolgen. Bevorzugt umfasst die Schwingungsdämpfung jedoch eine Regelung durch Rückführung mindestens einer anhand eines Messsignals erhaltenen Größe.

**[0069]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst die Schwingungsdämpfung eine Regelung, welche durch Rückführung mindestens einer der folgenden Größen erfolgt: Geschwindigkeit und Position einer oder mehrere der Gelenke, Geschwindigkeiten und Positionen der Biegung und/oder Torsion einer oder mehrere der Segmente.

**[0070]** Bevorzugt werden der oder die Größen, welche durch die Regelung zurückgeführt werden, durch einen Beobachter geschätzt. Insbesondere kann hierfür der Beobachter genutzt werden, welcher oben näher beschrieben wurde.

**[0071]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung erfolgt eine Schätzung des Systemzustandes und/oder die Schwingungsdämpfung und/oder die Bestimmung des Einflusses der Störkräfte auf den Gelenkarm auf Grundlage einer Linearisierung eines physikalischen Modells erfolgt, und insbesondere auf Grundlage einer Linearisierung des physikalischen Modells, wie es oben beschrieben wurde. Insbesondere erfolgt die Schätzung durch einen Beobachter und/oder die Regelung und/oder die Störgrößenaufschaltung, wie sie oben beschrieben wurden, auf Grundlage einer Linearisierung.

**[0072]** Bevorzugt erfolgt die Linearisierung um die Gleichgewichtslage der aktuellen Stellung des Gelenkarms. Die Linearisierung kann durch die Steuerung in Abhängigkeit von der aktuellen Stellung des Gelenkarms vorgenommen werden.

**[0073]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst die Steuerung eine Vorsteuerung, welche aus einem von einem Bediener vorgegebenen Sollwert Ansteuersignale berechnet, durch welche die gewünschte Mastbewegung durchgeführt und eine Schwingungsanregung des Gelenkarms vermindert wird.

**[0074]** Bevorzugt ist die Vorsteuerung so ausgeführt, dass Eigenfrequenzen des Gelenkarms unterdrückt wer-

den. Die Eigenfrequenzen können des Gelenkarms, welche durch die Vorsteuerung berücksichtigt werden, können in Abhängigkeit von der aktuellen Stellung des Gelenkarms bestimmt werden.

**[0075]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst die Steuerung den jeweiligen Gelenken zugeordnete Achsregler, wobei die Steuerung Ansteuersignale für die Sollwinkelgeschwindigkeit der Achsen erzeugt, auf deren Grundlage der dem jeweiligen Gelenk zugeordnete Achsregler Ansteuersignale für den jeweiligen Aktuator erzeugt, wobei die Achsregler bevorzugt auf einer inversen Umlenkinematik beruhen und/oder eine inverse Nichtlinearität umfassen.

**[0076]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und mindestens zwei mittels Gelenken um horizontale Achsen verschwenkbare Segmente, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und die Segmente über Aktuatoren um die horizontalen Achsen verschwenkbar sind. Weiter bevorzugt umfasst der Gelenkarm mindestens drei und weiter bevorzugt mindestens vier Segmente. Bevorzugt steuert die Steuerung und insbesondere die Störgrößenaufschaltung und/oder die Schwingungsdämpfung alle Aktoren der Segmente und/oder des Drehbocks an.

**[0077]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung erfolgt zumindest eine vertikale Schwingungsdämpfung und/oder Störgrößenaufschaltung. Hierfür steuert die Schwingungsdämpfung und/oder Störgrößenaufschaltung die Aktoren, über welche die Segmente des Gelenkarms um ihre horizontalen Drehachsen gedreht werden, entsprechend an.

**[0078]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung erfolgt zumindest eine horizontale Schwingungsdämpfung und/oder Störgrößenaufschaltung. Hierfür steuert die Schwingungsdämpfung und/oder Störgrößenaufschaltung den Aktor des Drehbocks entsprechend an.

**[0079]** Bei den Aktoren handelt es sich bevorzugt um hydraulische Aktoren. Die hydraulischen Aktoren werden bevorzugt über eine Hydraulikpumpe angetrieben, welche über den Fahrmotor der Betonpumpe angetrieben wird.

**[0080]** Als Aktoren zum Verschwenken der Segmente werden bevorzugt Hydraulikzylinder eingesetzt.

**[0081]** Als Aktor zum Drehen des Drehbocks wird bevorzugt ein Hydraulikmotor eingesetzt.

**[0082]** Bevorzugt können die Segmente des Gelenkarms über die Gelenke in eine Transportstellung zusammengeklappt werden, wobei bevorzugt die einzelnen Segmente in der Transportstellung im Wesentlichen parallel verlaufen.

**[0083]** In einer möglichen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst die Steuerung eine Geometriesteuerung, welche anhand von Vorgaben eines Benutzers, welche bevorzugt über Handhebel erfolgen, und/oder anhand einer vorgegebenen Trajektorie der

Mastspitze, welche bevorzugt automatisch erzeugt wird, die Aktoren der Gelenke des Gelenkarms zur Erzeugung einer entsprechenden Bewegung der Mastspitze ansteuert.

**[0084]** Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin eine Steuerung für eine Betonpumpe, wie er oben beschrieben wurde. Die Steuerung arbeitet bevorzugt so, wie dies oben beschrieben wurde.

**[0085]** Die Steuerung umfasst bevorzugt einen Mikroprozessor und einen Speicher, in welchem eine Steuer- software abgespeichert ist, welche bei einer Ausführung durch den Mikroprozessor den oben beschriebenen Aufbau und/oder die oben beschriebene Funktionsweise der erfindungsgemäßen Steuerung implementiert. Die Steuerung weist weiterhin einen oder mehrere Eingänge auf, über welche sie mit Sensoren, insbesondere den oben beschriebenen Sensoren in Verbindung steht, und/oder einen oder mehrere Ausgänge, über welche sie die oben beschriebenen Aktoren ansteuert.

**[0086]** Die erfindungsgemäße Störgrößenaufschaltung und/oder Schwingungsdämpfung erfolgt bevorzugt automatisch durch die Steuerung der Betonpumpe.

**[0087]** Weiterhin umfasst die vorliegende Erfindung eine Steuer- software für eine Betonpumpe, wie er oben beschrieben wurde. Die Steuer- software implementiert die erfindungsgemäße Steuerung. Die Steuer- software kann auf einem Speicher abgespeichert sein und/oder ein Computerprogrammprodukt darstellen.

**[0088]** Insbesondere handelt es sich bei der erfindungsgemäßen Betonpumpe um eine Autobetonpumpe. Die Betonpumpe umfasst bevorzugt ein Fahrwerk, über welches sie verfahrbar ist. Das Fahrwerk umfasst bevorzugt mehrere bereifte Achsen.

**[0089]** Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin ein Verfahren zur Ansteuerung einer Betonpumpe, wie sie oben beschrieben wurden.

**[0090]** Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, dass die Störgrößenaufschaltung auf Grundlage eines physikalischen Modells der Betonförderung erfolgt, welches die strömungsbedingten Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilmast beschreibt.

**[0091]** Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, dass der Betondruck am Eingang der Beton- leitung auf Grundlage von Betriebsparametern der Förderpumpe bestimmt wird, insbesondere auf Grundlage des Hydraulikdrucks der Förderzylinder und dem Kolbenflächenverhältnis der Förderpumpe..

**[0092]** Die Verfahren der vorliegenden Erfindung erfolgen bevorzugt so, wie dies oben bereits beschrieben wurde.

**[0093]** Die vorliegende Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher beschrieben.

**[0094]** Dabei zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsge-

mäßen Großmanipulators und einer erfindungsgemäßen Autobetonpumpe,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Steuerung mit einer Schwingungsdämpfung und einer Störgrößenaufschaltung,

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Vorsteuerung, wie sie in einer erfindungsgemäßen Steuerung zum Einsatz kommen kann,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Steuerung mit einer Schwingungsdämpfung,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Achsreglers, wie er in einer erfindungsgemäßen Steuerung zum Einsatz kommen kann,

Fig. 6 eine schematische Darstellung der durch die Betonförderung auf den Gelenkarm wirkenden Störkräfte,

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Steuerung mit einer Störgrößenaufschaltung,

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Steuerung mit einer Störgrößenaufschaltung, welche auf einem physikalischen Modell der Betonförderung beruht,

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Steuerung mit einer Störgrößenaufschaltung, welche auf einer Schätzung der Störkräfte aus Messwerten der Stellung und/oder des Schwingungszustands des Verteilmastes beruht.

## 0. Einleitung

**[0095]** Neue Konstruktionsmethoden, Werkstoffe und elektronische Systeme haben dazu geführt, dass sich Betonpumpen in den letzten Jahrzehnten beständig weiter entwickelt haben. Der Einsatz mehrgliedriger Gelenkarme mit immer längeren Segmenten ermöglicht eine verbesserte Erreichbarkeit von schwer zugänglichen Bereichen. Die Erhöhung der Anzahl und der Länge der Segmente vergrößert jedoch auch das Gewicht und die Abmessungen des Fahrzeugs. Die Folge sind Einschränkungen in der Straßenfahrt, der Handhabbarkeit und der Funktionsfähigkeit der Betonpumpe.

**[0096]** Ein spezielles Phänomen von Großmanipulatoren ist die Schwingungsfähigkeit des Verteilmastes. Die Schwingungen erschweren die Steuerung des Masts

durch den Bediener und das Verteilen des Betons durch den Endschlauchführer. Die Schwingfähigkeit ist mit der Schlankheit und der Trägheit der Segmente und den elastischen Eigenschaften des Materials verknüpft.

**[0097]** Die Schwingungsanregung entsteht durch das Verfahren des Knickmasts und die Betonförderung. Die typischerweise eingesetzte Doppelkolbenpumpe der Betonförderung überträgt impulsartige Störkräfte auf den Verteilmast und verursacht damit eine kontinuierliche Schwingungsanregung. Je nach Mastposition und Förderfrequenz ist damit auch eine Anregung nahe der Eigenfrequenzen des Masts möglich.

**[0098]** Die Kombination von Verfahrensbewegung und Betonförderung setzt den Verteilmast im normalen Betrieb einer kontinuierlichen Schwingungsanregung aus. Dies hat Auswirkungen auf die Maschinenlebensdauer und die Sicherheit für den Bediener.

**[0099]** Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine Schwingungsdämpfung des Verteilmasts zur Verbesserung der Handhabbarkeit und Funktionsfähigkeit der Betonpumpe.

## 1. Stand der Technik

**[0100]** Die EP 2 103 760 B1 (Cifa) schlägt eine modellbasierte Schwingungsdämpfung unter Nutzung eines modalen Modells vor. Der Regelalgorithmus schätzt den Zustand des Systems mithilfe eines Beobachters und führt das geschätzte Signal über Regelverstärkungen zurück. Die Verstärkungen werden in Abhängigkeit der Mastposition aus einer Liste abgerufen und interpoliert. Das Verfahren basiert auf einem modalen Modell, das durch Modaltransformation und anschließender Modellreduktion auf die ersten Schwingungsmoden gewonnen wird. Die einzelnen Zustände des Modells sind somit modale Koordinaten und besitzen keine physikalische Interpretation. Das Verfahren hat den Nachteil, dass neben den Regelverstärkungen auch das reduzierte, modale Modell des Beobachters von der aktuellen Mastposition abhängig ist. Das modale Modell muss deshalb für jede Mastposition neu generiert werden oder ist nur für bestimmte Mastpositionen gültig. Aufgrund der großen Anzahl an möglichen Mastpositionen stellt dies eine Beschränkung für die Einsatzfähigkeit der Schwingungsdämpfung dar. Die im Folgenden vorgeschlagene Schwingungsdämpfung umgeht diese Probleme durch eine andere Art der Modellierung. Die Modellreduktion ist physikalisch motiviert und führt auf physikalisch interpretierbare, elastische Koordinaten. Zudem unterscheidet sich die verwendete Sensorkombination zur Schwingungsdämpfung.

**[0101]** Die WO 2014/165889 A1 (TTControl) stellt eine Schwingungsdämpfung basierend auf der Rückführung von Positions- und Deformationssignalen der Mastsegmente vor. Die Position wird dabei mit einer inertialen Messeinheit und die Deformation durch Dehnmessstreifen erfasst. Die inertial Messeinheit umfasst einen Drehratensensor und einen Beschleunigungssensor, die nur

in Kombination und für die Positionsschätzung eingesetzt werden (siehe Anspruch 2). Das Verfahren hat den Vorteil, dass die Schwingung der Segmente unabhängig von der Verfahrensbewegung erfasst wird. Damit entfällt die zusätzliche Signalverarbeitung zur Trennung von Verfahrensbewegung und überlagerter struktureller Schwingung. Der Einsatz von Dehnmessstreifen hat jedoch den Nachteil, dass die Montage aufwendig ist und an hoch belasteten Stellen des Segments erfolgen muss. Zudem ist der Sensor sehr temperatursensitiv und erfordert einen hohen Kalibrationsaufwand. Die im Folgenden vorgeschlagene Schwingungsdämpfung umgeht diese Nachteile durch die Wahl eines Drehratensensors zur Detektion von Schwingungen im Verteilmast.

**[0102]** Die WO 2016 131977 A1 (Schwing) nutzt inertiale Messeinheiten zur Lageregelung der Mastspitze. Die Messeinheiten sind auf den Segmenten jeweils in der Balkenmitte angebracht. An der Mastspitze ist ein zusätzlicher Sensor vorhanden. Die Beschleunigungs- und Drehratensignale der Sensoren werden über einen Starrkörperansatz fusioniert und schätzen die Lage der Mastspitze. Zur Verbesserung der Lageschätzung wird das Beschleunigungssignal aus dem Sensor an der Mastspitze zweifach integriert und mit der bestehenden Schätzung fusioniert. Eine absolute Lagebestimmung ist aufgrund des verwendeten Starrkörperansatzes und der Doppelintegration nicht möglich. Stattdessen werden die dynamischen Anteile der Mastspitzenposition über ein Hochpassfilter berechnet und mit einem PID-Regler zurückgeführt. Eine unterlagerte Positionsregelung auf Gelenkebene verhindert dabei Drifteffekte der Mastspitze. Der Fusionierungsalgorithmus umfasst ausschließlich die Rekonstruktion der Lage der Mastspitze. Aufgrund der Positionierung der inertialen Messeinheiten und des verwendeten Starrkörperansatzes wird dabei lediglich die Neigung der Segmente und nicht der Schwingungszustand des Verteilmasts geschätzt. Dies unterscheidet sich von dem im Folgenden vorgestellten modellbasierten Ansatz zur Schätzung und Regelung des Schwingungszustands des Verteilmasts. Dabei wird der Schwingungszustand des gesamten Masts berücksichtigt. Im Gegensatz zur Lageregelung der Mastspitze lässt sich somit die Anzahl der verwendeten Sensoren reduzieren und auf den Einsatz von Drehratensensoren beschränken.

**[0103]** Die EP 1 537 282 B1 (Putzmeister) schlägt geodätische Winkelsensoren zur Positionsbestimmung und Schwingungsdämpfung des Verteilmasts vor. Die Sensoren sind auf den Segmenten angebracht und liefern die jeweilige absolute Neigung. Die Signale werden unter Berücksichtigung der Kinematik in einen niederfrequenten Anteil für eine Koordinatensteuerung und einen hochfrequenten Anteil zur Schwingungsdämpfung aufgeteilt. Die typischerweise eingesetzten Neigungssensoren reagieren empfindlich auf translatorische Beschleunigungsspitzen. Die Anwendung zur Schwingungsdämpfung unter Berücksichtigung von Verfahrensbewegung und Betonförderung ist somit stark limitiert.

[0104] Die EP 2 778 466 A1 stellt eine Schwingungsdämpfung in horizontalen Ebene vor..

[0105] Die EP 1 122 380 B1 (Putzmeister) schlägt eine Steuereinrichtung zur periodischen Variation oder Modulation der Pumpfrequenz vor. Die Variation oder Modulation der Pumpfrequenz verhindert, dass Anregungsfrequenzen in der Nähe der Eigenfrequenz des Masts auftreten. Das Resultat ist eine reduzierte Schwingungsanregung des Verteilmasts. Das Verfahren verändert die Betonförderung, um die Schwingungen im Verteilmast zu dämpfen. Dies unterscheidet sich von der nachfolgend dargestellten Störgrößenaufschaltung, welche die Aktorik des Verteilmasts nutzt und die Betonförderung unbeeinflusst lässt.

[0106] Die EP 1 537 282 B1 (Putzmeister) benennt einen Störgrößeregler zur Reduktion von Schwingungen im Verteilmast. Das Verfahren ist jedoch keine Störgrößenaufschaltung, da nicht eine Störgröße, sondern eine Messgröße des Verteilmasts zur Schwingungsdämpfung verwendet wird. Die Messgröße ist der dynamische Anteil der Positionserfassung des Masts. Sie wird durch einen Regler verstärkt und auf die Aktorik des Verteilmasts zurückgeführt. Das Verfahren stellt somit eine klassische, rückführungsbasierte Schwingungsdämpfung und keine Störgrößenaufschaltung dar.

[0107] DE 101 01 570 B4 (Schwing) beschreibt eine Störgrößenaufschaltung kombiniert mit einer rückführungsbasierten Schwingungsdämpfung nach dem Prinzip des virtuellen Feder-Dämpfer-Elements. Die gemessene Störgröße ist von der Betonförderung abhängig - es findet jedoch keine explizite, modellbasierte Umrechnung in die Störkräfte des Verteilmasts statt. Das vorgestellte Verfahren ist außerdem dezentral für jedes Gelenk angesetzt. Der Einfluss der Störkräfte auf den gesamten Verteilmast wird somit nicht berücksichtigt. Die vorgeschlagene Sensorik zur Druckmessung des Betonstroms in der Förderleitung ist praktisch nicht einsetzbar, da sie teuer und im Betrieb starkem Verschleiß ausgesetzt ist.

## **2. Aufbau des Ausführungsbeispiels in Form einer Autobetonpumpe**

[0108] In Fig. 1 werden die relevanten Elemente der Autobetonpumpe aufgezeigt. Diese weist einen Unterwagen mit einem Fahrgestell mit mehreren bereiften Achsen auf, durch welches die Autobetonpumpe auf der Straße verfahrbar ist. An dem Unterwagen sind vordere und hintere Abstützylinder 9 und 10 vorgesehen, welche an ausklappbaren und/oder austeleskopierbaren Streben 10 und 12 angeordnet sind. Weiterhin ist ein Verteilergetriebe 11 dargestellt.

[0109] Der Unterwagen trägt hinten eine Pumpengruppe 1 und über einen Mastblock 2 einen Gelenkarm, an welchem eine nicht dargestellte Förderleitung entlang geführt ist.

[0110] Der Gelenkarm besteht aus einem Drehbock 3 und vier Segmenten 4 bis 7 (beliebige Anzahl an Seg-

mente möglich), die über Gelenke A bis E verkoppelt sind. Gelenk A auf dem Fahrzeug ermöglicht die Drehung des Drehbocks 3 um die Hochachse, Gelenke B bis E die Verschwenkung der Segmente 4 bis 7 um horizontale Kippachsen. Die Aktorik der Betonpumpe besteht aus Hydraulikzylindern 14 bis 17 an den jeweiligen Gelenken B bis E und einem Hydraulikmotor für das Drehgelenk A des Drehbocks. Die Hydraulikzylinder 14 bis 17 ermöglichen die Bewegung des Verteilmasts in der vertikalen Ebene. Der Hydraulikmotor dreht den gesamten Mast um die Hochachse. Die Mastspitze 22 (TCP) ist die Spitze des Verteilmasts.

[0111] Am Verteilmast ist eine Förderleitung angebracht, die Beton zur Mastspitze 22 befördert. Von dort wird der Beton über einen Schlauchabschnitt 8 zu einem Bediener geleitet. Der erforderliche Förderdruck wird dabei von einer Doppelkolbenpumpe der Pumpeneinheit 1 erzeugt.

[0112] Der geplante Aufbau der Schwingungsdämpfung gliedert sich in die in Fig. 2 dargestellten Untersysteme: Geometriesteuerung, Vorsteuerung, Regelung (mit Beobachter) und Störgrößenaufschaltung.

[0113] Für jedes Untersystem wird nachfolgend auf den Aufbau und die Funktionsweise eingegangen und charakteristische Merkmale dargelegt.

### **3. Geometriesteuerung (TCP-Steuerung)**

[0114] Die Geometriesteuerung dient der Erzeugung von Bewegungsbahnen für den Verteilmast. Die Bewegungsbahnen sind dabei eine Zeitfunktion für Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung und/oder Ruck der Gelenkachsen des Verteilmasts. Sie werden in der Vorsteuerung an die Dynamik des Systems angepasst und der Regelung als Sollwert vorgegeben.

### **4. Vorsteuerung**

#### **4.1 Funktion**

[0115] Die Vorsteuerung gemäß Fig. 3 dient dazu, ein schnelles Verfahren des Verteilmasts zu ermöglichen, ohne die Eigenfrequenzen anzuregen.

- Messung der Position des Verteilmasts.
- Bestimmung der (ersten) Eigenfrequenzen und Dämpfung des Verteilmasts in der jeweiligen Mastposition (Ruhelage) in der horizontalen und vertikalen Ebene.
- Filterung der Sollwertsignale mit Eigenfrequenzen (Notch-Filter, Input-Shaping).
- Vorsteuerung wirkt auf jeden vertikalen und horizontalen Aktor.

## 4.2 Sensorik

### [0116]

- Position des Verteilmasts
- Drehgeber für den Drehwinkel um die Hochachse

## 4.3 Aktorik

### [0117]

- Hydraulikzylinder (vertikale Ebene)
- Hydraulikmotor (horizontale Ebene)

## 5. Regelung

[0118] Die Regelung, welche in Fig. 4 nochmals wiedergegeben ist, untergliedert sich in zwei Teile: die Achsregelung (Fig. 5) und die Regelung zur Dämpfung der Schwingungen und Positionsregelung mit dem Regler und dem Beobachter.

### 5.1 Achsregler

[0119] Der Achsregler gemäß Fig. 5 dient der Überführung der Sollwinkelgeschwindigkeit des Gelenkes in die reale Aktorgeschwindigkeit:

- Das Übertragungsverhalten des Hydrauliksystems von Ansteuerung bis Geschwindigkeit des Aktors weist ein nichtlineares Verhalten auf.
- Die Achsregelung kompensiert die Nichtlinearitäten der Hydraulik und der Umlenkinematik.
- Der Regelalgorithmus besteht aus den invertierten statischen Kennlinien der Hydraulik und Umlenkinematik. Eventuell ist eine Rückführung des Drucks bzw. der Zylinderposition oder -geschwindigkeit vorgesehen.
- Die Achsregelung ist dezentral an jedem Gelenk eingesetzt und stellt die unterste Ebene der gesamten Schwingungsdämpfung dar.

[0120] In ihrer Funktion zur Überführung der Sollgeschwindigkeit in die reale Aktorgeschwindigkeit wird die Achsregelung für alle weiteren Steuerungs- und Regelungskonzepte implizit vorausgesetzt.

## 5.2 Schwingungsdämpfung basierend auf Drehratensensoren

### 5.2.1 Aufbau Schwingungsdämpfung

[0121] Das Verfahren umfasst eine aktive Schwingungsdämpfung zur Reduktion von Schwingungen im Verteilmast. Es wird dabei zwischen der Sollbewegun-

gen der Segmente durch den Bediener und den Schwingungen angeregt durch die Verfahrbewegung unterschieden. Die Schwingungsdämpfung berücksichtigt die gewollte Sollbewegung und dämpft nur die entstehenden strukturellen Schwingungen. Die Schwingungen aufgrund der Betonförderung werden ebenfalls reduziert.

[0122] Das Ziel der Schwingungsdämpfung ist die Reduktion von Schwingungen im gesamten Verteilmast. Zu diesem Zweck wird der Schwingungszustand des gesamten Arms aus den Schwingungen der einzelnen Segmente geschätzt. Der Verteilmast weist in Abhängigkeit der Position und Neigung der Segmente variable Eigenfrequenzen auf. Die Schwingungsdämpfung berücksichtigt diese Variabilität der Eigenfrequenzen in Abhängigkeit der Maststellung. Die ersten Eigenfrequenzen stellen den größten Einfluss auf das Schwingverhalten dar.

### 5.2.2 Sensorik

[0123] Der Schwingungszustand des Verteilmasts wird durch Drehratensensoren 18 bis 21 erfasst. Die Sensoren sind auf einem oder mehreren Segmenten 4 bis 7 angebracht und messen die Drehrate um die Gelenkachsen. Der Vorteil dieser Sensoren zur Schwingungserfassung liegt darin, dass sie im Gegensatz zu üblicher Sensorik (z. B. Dehnmessstreifen) einfach montiert werden können. Der Sensor kann an allen Außen- und Innenseiten des Segments angebracht werden. Die MEMSbasierten Drehratensensoren sind außerdem kostengünstig, robust und wartungsarm.

[0124] Der Drehratensensor 18 bis 21 wird im vorderen Bereich des jeweiligen Segments 4 bis 7 montiert, um die strukturellen Schwingungen optimal zu erfassen. Durch die serielle Kinematik des Manipulators enthält die gemessene Drehrate eines Segments auch die Schwingung des vorhergehenden Segments. Dieser Umstand wird beim Regelungsentwurf berücksichtigt werden.

[0125] Die Position des Verteilmasts wird eine direkte oder indirekte Messung der relativen Gelenkwinkel zwischen den Segmenten bestimmt. Beispielsweise kann als Messanordnung eine Erfassung der relativen Gelenkwinkel über Drehwinkelgeber erfolgen.

### 5.3.3 Modellierung

[0126] Der Regelungsentwurf basiert auf einem mathematischen Modell des Verteilmasts. Zu diesem Zweck wird das mechanische System durch ein dynamisches Modell abgebildet.

[0127] Der Verteilmast wird durch ein Starrkörpermodell mit aktuierten Gelenken B bis E modelliert. Zusätzliche virtuelle Gelenke berücksichtigen dabei die Flexibilität in den Segmenten. Für jedes Segment wird ein zusätzliches virtuelles Gelenk mit Feder- und Dämpferelementen eingeführt. Die Feder- und Dämpfungskonstanten werden so gewählt, dass die Durchbiegung und die erste Eigenfrequenz des realen Segments erhalten

bleiben. Das Modell des Verteilmasts setzt sich aus mehreren Segmenten zusammen. Die Steifigkeit der Gesamtstruktur ergibt sich damit aus der Steifigkeit der einzelnen Segmente. Da sich die Gesamtstruktur aus mehreren Segmenten zusammensetzt, werden auch höhere Eigenfrequenzen wiedergegeben.

**[0128]** Diese Art der Modellierung stellt eine physikalisch motivierte Diskretisierung des unendlich dimensional, elastischen Verteilmasts dar. Der Vorteil ist, dass gut entwickelte und effiziente Starrkörper Formalismen zur Modellierung eingesetzt werden können. Das resultierende Modell weist außerdem eine relativ niedrige Systemordnung auf. Anders als bei einer modalen Modellreduktion ist der Systemzustand der virtuellen Gelenke weiterhin eine physikalische Variable. Er beschreibt die konzentrierte Durchbiegung und Schwingung des Segments.

Das nichtlineare Modell des Verteilmasts wird um die Gleichgewichtslage der aktuellen Mastposition linearisiert. Damit ergibt sich in Abhängigkeit der Stellung und der Lastsituation des Masts ein lineares System, das kleine Abweichungen von der Gleichgewichtslage darstellt

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu,$$

$$y = C\hat{x}.$$

#### 5.3.4 Beobachter

**[0129]** Basierend auf dem linearisierten Modell wird ein Beobachter zur Schätzung der Systemzustände eingesetzt

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}).$$

**[0130]** Der Beobachter rekonstruiert mithilfe der Ein- und Ausgänge des Systems den Systemzustand  $\hat{x}$ . Die Eingänge des Systems  $u$  sind dabei die Sollwerte der Hydraulik. Die Ausgänge  $y$  sind die Messwerte der Position und des Schwingungszustands des Verteilmasts. Durch die Fusionierung der verschiedenen Messsignale verbessert sich die Robustheit der Schwingungsdämpfung gegenüber den Messprinzip bedingten Drifterscheinungen der Drehratensensorik. Der modellbasierte Beobachter stellt außerdem sicher, dass das Messsignal der Drehratensensoren in die separaten Anteile der Gelenkbewegung und der Schwingung aufgeteilt wird. Die Regelung dämpft damit gezielt die strukturellen Schwingungen, ohne die Sollbewegung zu beeinflussen. Die Beobacherverstärkung  $L$  wird durch ein geeignetes Verfahren wie z. B. Polvorgabe oder durch einen Kalman Filter gewählt.

#### 5.3.5 Regelverstärkung

**[0131]** Das linearisierte Modell dient zur Auslegung der Rückführverstärkungen  $K$  des Regelkreises

$$u = K\hat{x}.$$

**[0132]** Dabei werden die Pole in der komplexen Halbebene so positioniert, dass sich die Dämpfung des Systems erhöht. Die Schwingungen im Verteilmast werden somit gedämpft. Der Regler erhält den geschätzten Zustand des Beobachters  $\hat{x}$ , verstärkt die Signale und führt sie als Sollwerte der Hydraulik zu (siehe Fig. 4). Die Regelverstärkung  $K$  wird durch ein geeignetes Verfahren wie z. B. Polvorgabe oder optimierungsbasierten Verfahren (LQR) berechnet.

**[0133]** Der oben beschriebene Entwurfsprozess für Beobachter und Regler gilt für eine spezifische Gleichgewichtslage des Verteilmasts. Für eine Änderung der Maststellung wird deshalb der Entwurfsprozess wiederholt und an die aktuelle Stellung angepasst. Durch die Nachführung der Regelungsparameter wird die Funktionsfähigkeit der Schwingungsdämpfung für jede Mastposition gewährleistet.

**[0134]** Durch den zyklischen Entwurf von Beobachter und Regler ergeben sich die Verstärkungen in Abhängigkeit von der aktuellen Stellung und Lastsituation des Verteilmasts. Die variable Eigenfrequenz des Masts ist somit im Regelungsentwurf implizit berücksichtigt.

#### 5.3.6 Horizontale Schwingungsdämpfung

**[0135]** Die Schwingungsdämpfung kann auch für Schwingungen in der horizontalen Ebene eingesetzt werden. Der Hydraulikmotor am Mastbock dient dabei als Aktor. Die Mastposition um die Hochachse wird durch einen Winkelgeber erfasst. Die Drehwinkelsensoren zur Schwingungsmessung sind in diesem Fall durch eine Detektionsrichtung in der horizontalen Ebene und Torsion ausgeführt oder erweitert. Die Sensoren sind auf einem oder mehreren Segmenten angebracht und messen die Drehrate um die Hochachse und die Längsachse.

**[0136]** In der horizontalen Ebene ist horizontale Biegung mit der Torsion der Segmente verkoppelt. Der Verteilmast erfährt somit in Abhängigkeit von der Position gleichzeitig eine horizontale Biegung und eine Torsion. Dieser Effektor wird der Modellierung berücksichtigt.

**[0137]** Das dynamische Modell des Verteilmasts (Abschnitt 5.3.3) wird um eine horizontale Komponente ergänzt. Die virtuellen Gelenke in den Segmenten sind dazu als mehrachsige Drehgelenke ausgeführt, die Biegung in der horizontalen Ebene und Torsion erfassen. Die Drehung um die Hochachse wird durch ein Gelenk am Drehbock berücksichtigt. Die Art und der Aufbau des Modells bleiben dabei gegen über Abschnitt 5.3.3 erhalten.

**[0138]** Analog zu dem Vorgehen in Abschnitt 5.3.3,

5.3.4 und 5.3.5 werden für das linearisierte erweiterte Modell ein Beobachter und eine Rückführverstärkung entworfen. Dabei kann entweder eine separate horizontale Schwingungsdämpfung oder eine kombinierte vertikale und horizontale Schwingungsdämpfung umgesetzt werden. Der modellbasierte Beobachter stellt sicher, dass das Messsignal der Drehratensensoren in die separaten Anteile der Hochachsenbewegung und der Schwingung aufgeteilt wird. Die Regelung dämpft damit gezielt die strukturellen Schwingungen der horizontalen Biegung und Torsion, ohne die Sollbewegung zu beeinflussen.

### 5.3.7 Weitere Eigenschaften

**[0139]** Die Bewegungsvorgaben des Bedieners werden durch die Schwingungsdämpfung explizit berücksichtigt. Das heißt, die gewollte Verfahrensbewegung wird durch die Regelung zugelassen und nur die überlagerten strukturellen Schwingungen gedämpft. Um die Schwingungsanregung beim Verfahren zu reduzieren, ist außerdem eine Vorsteuerung vorgesehen. Diese berechnet aus dem Sollwert des Bedieners Ansteuersignale, die die gewollte Mastbewegung ausführen und dabei keine Schwingung anregen. Zu diesem Zweck wird ein Notch-Filter eingesetzt, das abhängig von der aktuellen Mastposition die Eigenfrequenzen des Verteilmasts bei der Verfahrensbewegung unterdrückt (siehe Fig. 3).

**[0140]** Die Sollwertsignale für die Hydraulik werden durch eine unterlagerte Achsregelung an den Zylindern umgesetzt. Die Achsregelung wandelt eine Sollwinkelgeschwindigkeitsvorgabe  $u$  der Gelenke in die translatorische Istgeschwindigkeit der Zylinder. Dabei werden die Umlenkinematik, sowie Nichtlinearitäten der Hydraulik durch eine Vorsteuerung berücksichtigt (siehe Fig. 5). Als Messgröße der Rückführung kann entweder der Druck, die Zylinderposition oder die Zylindergeschwindigkeit ausgeführt sein. Als Alternative kann auch die Zylindergeschwindigkeit aus der Position über eine separate Signalbearbeitung berechnet werden. Die Zylinder übertragen die Kraft  $F_u$  auf den Verteilmast und erzeugen somit eine Bewegung der Gelenke. Die Achsregelung ist wie oben beschrieben dezentral und jedem Gelenk separat unterlagert.

## 6. Störgrößenaufschaltung

**[0141]** Traditionell werden rückführungsbasierte Schwingungsdämpfungen zur Reduktion von Schwingungen im Verteilmast eingesetzt. Diese Regelungen basieren auf der Rückführung der statischen und dynamischen Parameter des Verteilmasts. Dazu werden die Schwingungen in der Struktur gemessen, mit einem Regelalgorithmus verarbeitet und als Stellsignal auf die Aktorik der Betonpumpe zurückgeführt. Die erzeugte Bewegung der Aktorik wirkt auf den Verteilmast und dämpft aktiv Schwingungen. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist, dass Schwingungen erst kompensiert werden

können, wenn sie am Mast gemessen werden. Das heißt die Schwingungen müssen erst in der Struktur auftreten, um gedämpft zu werden. Das nachfolgend dargestellte Verfahren verfolgt einen anderen Ansatz nach dem Prinzip der Störgrößenaufschaltung. Diese dämpft Schwingungen im System basierend auf der Ursache anstatt - wie einem bei rückführungsbasierten Verfahren - basierend auf der Wirkung (siehe Fig. 7). Die Schwingungsanregung im Verteilmast ist zu einem großen Teil auf die Ursache der Betonförderung zurückzuführen. Sie stellt demnach eine Störgröße auf das System dar, die kompensiert werden soll.

**[0142]** Der Vorteil der Störgrößenaufschaltung gegenüber einer traditionellen Schwingungsdämpfung ist, dass die Störgrößen kompensiert werden können, bevor sie sich auf das System auswirken. Das heißt die Anregung der Betonförderung wird eliminiert, bevor sie als Schwingung im Verteilmast sichtbar ist.

**[0143]** Das Ziel der Störgrößenaufschaltung ist somit die Reduktion von Schwingungen im Verteilmast auf Basis von charakteristischen Messgrößen der Betonförderung. Die Messgrößen beschreiben dabei den Zustand der Betonförderung und nicht den Schwingungszustand des Verteilmasts. Typische Messgrößen der Betonförderung sind der Druck am Eingang der Förderleitung, die Frequenz des Pumpprozesses und die Position und Geschwindigkeit des Förderkolbens.

**[0144]** Mit den Messgrößen werden über ein Modell der Betonförderung die Störkräfte auf den Verteilmast rekonstruiert und verstärkt auf die Aktorik aufgeschaltet. Die Verstärkung kann dabei so entworfen werden, dass der Einfluss der Störkräfte auf einen bestimmten Punkt des Verteilmasts eliminiert wird. Dazu wird die Mastspitze gewählt, um die Lage des Endschlauchs ruhig und konstant zu halten.

**[0145]** Zur Reduktion der Schwingen auf Grund der Betonförderung werden zwei Verfahren vorgeschlagen: die klassische modellgestützte Störgrößenaufschaltung und die Störgrößenaufschaltung mit einem Störbeobachter.

## 6.1 Klassische modellgestützte Störgrößenaufschaltung

### 6.1.1 Überblick

#### 6.1.1.2 Funktion

**[0146]** Die Berechnung der in Fig. 6 dargestellten Störkräfte erfolgt über ein mathematisches Modell der Betonförderung entlang des Masts.

- Berechnung der Störkräfte auf den Verteilmast aus Messsignalen der Betonförderung (Druck, Frequenz, Zylinderposition) über Betonfördermodell (siehe Fig. 8).
- Berechnung des Einfluss der Störkräfte auf den Ver-

teilermast im Störmodell.

- Zustandsregelung des Störmodells. Die Stellgröße  $u_d$  des geregelten Störmodells ist die Stellgröße  $u$  der Hydraulik der Betonpumpe.
- Die Zustandsregelung kann durch eine Ausgangsrückführung erweitert werden. Dabei werden die Bewegungen der Mastspitze gedämpft.
- Der Arbeitspunkt ist die aktuelle Position des Verteilermasts. Bei Veränderung der Mastposition durch eine Verfahrbewegung wird der Arbeitspunkt nachgeführt. D.h. die Höhe der Mastspitze nach dem Verfahren stellt den neuen Arbeitspunkt dar.
- Abweichungen vom Sollwert  $y_d$  (siehe Fig. 8) werden über einen Regelkreis mit den realen Messwerten der Betonpumpe  $y$  kompensiert. Dieser Regelkreis kann die Schwingungsdämpfung aus Abschnitt 5.2 darstellen.

#### 6.1.1.2 Anmerkungen

[0147]

- Der zusätzliche Regelkreis des Störmodells ermöglicht eine Kompensation der Störgrößen  $F_d$  unabhängig von der äußeren Regelung zur Schwingungsdämpfung (Messsignal  $y$ ). Da der Zustandsregler ein virtuelles Störmodell beaufschlagt ist der vollständige Zustand  $x_d$  verfügbar.
- Beschränkungen der Stellgröße können einfach durch Beschränkungen im Regelkreis der Störgrößenauflösung berücksichtigt werden.

#### 6.1.1.3 Sensorik

[0148]

- Position Verteilermast
- Messwerte zur Betonförderung: Amplitude bzw. Zylinderposition, Zylindergeschwindigkeit, Frequenz der Pumpe und/oder Betondruck am Eingang der Förderleitung

#### 6.1.1.3 Aktorik

[0149]

- Alle Hydraulikzylinder (vertikale Ebene)

#### 6.1.2 Ausführungsbeispiel

##### 6.1.2.1 Modellierung

[0150] Die Modellierung der Betonförderung bildet den Betonfluss in der Förderleitung von der Förderpumpe im

Fahrzeug bis zum Endschlauch an der Mastspitze ab. Dabei werden die strömungsbedingten Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilermasts berechnet.

[0151] Die Entstehung der Störkräfte ist vorwiegend auf Reibungskräfte an der Rohrwand und Trägheitskräfte durch die Betonstromumlenkung in den Rohrbögen zurückzuführen. Durch die instationäre, periodische Förderung entstehen dabei impulsartige Kräfte, die über die Rohrbefestigungen auf den Verteilermast übertragen werden. Die Kräfte sind dabei von einer Vielzahl an Faktoren abhängig. Der größte Einfluss sind die rheologischen Eigenschaften und die Zusammensetzung des Betons. Je nach Art und Konsistenz des Betons ergeben sich stark unterschiedliche Schwingungsanregungen im Verteilermast. Eine weitere Größe ist der sogenannte Wandeffekt. Aufgrund der Viskosität und der inhomogenen Zusammensetzung des Fluids bildet sich während der Förderung im Wandbereich eine Grenzschicht mit niedriger Fließgrenze und Viskosität. Die Grenzschicht wirkt wie ein Schmierfilm und verringert die Reibkräfte im Wandbereich. Weitere Faktoren sind außerdem der variable Füllstandsfaktor im Förderkolben und die Menge an gelöster Luft im Beton. Die Unsicherheit und die Variabilität der oben genannten Faktoren führen dazu, dass eine direkte, rein stoffbasierte Modellierung mit großen Schwierigkeiten verbunden ist. Aus diesem Grund wird eine auf Messungen gestützte Modellierung vorgeschlagen. Die grundlegende Idee ist auf die genaue Abbildung der Strömungsverhältnisse innerhalb des Rohrs zu verzichten und stattdessen nur die wirkenden Kräfte auf die Rohrwand zu berücksichtigen.

[0152] Der Ansatz verwendet dazu ein äquivalentes Newtonsches Fluid, um die Reibungs- und Trägheitskräfte des Fluids auf die Rohrwand zu modellieren.

[0153] Die Stoffeigenschaften des äquivalenten Fluids werden aus den Messgrößen der Betonförderung bestimmt. Insbesondere wird zumindest die Viskosität des äquivalenten Fluids aus dem Betondruck und der Strömungsgeschwindigkeit des Betons bestimmt. Als Dichte des äquivalenten Fluids wird ein abgespeicherter Mittelwert für die Dichte von Beton herangezogen.

[0154] Dabei lässt sich unter der Annahme von Umgebungsdruck am Endschlauch und durch die Messung des Eingangsdrucks die Druckdifferenz über die gesamte Rohrleitung berechnen. Durch Berücksichtigung der Maststellung wird außerdem der hydrostatische Druckverlust der Strömung bestimmt. Die Ausgangsgrößen des Modells sind die konzentrierten Störkräfte  $F_d$  in jedem Gelenk der Betonpumpe (siehe Fig. 6).

[0155] Die Wirkung der konzentrierten Störkräfte  $F_d$  wird über eine Kopplung mit einem mechanischen Modell des Verteilermasts berechnet. Das mechanische Modell berücksichtigt die dynamische und elastische Verformung der Segmente unter dem Einfluss der Störkräfte über den gesamten Verteilermast.

### 6.1.2.2 Aufschaltung

**[0156]** Das verkoppelte Modell aus Betonförderung und Verteilermast dient dem Entwurf einer modellgestützten dynamischen Störgrößenaufschaltung. Dabei wird das Modell um einen Regelkreis zur Reduktion der Störgrößen im Verteilermast erweitert (siehe Störmodell Regelkreis in Fig. 8). Anders als bei der klassischen Rückführung wird nicht die reale Strecke geregelt, sondern nur das "virtuelle" Modell. Das hat Vorteile für den Regelungsentwurf, da keine Streckenunsicherheiten oder Störgrößen auftreten. Außerdem steht der gesamte Zustandsvektor ohne den Einsatz eines Beobachters zur Verfügung. Die Regelung wird so ausgelegt, dass der Einfluss der Störkräfte auf die Mastspitze minimiert wird.

**[0157]** Zur Kompensation der Störkräfte im realen System wird nun die Stellgröße des virtuellen Regelkreises  $u_d$  auf die Aktorik aufgeschaltet. Damit ergibt sich eine Vorsteuerung, die ohne Rückführung des dynamischen Zustands des Verteilermasts auskommt.

### 6.1.2.3 Regelung

**[0158]** Die Störgrößenaufschaltung wird mit einer traditionellen Schwingungsdämpfung kombiniert, um Schwingungen aus der Verfahrbewegung des Masts und Unsicherheiten in der Modellierung zu kompensieren. Die Schwingungsdämpfung basiert dabei auf der Messung und der Rückführung der Position und des Schwingungszustands des Verteilermasts. Durch die Berücksichtigung der virtuellen Ausgänge  $y_d$  und der Messgrößen  $y$  wird die Regelung so ausgelegt, dass die Stellgrößen der Störgrößenaufschaltung  $u_d$  ungehindert auf die Strecke wirken. Die Schwingungsdämpfung greift nur dann ein, wenn die Zustände der realen Strecke von den Zuständen des virtuellen Modells abweichen.

### 6.1.2.4 Weitere Eigenschaften

**[0159]** Zur Bestimmung des Betondrucks am Eingang der Strecke kann alternativ auch der Hydraulikdruck der Förderzylinder gemessen werden. Der korrespondierende Betondruck ergibt sich aus einer Umrechnung mit dem Kolbenflächenverhältnis.

**[0160]** Weiterhin kann auch die Strömungsgeschwindigkeit des Betons aus der Geschwindigkeit der Förderzylinder bestimmt werden.

**[0161]** Damit wird der Einsatz eines teuren und verschleißanfälligen Drucksensors und/oder Strömungssensors in der Förderleitung vermieden.

**[0162]** Die Leistungsfähigkeit der oben beschriebenen Störgrößenaufschaltung ist stark von der Genauigkeit des Betonförder- und des mechanischen Modells abhängig. Dies führt bei Parameterunsicherheit und Parametervariabilität zu Performancebeschränkungen.

## 6.2 Asymptotische Störkompensation

### 6.2.1 Überblick

#### 5 6.2.1.1 Funktion

**[0163]**

- 10 • Schätzung der Störgröße aus den Schwingungsmesswerten des Verteilermasts und der Pumpfrequenz der Betonförderung (siehe Fig. 9).
- Verstärkung des Störsignals im Störregler und Aufschaltung auf die Aktorik der Betonpumpe.
- 15 • Aus Stabilitätsgründen benötigt die Störgrößenkompensation eine Schwingungsdämpfung, welche beispielsweise so aufgebaut sein kann wie in Abschnitt 5.2 beschrieben.
- Der Störbeobachter hat gegenüber der klassischen Störgrößenaufschaltung den Vorteil, dass das Störsignal vollständig aus der vorhandenen Sensorik der Schwingungsdämpfung geschätzt wird. Dadurch ist das Verfahren robust gegenüber Parameteränderungen der Betonförderung.
- 20 • Der Schätzalgorithmus kann beispielsweise als asymptotische Störkompensation nach Davison ausgeführt sein.
- Die Störgrößenkompensation basiert darauf, dass aus einem frei wählbaren Messausgang  $y_d$  die Störgröße geschätzt/gelernt wird. Ziel ist es dabei mit geeigneten Stellgrößen diesen Messausgang  $y_d$  auf einen Konstantwert zu regeln. Eine mögliche Wahl des Messausgangs  $y_d$  ist die Höhe der Mastspitze in der vertikalen Ebene. Die Störkompensation reduziert damit Schwingungsbewegungen der Mastspitze.
- 25 • Der Arbeitspunkt ist die aktuelle Position des Verteilermasts. Bei Veränderung der Mastposition durch Verfahrbewegung wird der Arbeitspunkt nachgeführt. D.h. die Höhe der Mastspitze nach dem Verfahren stellt den neuen Arbeitspunkt dar.

#### 6.2.1.2 Sensorik

**[0164]**

- 45 - Position Verteilermast
- Pumpfrequenz der Betonförderung
- 50 - Messung Schwingungszustand des Verteilermastes: Drehratensensoren auf bestimmten Segmenten

#### 6.2.1.3 Aktorik

**[0165]**

- 55 - Alle Hydraulikzylinder (vertikale Ebene)

### 6.2.1.2 Anmerkungen

#### [0166]

- Die asymptotische Störkompensation basiert darauf, angreifende Störsignale durch ein fiktives Störmodell abzubilden. Das Störmodell wird im Regelkreis integriert und von einem gewählten Messausgang solange angeregt, bis die Störungen in einem gewählten Messausgang kompensiert werden. Das Störmodell hat dabei die Eigenschaft auch bei verschwindendem Anregungssignal ein nicht verschwindendes Ausgangssignal zu liefern (grenzstabil). Dadurch erzeugt die Störkompensation die erforderlichen Stellgrößen, um die Einwirkung der Störgröße auszugleichen.
- Auf Grund des Schätzprozesses wirken die Störgrößen zumindest vorübergehend auf die Ausgänge des Systems. Dies führt dazu, dass die Störkompensation zu Beginn und bei großen Parameteränderungen einem Einschwingvorgang unterworfen ist.

### 6.2.2 Ausführungsbeispiel

#### 6.2.2.1 Modellierung

[0167] Im Folgenden wird ein alternatives Verfahren zur obigen Störgrößenaufschaltung vorgestellt. Die grundlegende Idee des Verfahrens ist, die Störkräfte aus den Messwerten des Verteilmasts zu schätzen. Dabei wird die Periodizität der Betonförderung genutzt, um ein modales Modell der Störkräfte aufzustellen. Das Modell setzt sich aus der Grundfrequenz und deren Vielfachen zusammen. Die einzelnen Zustände bilden als modale Koordinaten die Schwingungsform der Störgröße nach. Eine modale Koordinate hat keine physikalische Bedeutung, sondern gibt nur den Anteil der jeweiligen Frequenz an der Schwingungsform der Störgröße wieder.

#### 6.2.2.2 Schätzverfahren

[0168] Basierend auf dem modalen Modell werden die Störkräfte durch einen Störbeobachter oder eine asymptotische Störkompensation aus den Messwerten des Verteilmasts geschätzt. Die Schätzverfahren beruhen auf dem Innere-Modell-Prinzip. Das Prinzip definiert, dass ein stabiler Regelkreis nur dann eine Störung vollständig unterdrücken kann, wenn er ein inneres Modell des Störsignals besitzt. Das Modell ist dabei grenzstabil und setzt sich nur aus konjugiert komplexen Polstellenpaaren der Förderfrequenzen auf der imaginären Achse der komplexen Halbebene zusammen. Durch den Störbeobachter oder der asymptotischen Störkompensation wird der Anfangszustand des Modalmodells aus den Messsignalen des Verteilmasts adaptiert. Dies entspricht einer Schätzung der unbekannten Amplitude und Phasenlage der Störkräfte. Je mehr Frequenzen das Mo-

dell enthält, desto genauer kann die Schwingungsform der Störgröße dargestellt werden. Die größere Anzahl an Frequenzen benötigt jedoch mehr Zeit, um die vorliegende Schwingungsform zu lernen. Während des Lernprozesses tritt eine Einschwingbewegung auf, deren Amplitude mit der Anzahl der Frequenzen zunimmt. Für eine gute Störunterdrückung muss deshalb die Anzahl der Frequenzen so gewählt werden, dass einerseits die Störgröße ausreichend genau abgebildet wird und andererseits das Einschwingverhalten kurz und mit geringer Amplitude auftritt.

#### 6.2.2.3 Regelung

[0169] Die rekonstruierten Störgrößen werden über eine Regelung auf die Aktorik des Verteilmasts aufgeschaltet (siehe Fig. 9). Die Störgrößenaufschaltung ist mit einer Schwingungsdämpfung basierend auf den Messgrößen des Verteilmasts  $y$  kombiniert, um die Stabilität des Systems zu gewährleisten. Die Zustände des Systems werden basierend auf dem Modell des Verteilmasts und dem Störmodell durch den Störbeobachter geschätzt. Die Messgrößen umfassen dabei die Mastposition und den Schwingungszustand des Verteilmasts. Der Regler in Fig. 9 verstärkt somit die geschätzten Störgrößen und Zustände des Systems. Die Störgrößenaufschaltung kann so ausgelegt werden, dass der Einfluss der Störkräfte auf die Mastspitze minimiert wird.

#### 6.2.2.4 Weitere Eigenschaften

[0170] Anders als beim ersten Verfahren lernt der Störbeobachter oder die asymptotische Störkompensation die Störkräfte aus den Messwerten  $y$  des dynamischen Schwingungszustands des Verteilmasts. Damit kann die Anzahl der Sensoren für die Betonförderung reduziert werden. Die benötigte Messgröße ist die Pumpfrequenz, welche über die Umschaltzeitpunkte der Förderzylinder in der Software bestimmt werden kann. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist die Robustheit gegenüber Streckenparameteränderungen und Variation der Betoneigenschaften.

### 6.3 Weitere Eigenschaften der Störgrößenaufschaltung

[0171] Die oben beschriebenen Störgrößenaufschaltungen gelten für eine spezifische Gleichgewichtslage des Verteilmasts. Für eine Änderung der Maststellung wird deshalb der Entwurfsprozess wiederholt und an die aktuelle Stellung angepasst.

[0172] Durch die Nachführung der Regelungsparameter wird die Funktionsfähigkeit der Störgrößenaufschaltung für jede Mastposition gewährleistet.

[0173] Die Sollwertsignale für die Hydraulik werden durch eine unterlagerte Achsregelung an den Zylindern umgesetzt. Die Achsregelung wandelt eine Sollwinkelgeschwindigkeitsvorgabe der Gelenke in die translatorische

sche Istgeschwindigkeit der Zylinder. Dabei werden die Umlenkinematik, sowie Nichtlinearitäten der Hydraulik durch eine Vorsteuerung berücksichtigt. Je nach Ausführung kann eine Rückführung des Drucks bzw. der Zylinderposition oder -geschwindigkeit umgesetzt werden. Die Achsregelung ist dezentral ausgeführt und somit jedem Gelenk separat unterlagert.

**[0174]** Die Bewegungsvorgaben des Bedieners werden durch die Störgrößenaufschaltung und Schwingungsdämpfung explizit berücksichtigt. Das heißt, die gewollte Verfahrbewegung wird durch die Regelung zugelassen und nur die überlagerten strukturellen Schwingungen gedämpft. Um die Schwingungsanregung beim Verfahren zu reduzieren, ist außerdem eine Vorsteuerung vorgesehen. Diese berechnet aus dem Sollwert des Bedieners Ansteuersignale  $\omega_{soll}$ , die die gewollte Mastbewegung ausführen und dabei keine Schwingung anregen. Zu diesem Zweck wird ein Notch-Filter eingesetzt, das abhängig von der aktuellen Mastposition die Eigenfrequenzen des Verteilmastes bei der Verfahrbewegung unterdrückt.

**[0175]** Die Vorsteuerung ist für die vorgestellten Störgrößenaufschaltungen in den Fig. 8 und 9 durch einen Signalblock gekennzeichnet. Für die modellgestützte dynamische Störgrößenaufschaltung wird das Vorsteuersignal  $\omega_{soll}$  zusätzliche im Störmodell Regelkreis berücksichtigt.

#### Patentansprüche

1. Betonpumpe, insbesondere Autobetonpumpe, mit einer Förderpumpe, einer Betonleitung und einem einen Verteilmast bildenden Gelenkarm, an welchem die Betonleitung entlang geführt ist, wobei der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und/oder mindestens ein mittels eines Gelenkes um eine horizontale Achse verschwenkbares Segment aufweist, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und/oder das mindestens eine Segment über einen Aktuator um die horizontale Achse verschwenkbar ist, wobei die Betonpumpe weiterhin eine Steuerung zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilmastes aufweist, wobei die Steuerung eine Störgrößenaufschaltung zur Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilmastes umfasst,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Störgrößenaufschaltung auf Grundlage eines physikalischen Modells der Betonförderung erfolgt, welches die strömungsbedingten Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilmast beschreibt.
2. Betonpumpe nach Anspruch 1, wobei das physikalische Modell Reibungskräfte des Betons an der Innenwand der Betonleitung und/oder Trägheitskräfte

aufgrund der Betonstromumlenkung in den Rohrbögen beschreibt und/oder wobei mindestens ein Betriebsparameter der Förderpumpe und/oder Betonförderung in die Störgrößenaufschaltung eingeht.

3. Betonpumpe nach Anspruch 1 oder 2, wobei das physikalische Modell der Betonförderung die aktuelle Stellung des Verteilmastes und insbesondere die Knickwinkel der Gelenke berücksichtigt, wobei bevorzugt die Stellung des Verteilmastes und insbesondere die Knickwinkel der Gelenke in die Beschreibung der Betonstromumlenkung eingehen und/oder wobei die Bestimmung der Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilmast ohne eine Messung des Schwingungszustands des Verteilmastes oder der Segmente erfolgt, und/oder wobei das physikalische Modell den hydrostatischen Druckverlust der Strömung unter Berücksichtigung der aktuellen Stellung des Verteilmastes berücksichtigt.
4. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei mindestens eine in die Modellierung eingehende Stoffeigenschaft des gepumpten Fluids aus Betriebsparametern der Förderpumpe und/oder der Betonförderung bestimmt wird, wobei bevorzugt die Viskosität bestimmt wird, insbesondere aus dem Betondruck und der Strömungsgeschwindigkeit des Betons.
5. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Störgrößenaufschaltung weiterhin auf einem physikalischen Modell des Verteilmastes beruht, welches mit dem physikalischen Modell der Betonförderung gekoppelt ist, um den Einfluss der durch das physikalische Modell der Betonförderung bestimmten Störkräfte auf den gesamten Verteilmast zu bestimmen, wobei das physikalische Modell des Verteilmastes bevorzugt die elastische Verformung mindestens eines der Segmente berücksichtigt.
6. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Störgrößenaufschaltung als eine Vorsteuerung ohne eine Rückführung des dynamischen Zustands des Verteilmastes erfolgt, bevorzugt auf Grundlage einer Regelung eines virtuellen Modells des Verteilmastes.
7. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Störgrößenaufschaltung die Aktoren so ansteuert, dass der Einfluss der Störkräfte auf die Spitze des Verteilmastes verringert und bevorzugt eliminiert wird.
8. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Steuerung neben der Störgrößenaufschaltung weiterhin eine Regelung umfasst,

welche auf einer Messung und/oder Rückführung der Stellung und/oder des Schwingungszustands des Verteilmastes beruht, wobei die Regelung bevorzugt eine Schwingungsdämpfung zur Dämpfung von horizontalen und/oder vertikalen Schwingungen des Verteilmastes umfasst.

9. Betonpumpe nach Anspruch 8, wobei die Schwingungsdämpfung auf dem gleichen physikalischen Modell des Verteilmastes beruht, welches auch zur Bestimmung des Einflusses der Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilmast dient, wobei die Schwingungsdämpfung bevorzugt nur dann eingreift, wenn der Zustand des Verteilmastes von dem Zustand des virtuellen Modells abweicht, welches im Rahmen der Störgrößenaufschaltung geregelt wird. 5
10. Betonpumpe insbesondere nach einem der vorangegangenen Ansprüche, mit einer Förderpumpe, einer Betonleitung und einem einen Verteilmast bildenden Gelenkarm, an welchem die Betonleitung entlang geführt ist, wobei der Gelenkarm einen um eine vertikale Achse drehbaren Drehbock und/oder mindestens ein mittels eines Gelenkes um eine horizontale Achse verschwenkbares Segment aufweist, wobei der Drehbock über einen Aktuator um die vertikale Achse verfahrbar ist und/oder das mindestens eine Segment über einen Aktuator um die horizontale Achse verschwenkbar ist, wobei die Betonpumpe weiterhin eine Steuerung zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilmastes aufweist, wobei die Steuerung eine Störgrößenaufschaltung zur Verringerung der durch die Betonförderung induzierten Schwingungen des Verteilmastes umfasst, welche den Betondruck berücksichtigt, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Störgrößenaufschaltung den Betondruck am Eingang der Betonleitung auf Grundlage von Betriebsparametern der Förderpumpe bestimmt, insbesondere auf Grundlage des Hydraulikdrucks der Förderzylinder und dem Kolbenflächenverhältnis der Förderpumpe. 10 15 20 25 30 35 40
11. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Störgrößenaufschaltung die Frequenz der Förderpumpe und/oder die Position und Geschwindigkeit der Förderkolben der Förderpumpe berücksichtigt. 45 50
12. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche mit mindestens einem Drehratensensor, welcher auf einem Segment angeordnet ist, wobei die Steuerung zur Störgrößenaufschaltung und/oder Schwingungsdämpfung auf Grundlage der Messwerte des Drehratensensors aus den Schwingungen der einzelnen Segmente einen Schwingungszustand des gesamten Verteilmastes bestimmt 55

und/oder ohne die Verwendung geodätischer Sensoren erfolgt, und/oder mindestens ein Drehratensensor in einem vorderen Bereich eines Segmentes angeordnet ist, welches zwischen dem Drehbock und einem die Mastspitze bildenden Segment im Gelenkarm angeordnet ist.

13. Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Störgrößenaufschaltung und/oder Schwingungsdämpfung unter Verwendung eines physikalischen Modells des Verteilmastes erfolgt, bei welchem die Flexibilität mindestens eines Segmentes durch ein innerhalb dieses Segmentes angeordnetes virtuelles Gelenk beschrieben wird, wobei bevorzugt dem virtuellen Gelenk ein Federelement und ein Dämpferelement zugeordnet ist, wobei die Federkonstante und die Dämpferkonstante weiter bevorzugt so gewählt wird, dass das virtuelle Gelenk die Durchbiegung, Torsion und/oder erste Eigenfrequenz des realen Segmentes beschreibt.
14. Steuerung und/oder Steuersoftware für eine Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche.
15. Verfahren zur Ansteuerung der Aktuatoren des Verteilmastes einer Betonpumpe nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Störgrößenaufschaltung auf Grundlage eines physikalischen Modells der Betonförderung erfolgt, welches die strömungsbedingten Störkräfte der Betonförderung auf den Verteilmast beschreibt, und/oder den Betondruck am Eingang der Betonleitung auf Grundlage von Betriebsparametern der Förderpumpe bestimmt, insbesondere auf Grundlage des Hydraulikdrucks der Förderzylinder und dem Kolbenflächenverhältnis der Förderpumpe.

Fig. 1

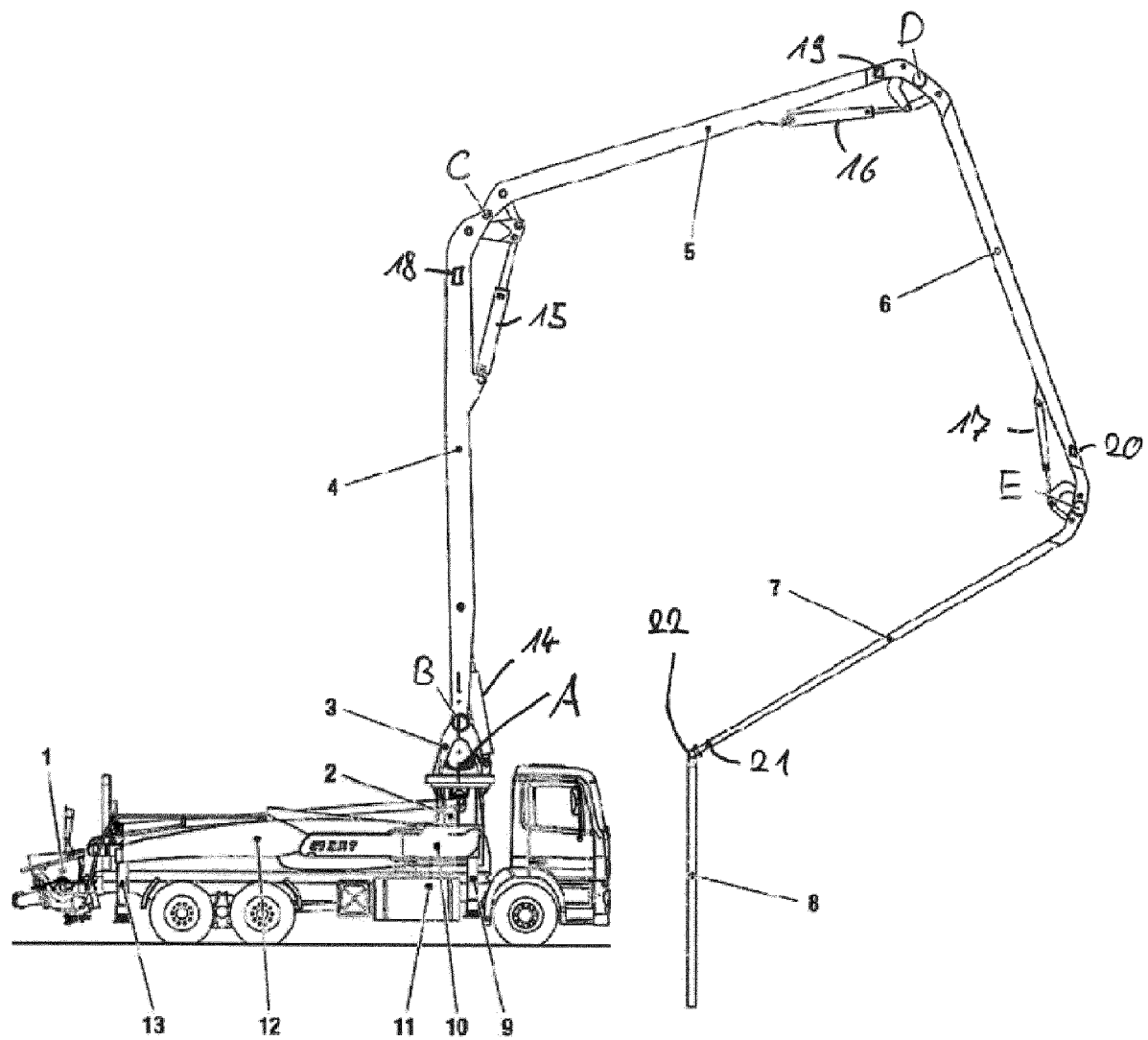


Fig. 2

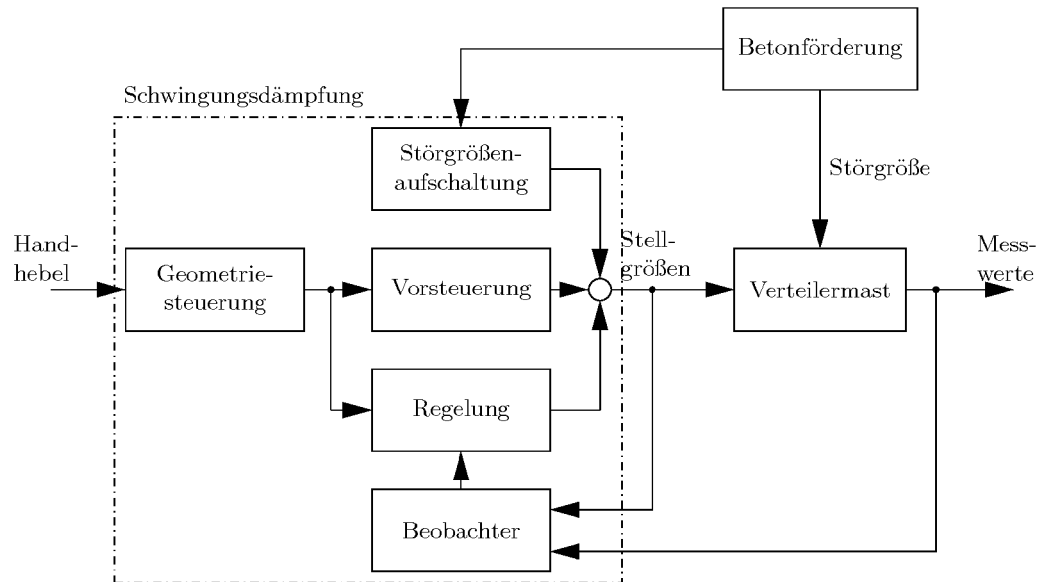


Fig. 3

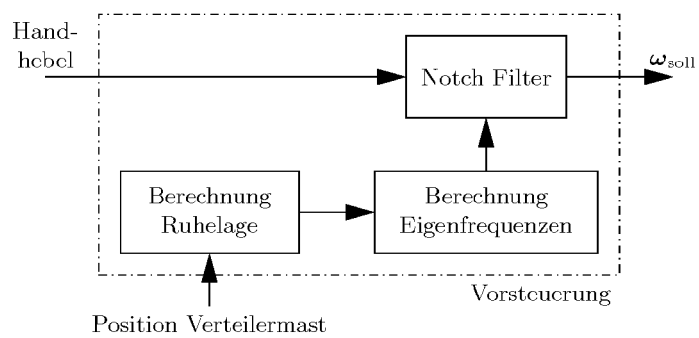


Fig. 4

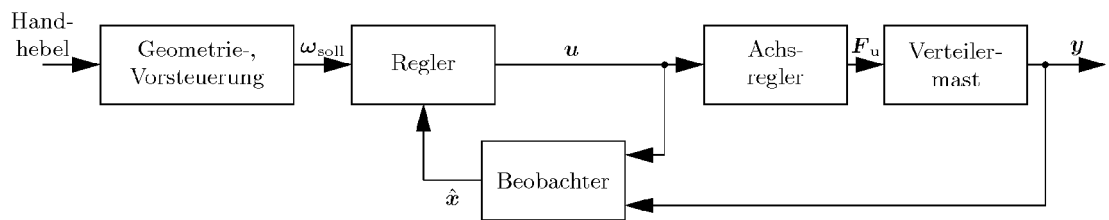


Fig. 5

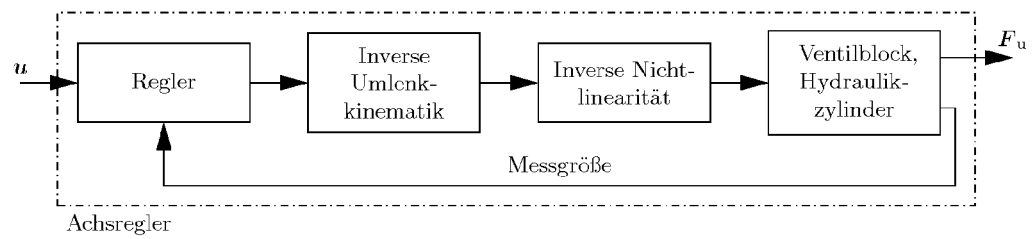


Fig. 6

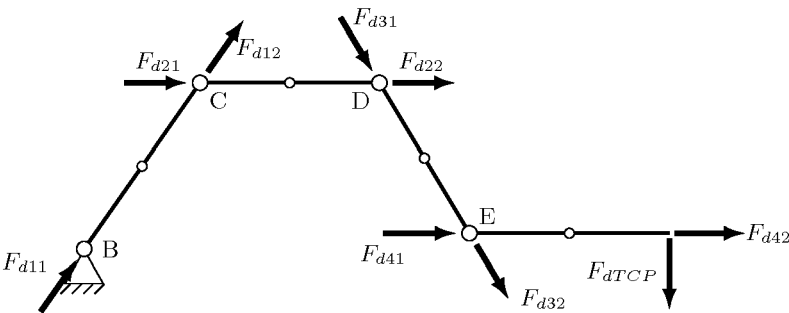


Fig. 7

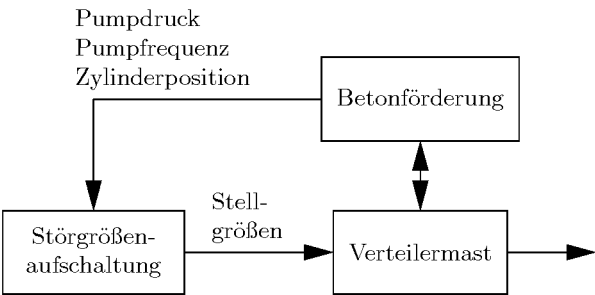


Fig. 8

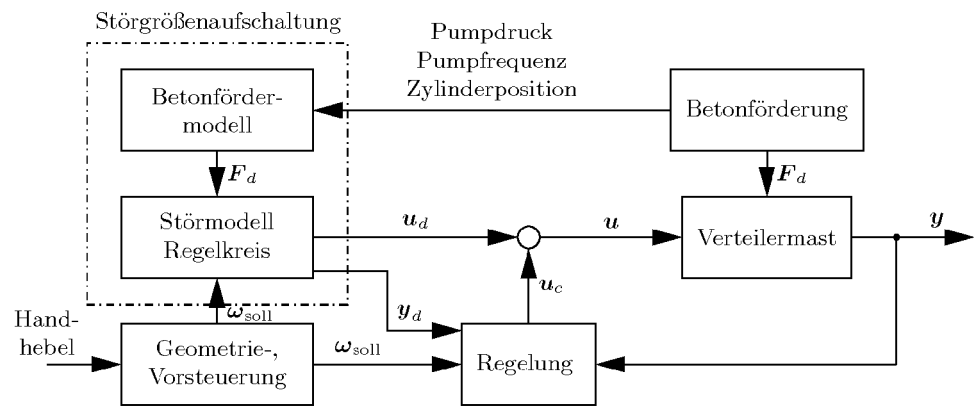
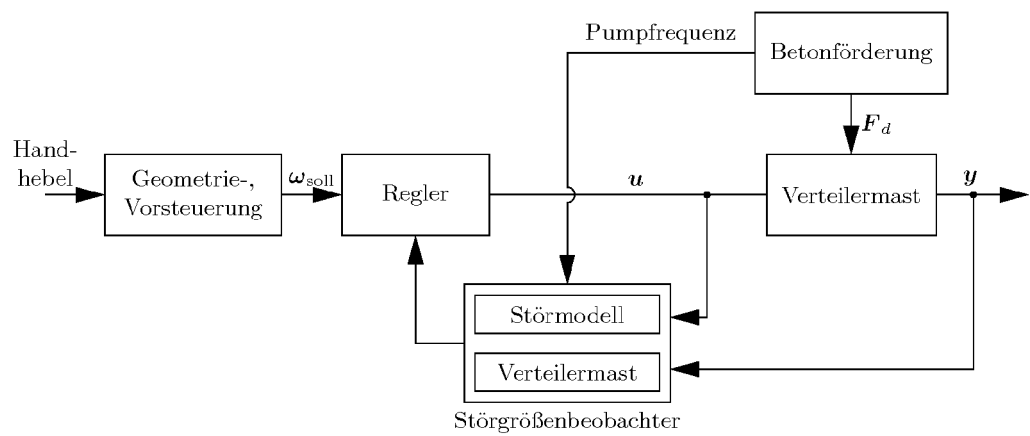


Fig. 9





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 19 16 7399

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                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sophie Zorn: "Modellbasierte aktive Schwingungstilgung eines Multilink-Großraummanipulators",<br>8. Dezember 2017 (2017-12-08),<br>XP055616776,<br>Gefunden im Internet:<br>URL:https://d-nb.info/1156851432/34<br>[gefunden am 2019-08-29] | 1-9,14,15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | INV.<br>E04G21/04<br>B66C13/06<br>B25J9/00 |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | * Seiten 3, 13, 14, 36-42, 47, 76 *<br>* Abbildung 3.2.6(e) *                                                                                                                                                                               | 10-13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                            |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 2000 282687 A (ISHIKAWAJIMA CONSTR MACH) 10. Oktober 2000 (2000-10-10)<br>* Abbildungen 1, 6, 7 *<br>* Anspruch 1 *                                                                                                                      | 10-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 105 317 217 B (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH) 29. August 2017 (2017-08-29)<br>* Anspruch 1 *<br>* Abbildung 1 *                                                                                                                          | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EP 1 772 588 A2 (IVECO MAGIRUS [DE]) 11. April 2007 (2007-04-11)<br>* Abbildung 6 *                                                                                                                                                         | 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | E04G<br>B66F<br>B66C<br>B25J<br>G05B       |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                            |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                             | Abschlußdatum der Recherche<br><b>30. August 2019</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Prüfer<br><b>Tryfonas, N</b>               |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                                                             | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                            |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 19 16 7399

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.

30-08-2019

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| JP 2000282687 A                                    | 10-10-2000                    | JP 4120905 B2                     | 16-07-2008                    |
|                                                    |                               | JP 2000282687 A                   | 10-10-2000                    |
| -----                                              | -----                         | -----                             | -----                         |
| CN 105317217 B                                     | 29-08-2017                    | KEINE                             |                               |
| -----                                              | -----                         | -----                             | -----                         |
| EP 1772588 A2                                      | 11-04-2007                    | DE 102005042721 A1                | 15-03-2007                    |
|                                                    |                               | EP 1772588 A2                     | 11-04-2007                    |
|                                                    |                               | ES 2427563 T3                     | 31-10-2013                    |
| -----                                              | -----                         | -----                             | -----                         |

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**

- DE 10101570 B4 [0002] [0107]
- EP 2103760 B1 [0100]
- WO 2014165889 A1 [0101]
- WO 2016131977 A1 [0102]
- EP 1537282 B1 [0103] [0106]
- EP 2778466 A1 [0104]
- EP 1122380 B1 [0105]