

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
06. September 2019 (06.09.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/166330 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
E04G 21/04 (2006.01) B25J 9/16 (2006.01)  
B66C 13/06 (2006.01) G05B 19/416 (2006.01)
- (72) Erfinder: HEIKER, Mike; Hermann-Löns-Strasse 29, 30880 Laatzen (DE). HÖLZLE, Benjamin; Schillerstrasse 16, 72574 Bad Urach (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/054392 (74) Anwalt: GAUSS, Nikolai et al.; Tübinger Str. 26, 70178 Stuttgart (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 21. Februar 2019 (21.02.2019) (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 104 491.7  
27. Februar 2018 (27.02.2018) DE
- (71) Anmelder: PUTZMEISTER ENGINEERING GMBH [DE/DE]; Max-Eyth-Strasse 10, 72631 Aichtal (DE).

(54) Title: LARGE MANIPULATOR WITH VIBRATION DAMPER

(54) Bezeichnung: GROSSMANIPULATOR MIT SCHWINGUNGSDÄMPFER

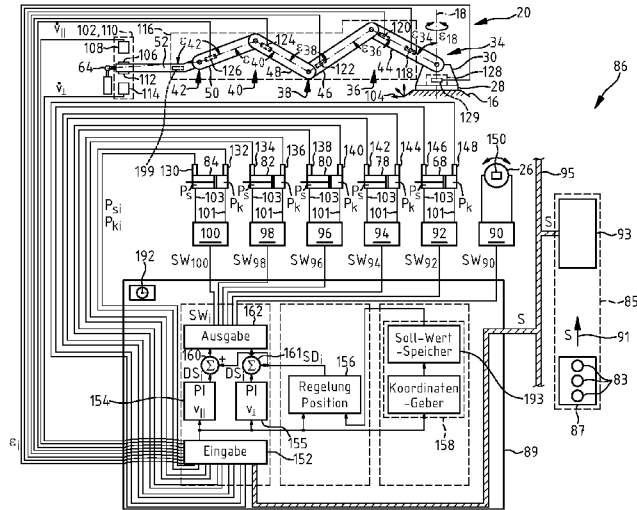


Fig.5

162 Output  
152 Input  
156 Control position  
193 Setpoint memory  
158 Coordinate transmitter

(57) Abstract: The invention relates to a large manipulator for concrete pumps with a distributor boom (20). The distributor boom (20) comprises an articulated boom (32), which is mounted on the boom pedestal (30), is made up of multiple boom arms (44, 46, 48, 50, 52) connected to one another in an articulated manner and having a boom tip (64) and multiple joints (34, 36, 38, 40, 42) for pivoting the boom arms (44, 46, 48, 50, 52) with respect to the boom pedestal (30) or an adjacent boom arm (44, 46, 48, 50, 52), and includes a control device (86) for controlling the movement of the articulated boom (32) with the aid of drive-unit actuating elements for drive units (26, 68, 78, 80, 82, 84) respectively assigned to the articulated joints (34, 36, 38, 40, 42). According to



WO 2019/166330 A1

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

---

the invention, the large manipulator includes a device (102) for determining the vertical speed  $v_{II}$  and/or horizontal speed  $v_I$  of a boom arm location on at least one boom arm (44, 46, 48, 50, 52) in a system of coordinates (104) based on the frame (16) for reference. It also has a device for determining the articulating angle (116) of the joints (34, 36, 38, 40, 42). The control device (86) controls the movement of the articulated boom (32) by providing positioning manipulated variables  $SD_i$ , for the actuating elements (90, 92, 94, 96, 98, 100) of the drive units (68, 78, 80, 82, 84), which depend on a vertical speed  $v_{II}$ , determined by means of the device (102) for determining a vertical speed  $v_n$  of a boom arm location and/or horizontal speed  $v_I$  of the boom arm location and on articulating angles  $\epsilon_i$  of the joints (34, 36, 38, 40, 42), determined by means of the device (116) for determining the articulating angles of the joints (34, 36, 38, 40, 42) and/or on an angle of rotation  $\epsilon_{18}$  of the boom pedestal (30) about a vertical axis (18), and also on control signals  $S$  for adjusting the distributor boom (20), generated by means of a control unit (87) that can be operated by a boom operator.

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf einen Großmanipulator für Betonpumpen mit einem Verteilermast (20). Der Verteilermast (20) weist einen an dem Mastbock (30) aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen (44, 46, 48, 50, 52) zusammengesetztem Knickmast (32) mit einer Mastspitze (64) und mit mehreren Gelenken (34, 36, 38, 40, 42) für das Verschwenken der Mastarme (44, 46, 48, 50, 52) gegenüber dem Mastbock (30) oder einem benachbarten Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) auf und enthält eine Steuereinrichtung (86) für das Steuern der Bewegung des Knickmasts (32) mit Hilfe von Antriebsaggregatstellgliedern für den Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) jeweils zugeordnete Antriebsaggregate (26, 68, 78, 80, 82, 84). Erfindungsgemäß enthält der Großmanipulator eine Einrichtung (102 zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{II}$  und/oder horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) in einem zu dem Gestell (16) referenzierten Koordinatensystem (104). Er hat außerdem eine Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel (116) der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42). Die Steuereinrichtung (86) steuert die Bewegung des Knickmasts (32) durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_i$ , für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84), die von einer mittels der Einrichtung (102) zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_n$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{II}$  und/oder horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelten Gelenkwinkeln  $\epsilon_i$ , der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) und/oder von einem Drehwinkel  $\epsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um eine Hochachse (18) sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät (87) erzeugten Steuersignalen  $S$  zum Verstellen des Verteilermasts (20) abhängen.

## Großmanipulator mit Schwingungsdämpfer

### Beschreibung

- 5 Die Erfindung betrifft einen Großmanipulator für Betonpumpen mit einem Verteilermast, mit einem an einem Mastbock aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen zusammengesetztem Knickmast mit einer Mastspitze und mit mehreren Gelenken für das Verschwenken der Mastarme gegenüber dem Mastbock oder einem benachbarten Mastarm, so-  
10 wie mit einer Steuereinrichtung für das Steuern der Bewegung des Knickmasts mit Hilfe von Antriebsaggregatstellgliedern für den Knickgelenken jeweils zugeordnete Antriebsaggregate. Der Mastbock kann dabei auf einem Gestell angeordnet und um eine Hochachse drehbar sein. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Dämpfung mechanischer Schwingungen eines Vertei-  
15 lermasts eines Großmanipulators für Betonpumpen.

- Ein derartiger Großmanipulator und ein derartiges Verfahren zur Dämpfung mechanischer Schwingungen des Verteilermasts eines Großmanipulators für Betonpumpen ist aus der EP 1 319 110 B1 bekannt. Der Großmanipulator der  
20 EP 1 319 110 B1 hat einen Verteilermast mit einem aus mindestens drei Mastarmen zusammengesetzten Knickmast, dessen Mastarme um jeweils horizontale, zueinander parallele Knickachsen mittels je eines Antriebsaggregats begrenzt verschwenkbar sind. Dieser Großmanipulator enthält eine Steuereinrichtung für die Mastbewegung mit Hilfe von den einzelnen Antriebsaggregaten zugeordneten Stellgliedern sowie Mittel zur Dämpfung von mechanischen  
25 Schwingungen im Knickmast. Für die Mastbedämpfung wird bei dem Großmanipulator eine von der mechanischen Schwingung des betreffenden Mastarms abgeleitete zeitabhängige Messgröße bestimmt, die in einer Auswerteeinheit unter Bildung eines dynamischen Dämpfungssignals aufgearbeitet und einem  
30 das betreffende Antriebsaggregat ansteuernden Stellglied aufgeschaltet wird.

Der Verteilermast eines solchen Großmanipulators ist seiner Konstruktion nach ein elastisch schwingungsfähiges System, das zu Eigenschwingungen anregbar ist. Eine resonante Anregung solcher Schwingungen kann dazu führen, dass die Mastspitze mit Amplituden von einem Meter und mehr schwingt.

- 5 Eine Schwingungsanregung ist zum Beispiel durch den pulsierenden Betrieb einer Betonpumpe und durch die hieraus resultierende periodische Beschleunigung und Verzögerung der durch die Förderleitung gedrängten Betonsäule möglich. Dies hat zur Folge, dass der Beton nicht mehr gleichmäßig verteilt werden kann und der Arbeiter, der den Endschlauch führt, gefährdet wird.

10

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Großmanipulator für Betonpumpen mit einem gegenüber bekannten Großmanipulatoren stabileren Dämpfungsverhalten bereitzustellen und ein Verfahren für das Bedämpfen der mechanischen Schwingungen von Großmanipulatoren anzugeben, das unabhängig von den

- 15 Posen des Großmanipulators das effiziente Bedämpfen unerwünschter Schwingungen ermöglicht.

Diese Aufgabe wird mit dem in Anspruch 1 und Anspruch 16 angegebenen Großmanipulator sowie das in den Ansprüchen 21 und 25 angegebene Verfahren gelöst.

20

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

- 25 Der in Anspruch 1 angegebene Großmanipulator für Betonpumpen hat einen Verteilermast mit einem an einem Mastbock aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen zusammengesetztem Knickmast mit einer Mastspitze und mit mehreren Gelenken für das Verschwenken der Mastarme gegenüber dem Mastbock oder einem benachbarten Mastarm.
- 30 Der Großmanipulator weist für das Steuern der Bewegung des Knickmasts mit Hilfe von Antriebsaggregatstellgliedern für den Knickgelenken jeweils zugeordnete Antriebsaggregate eine Steuereinrichtung auf. In dem

Großmanipulator gibt es eine Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm in einer zu dem Knickmast parallelen Ebene und in einem zu dem Gestell referenzierten Koordinatensystem und es gibt eine Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke.

5 Unter der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle wird vorliegend die Geschwindigkeit der Mastarmstelle in der Richtung der Schwerkraft verstanden.

10

Die Steuereinrichtung steuert die Bewegung des Knickmasts durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate, die von einer mittels der Einrichtung zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät erzeugten Steuersignalen  $S$  zum Verstellen des Verteilermasts abhängen.

20 In einer bevorzugten Ausgestaltung des Großmanipulators ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung eine mit der Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit einer Mastarmstelle und mit der Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke gekoppelte Controllerbaugruppe für das Steuern der Stellglieder aufweist, die eine Verteilermastbedämpfungsroutine enthält. Die Verteilermastbedämpfungsroutine bestimmt hier aus einer mit der  
25 Einrichtung zum Ermitteln der Geschwindigkeit ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle eine Dämpfungskraft  $F_{D||}$  und teilt die ermittelte Dämpfungskraft in den einzelnen Gelenken zugeordnete Komponentendämpfungskräfte auf. Aus den Komponentendämpfungskräften und aus  
30 den mit der Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke ermittelten Gelenkwinkel für die den Knickgelenken zugeordneten Antriebsaggregate sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts werden

dann für das Bedämpfen des Knickmasts Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  für das Ansteuern der Antriebsaggregatstellglieder bestimmt, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate eingehen.

- 5 Die bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts umfassen bevorzugt die Gelenkinematiken der Gelenke des Verteilermasts sowie die Geometrie der Mastarme, insbesondere deren Länge.

10 Die Einrichtung zum Ermitteln der Geschwindigkeit einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm in dem Großmanipulator kann insbesondere zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastspitze des Knickmasts ausgelegt sein.

15 Eine Idee der Erfindung ist es, dass die Verteilermastbedämpfungsroutine aus der einem Gelenk zugeordneten Komponentendämpfungskraft und aus dem ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  des Gelenks eine mittels des dem Gelenk zugeordneten Antriebsaggregats zu erzeugende Komponentensoll-dämpfungskraft  $FD_i$  oder ein mittels des dem Gelenk zugeordneten Antriebsaggregats erzeugbares Komponentensoll-dämpfungsmoment  $MD_i$  bestimmt.

20 Insbesondere kann der Großmanipulator eine Einrichtung zum Ermitteln einer mittels des dem Gelenk zugeordneten Antriebsaggregats erzeugten Ist-Kraft  $F_i$  oder zum Ermitteln eines mittels des dem Gelenk zugeordneten Antriebsaggregats erzeugten Ist-Moments  $M_i$  enthalten.

25 Hier ist es von Vorteil, wenn die Verteilermastbedämpfungsroutine eine Regelstufe aufweist, die für das Antriebsaggregat Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  zum Bedämpfen des Verteilermasts aus einem Vergleich der mittels des Antriebsaggregats erzeugten Ist-Kraft  $F_i$  mit der zu erzeugenden Komponentensoll-dämpfungskraft  $FD_i$  oder aus einem Vergleich der mittels des Antriebsaggregats erzeugten Ist-Moments  $M_i$  mit dem zu erzeugenden Komponentensoll-dämpfungsmoment  $MD_i$  bestimmt.

30

Diese Komponentensolldämpfungskraft  $FD_i$  oder dieses Komponentensolldämpfungsmoment  $MD_i$  wird dann mittels des dem Gelenk zugeordneten Antriebsaggregats erzeugt. Die Steuereinrichtung in dem Großmanipulator kann dabei ein Steuergerät enthalten, das der Controllerbaugruppe Steuersignale  $S$  zuführt, wobei die Controllerbaugruppe dann bevorzugt eine Verteilermastposensollwertroutine aufweist, welche die Steuersignale  $S$  in Posensollwerte  $PS_i$  in Form von Sollwerten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke des Verteilermasts übersetzt.

10

Eine Idee der Erfindung ist es auch, dass die Controllerbaugruppe eine Verteilermastregelroutine enthält, die aus Posenistwerten  $PI_i$  in Form von der Controllerbaugruppe zugeführten Istwerten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke des Verteilermasts und den Posensollwerten  $PS_i$  die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate ermittelt. Die Verteilermastregelroutine kann z. B. die Differenz von Posenistwerten  $PI_i$  und Posensollwerten  $PS_i$  bestimmen, diese Differenz in einem Zero-Order-Hold-Filter verarbeiten und als eine Regelgröße einer als PI-Regler ausgebildeten Regelstufe zuführen, welche die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  ausgibt.

20

Bevorzugt weist die Controllerbaugruppe eine Überlagerungsroutine für das Überlagern der Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  und der Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  zu Stellsignalen  $SW_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate auf. Insbesondere ist es eine Idee der Erfindung, dass die Überlagerungsroutine als eine Addieroutine ausgebildet ist, die den Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  die Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  aufaddiert.

25

Darüber hinaus schlägt die Erfindung vor, dass die Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm einen an dem Mastarm angeordneten Geschwindigkeitssensor und/oder einen Beschleunigungssensor und/oder einen die Stellung des Mastarms zur Richtung der Schwerkraft erfassenden Winkelsensor enthält.

30

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann der Großmanipulator eine Einrichtung für das Berechnen der mittels der Antriebsaggregate erzeugten Ist-Kräfte  $F_i$  oder Ist-Momente  $M_i$ , aufweisen, wobei die Steuereinrichtung eine

5 Controllerbaugruppe mit einer Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine enthält, der die ermittelten, mittels der Antriebsaggregate erzeugten Ist-Kräfte  $F_i$  oder Ist-Momente  $M_i$ , sowie die ermittelte vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle und die ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke fortlaufend

10 zugeführt werden. Die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine bestimmt hier aus den zugeführten Ist-Kräften  $F_i$  oder Ist-Momenten  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts eine an der Mastarmstelle angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$ . Die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine überführt die an der Mastarm-

15 stelle angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  in eine vertikale Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastarmstelle. Aus der vertikalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastarmstelle und der ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle bestimmt die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine einen vertikalen Vergleichswert  $\Delta v_{||}$ . Dieser vertikale Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  wird dann durch eine

20 Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{i\text{Rück}}$  der Knickgelenke überführt. Die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine enthält eine Verteilermastregelroutine, welche die durch Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{i\text{Rück}}$  der Knickgelenke mit

25 einer der Verteilermastregelroutine zugeführten Ist-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke vergleicht und aus diesem Vergleich die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate ermittelt.

In einer vorteilhaften Weiterbildung dieses Großmanipulators ist vorgesehen,

30 dass das Steuergerät der Controllerbaugruppe Steuersignale  $S$  zuführt, die in der Controllerbaugruppe in Posensollwerte  $PS_i$  in Form von Sollwerten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke des Verteilermasts übersetzt werden.

Die Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm ist hier bevorzugt zum Ermitteln der Geschwindigkeit der Mastspitze des Knickmasts ausgelegt.

5

Zu bemerken ist, dass die Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm einen an dem Mastarm angeordneten Geschwindigkeitssensor und/oder Beschleunigungssensor und/oder einen die Stellung des Mastarms zur Richtung der Schwerkraft erfassenden Winkelsensor enthalten kann.

10

Die Erfindung erstreckt sich auch auf einen Großmanipulator, in dem der Mastbock auf einem Gestell angeordnet ist und um eine Hochachse gedreht werden kann, wobei die Steuereinrichtung für das Steuern einer Drehbewegung des Mastbocks um die Hochachse mit Hilfe von wenigstens einem Stellglied für ein dem Mastbock zugeordnetes Antriebsaggregat ausgelegt ist, wobei eine Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle in einer zu der Hochachse senkrechten Ebene und in einem zu dem Gestell referenzierten Koordinatensystem sowie eine Einrichtung zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks um die Hochachse vorgesehen ist, und wobei die Steuereinrichtung die Bewegung des Knickmasts durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied für das dem Mastbock zugeordnete Antriebsaggregat steuert, die von einer mittels der Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks um die Hochachse sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät erzeugten Steuersignalen  $S$  zum Verstellen des Verteilermasts abhängen.

15

20

25

30

Ein solcher Großmanipulator kann eine mit der Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  und mit der Einrichtung zum Ermitteln der

Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke gekoppelte Controllerbaugruppe für das Steuern der Stellglieder, die eine Verteilermastbedämpfungsroutine aufweisen, die aus der mit der Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  ermittelten horizontalen Geschwindigkeit des Abschnitts des wenigstens einen Mastarms eine Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  bestimmt und die aus dieser Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  und aus den mit der Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts für das dem Mastbock zugeordnete Antriebsaggregat zum Bedämpfen des Knickmasts Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  bestimmt, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das Ansteuern des wenigstens einen Stellglieds für das dem Mastbock zugeordnete Antriebsaggregats eingehen.

Alternativ hierzu ist es auch möglich, dass der Großmanipulator eine Einrichtung für das Berechnen der mittels des der Hochachse zugeordneten Antriebsaggregates erzeugten Ist-Kraft  $F_i$  oder Ist-Moments  $M_i$  aufweist, wobei die Steuereinrichtung eine Controllerbaugruppe mit einer Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine enthält, der die ermittelte, mittels des der Hochachse zugeordneten Antriebsaggregates erzeugte Ist-Kraft  $F_i$  oder das ermittelte, mittels des der Hochachse zugeordneten Antriebsaggregates erzeugte Ist-Moment  $M_i$  sowie die ermittelte horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und die ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke fortlaufend zugeführt werden, wobei die Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine aus der zugeführten Ist-Kraft  $F_i$  oder dem zugeführten Ist-Moment  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts eine an der Mastarmstelle angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  bestimmt, die an der Mastarmstelle angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  in eine horizontale Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle überführt, aus der horizontalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle und der ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle einen horizontalen Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  bestimmt, den horizontalen Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der

Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18 \text{ Rück}}$  des Mastbocks um dessen Hochachse überführt, und wobei die Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine eine Verteilermastregelroutine enthält, welche die durch

5 Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18 \text{ Rück}}$  des Mastbocks um dessen Hochachse mit einer der Verteilermastregelroutine zugeführten Ist-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke vergleicht und aus diesem Vergleich die Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das der Hochachse zugeordnete Antriebsaggregat ermittelt.

10

Die Mastarmstelle kann dabei eine Mastspitze des Knickmasts sein. Zu bemerken ist, dass die Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm einen an dem Mastarm angeordneten Geschwindigkeitssensor und/oder Beschleunigungssensor

15 und/oder einen die den Drehwinkel des Mastbocks um die Hochachse erfassenden Winkelsensor enthalten kann.

Die Erfindung erstreckt sich auch auf ein Verfahren zur Dämpfung mechanischer Schwingungen eines Knickmasts eines Großmanipulators für Beton-

20 pumpen mit einem an einem Mastbock aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen zusammengesetztem Knickmast mit einer Mastspitze und mit mehreren Knickgelenken für das Verschwenken der Mastarme um jeweils horizontale, zueinander parallele Knickachsen gegenüber dem Mastbock oder einem benachbarten Mastarm sowie mit einer

25 Steuereinrichtung für das Steuern der Bewegung des Knickmasts mit Hilfe von Stellgliedern für den Knickgelenken jeweils zugeordnete Antriebsaggregate. Dabei wird die vertikale Geschwindigkeit  $v_{\parallel}$  einer Mastarmstelle in einer zu dem Knickmast parallelen Ebene und in einem zu dem Gestell referenzierten Koordinatensystem ermittelt, es werden die Gelenkwinkel der Knickgelenke

30 ermittelt und es werden Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate erzeugt, die von einer mittels der Einrichtung zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_{\parallel}$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen

Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät erzeugten Steuersignalen  $S$  zum Verstellen des Verteilermasts abhängen.

5

Eine Idee der Erfindung ist dabei, dass aus der ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle eine Dämpfungskraft  $F_{D||}$  bestimmt wird, die ermittelte Dämpfungskraft  $F_{D||}$  in den einzelnen Knickgelenken zugeordnete Komponentendämpfungskräfte aufgeteilt wird, sowie aus den Komponentendämpfungskräften und aus den ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  für die den Knickgelenken zugeordneten Antriebsaggregate sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts zum Bedämpfen der Mastarme bestimmte Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  für das Steuern der Antriebsaggregatsstellglieder zum Bedämpfen des Knickmasts bereitgestellt werden, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate eingehen.

Alternativ hierzu ist es auch möglich, dass die mittels der Antriebsaggregate erzeugten Ist-Kräfte  $F_i$  oder Ist-Momente  $M_i$  ermittelt werden, die vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm ermittelt wird, und die Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke ermittelt werden, wobei aus den zugeführten Ist-Kräften  $F_i$  oder Ist-Momenten  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts eine an der Mastarmstelle angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  bestimmt wird, die an der Mastarmstelle angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  in eine vertikale Soll-Geschwindigkeit  $v_{||soll}$  der Mastarmstelle überführt wird, aus der vertikalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{||soll}$  der Mastarmstelle und der ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle ein vertikaler Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  bestimmt wird, der vertikale Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i \text{ Rück}$  der Knickgelenke überführt wird, und wobei die durch Rückwärtstransformation erhaltene

Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeiten  $\dot{\varepsilon}_{i \text{ Rück}}$  der Knickgelenke mit den Ist-Winkelgeschwindigkeiten  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke verglichen werden und aus diesem Vergleich Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder der Antriebsaggregate ermittelt werden.

5

Als vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle kann dabei die vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastspitze ermittelt werden.

Die Erfindung erstreckt sich darüber hinaus auch auf ein Verfahren zur Dämpfung mechanischer Schwingungen eines Knickmasts in einem Großmanipulator für Betonpumpen, mit einem auf einem Gestell angeordneten, an dem Gestell um eine Hochachse drehbaren Mastbock, mit einem an dem Mastbock aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen zusammengesetzten Knickmast mit einer Mastspitze und mit mehreren  
10 Knickgelenken für das Verschwenken der Mastarme um jeweils horizontale, zueinander parallele Knickachsen gegenüber dem Mastbock oder einem benachbarten Mastarm, sowie mit einer Steuereinrichtung für das Steuern der Bewegung des Knickmasts um die Hochachse mit Hilfe eines Stellglieds eines  
15 der Hochachse zugeordneten Antriebsaggregats, bei dem die horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle in einer zu der Hochachse senkrechten Ebene und in einem zu dem Gestell referenzierten Koordinatensystem ermittelt wird, und bei dem die Gelenkwinkel der Knickgelenke ermittelt werden, wobei die Bewegung des Knickmasts durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied für das dem Mastbock zugeordnete Antriebsaggregat gesteuert wird, die von einer mittels der Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks um die Hochachse sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät erzeugten Steuersignalen  $S$  zum Verstellen des Verteilermasts abhängen.  
20  
25  
30

- In einer vorteilhaften Ausführungsform dieses Verfahrens ist dabei vorgesehen, dass aus der ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  eine Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  bestimmt wird und aus dieser Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  und aus den ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  für die den Knickgelenken zugeordneten Antriebs-
- 5 aggregate sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts zum Bedämpfen des Knickmasts Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  bestimmt werden, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied für das dem Mastbock zugeordnete Antriebsaggregat eingehen.
- 10 Alternativ hierzu ist es auch möglich, dass die mittels des der Hochachse zugeordneten Antriebsaggregates erzeugte Ist-Kraft  $F_i$  oder das mittels des der Hochachse zugeordneten Antriebsaggregates erzeugte Ist-Moment  $M_i$ , die horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mast-
- 15 Mastbocks um dessen Hochachse ermittelt werden, wobei aus der Ist-Kraft  $F_i$  oder dem zugeführten Ist-Moment  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts eine an der Mastarmstelle angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  bestimmt wird, die an der Mastarmstelle angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  in eine horizontale Soll-
- 20 Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle überführt, aus der horizontalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle und der ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle ein horizontaler Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  bestimmt, der horizontale Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand der be-
- 25 kannten physikalischen Größen des Verteilermasts in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18\text{ Rück}}$  des Mastbocks um dessen Hochachse überführt, und wobei die durch Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18\text{ Rück}}$  des Mastbocks um dessen Hochachse mit einer der Verteilermastregelroutine zugeführten Ist-Winkel-
- 30 geschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke verglichen und aus diesem Vergleich die Positionierungsstellgrößen  $SD_{18}$  für das dem Mastbock zugeordnete Antriebsaggregat ermittelt werden.

Zu bemerken ist, dass als horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle insbesondere die horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastspitze ermittelt werden kann.

5

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in der Zeichnung in schematischer Weise dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen:

10

Fig. 1 eine Seitenansicht eines Großmanipulators einer Autobetonpumpe mit einem zusammengelegtem Verteilermast;

Fig. 2 und

15

Fig. 3 den Großmanipulator nach Fig. 1 mit dem Verteilermast in unterschiedlichen Arbeitsstellungen;

Fig. 4 ein Knickgelenk mit einem Antriebsaggregat in dem Verteilermast des Großmanipulators;

20

Fig. 5 ein Schema einer ersten Steuereinrichtung für das Steuern der Bewegung des Verteilermasts mit einer Controllerbaugruppe;

Fig. 6 die Koordination der Sollwerterzeugung für Verteilermastposen, der Regelung dieser Posen und der aktiven Bedämpfung von Schwingungen des Verteilermasts mit in der Controllerbaugruppe erzeugten Stellsignalen;

25

Fig. 7 eine erste Verteilermast-Bedämpfungsroutine in der Controllerbaugruppe;

30

- Fig. 8 eine weitere Verteilermast-Bedämpfungsroutine in der Controllerbaugruppe;
- Fig. 9 eine Verteilermast-Regelroutine in der Controllerbaugruppe;
- 5
- Fig. 10 die Koordination der Sollwerterzeugung für Verteilermastposen, der Regelung dieser Posen und der aktiven Bedämpfung von Schwingungen des Verteilermasts mit in einer alternativen Controllerbaugruppe erzeugten Stellsignalen;
- 10
- Fig. 11 eine erste Verteilermast-Bedämpfungsroutine in der Controllerbaugruppe;
- Fig. 12 eine weitere Verteilermast-Bedämpfungsroutine in der Controllerbaugruppe;
- 15
- Fig. 13 ein Schema einer weiteren Steuereinrichtung für das Steuern der Bewegung des Verteilermasts mit einer Controllerbaugruppe;
- Fig. 14 eine Teilansicht der zweiten Steuereinrichtung mit der Controllerbaugruppe;
- 20
- Fig. 15 und Fig. 16 ein Flussdiagramm zu in der Controllerbaugruppe verarbeiteten Größen;
- 25
- Fig. 17 eine Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine in der Controllerbaugruppe; und
- Fig. 18 eine Horizontal-Verteilermastbedämpfungsroutine in der Controllerbaugruppe.
- 30

Die Fig. 1 zeigt einen Großmanipulator in einer Autobetonpumpe 10. Die Autobetonpumpe 10 umfasst ein Transportfahrzeug 12 und enthält eine z. B. als Zweizylinderkolbenpumpe ausgebildete pulsierende Dickstoffpumpe 14. In der Autobetonpumpe 10 ist der Großmanipulator an einem fahrzeugfesten Gestell  
5 16 aufgenommenen. Der Großmanipulator weist einen um eine fahrzeugfeste Hochachse 18 an einem Drehgelenk 28 drehbaren Verteilermast 20 auf. Dieser Verteilermast 20 trägt eine Betonförderleitung 22. Wie in der Fig. 2 und Fig. 3 ersichtlich ist, kann über die Förderleitung 22 Flüssigbeton, der in einen Aufgabebehälter 24 während des Betonierens fortlaufend eingebracht wird, zu  
10 einer von dem Standort des Fahrzeugs 12 entfernt angeordneten Betonierstelle 25 gefördert werden.

Zu bemerken ist, dass der Großmanipulator grundsätzlich nicht nur auf einem Transportfahrzeug an einem fahrzeugfesten Gestell, sondern alternativ hierzu  
15 auch auf einem ortfesten Gestell z. B. auf einer Baustelle angeordnet werden kann. In diesem Fall wird die an dem Verteilermast des Großmanipulators aufgenommene Betonförderleitung an eine vorzugsweise mobile Betonpumpe angeschlossen.

20 Der Verteilermast 20 umfasst einen drehbaren Mastbock 30, der mittels eines Antriebsaggregats 26, das als ein hydraulischer Drehantrieb ausgebildet ist, um die eine Drehachse bildende vertikale Hochachse 18 des Drehgelenks 28 gedreht werden kann. Der Verteilermast 20 enthält einen an dem Mastbock 30 schwenkbaren Knickmast 32, der auf variable Reichweite und Höhendifferenz  
25 zwischen dem Fahrzeug 12 und der Betonierstelle 25 kontinuierlich einstellbar ist. Der Knickmast 32 weist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel fünf durch Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 gelenkig miteinander verbundene Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 auf, die um parallel zueinander und rechtwinklig zur Hochachse 18 des Mastbocks 30 verlaufende Gelenkachsen 54, 56, 58, 60,  
30 62 schwenkbar sind.

Für das Bewegen der Mastarme um die Gelenkachsen 54, 56, 58, 60 und 62 der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 hat der Großmanipulator den Knickgelenken zugeordnete Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84.

- 5 Die Anordnung der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 und die bei dem Verteilermast durch Verstellen der Knickgelenke einstellbaren Knickwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  (Fig. 2) um die Gelenkachsen 54, 56, 58, 60, 62 ermöglichen, dass der Verteilermast 20 mit der aus Fig. 1 ersichtlichen, einer mehrfachen Faltung entsprechenden raumsparenden Transportkonfiguration auf dem
- 10 Fahrzeug 12 ablegbar ist.

Der Knickmast 32 hat eine Mastspitze 64, an der ein Endschlauch 66 angeordnet ist, durch den Flüssigbeton aus der Förderleitung 22 des Verteilermasts 20 zu der Betonierstelle 25 ausgebracht werden kann.

15

- Der Großmanipulator der Autobetonpumpe 10 bildet zusammen mit dem Transportfahrzeug 12 ein schwingungsfähiges System, das im Betrieb von der pulsierend arbeitenden Dickstoffpumpe 14 zu erzwungenen Schwingungen anregbar ist. Diese Schwingungen können zu Auslenkungen der Mastspitze
- 20 64 und des dort hängenden Endschlauchs 66 mit Schwingungsamplituden von bis zu einem Meter oder auch mehr führen, wobei die Frequenzen dieser Schwingungen zwischen 0,5 Hz und einigen Hz liegen.

- Der Großmanipulator der Autobetonpumpe 10 enthält eine Steuereinrichtung
- 25 mit einem Mechanismus, der solche Schwingungen aktiv mittels Erzeugen von Zusatzkräften bzw. Zusatzdrehmomenten durch die Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82, 84 in dem Großmanipulator bedämpft. Diese Zusatzkräfte bzw. Zusatzdrehmomente rufen eine an dem Verteilermast 20 angreifende Dämpfungskraft hervor. Diese Dämpfungskraft ist bevorzugt eine, z. B. an der Mast-
- 30 spitze 64 senkrecht und in der horizontalen Richtung angreifende Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$ , mittels der die rotatorischen Schwingungen des Verteilermasts 20 um die Drehachse 18 abgeschwächt werden (siehe Fig. 3) und/oder eine

Dämpfungskraft  $F_{D||}$ , die an dem Knickmast 32 des Verteilermasts 20 in der vertikalen Richtung angreift (siehe Fig. 2), mittels der die Schwingungen des Verteilermasts 20 in der durch die Drehachse 18 und die Mastspitze 64 definierte Ebene abgeschwächt werden.

5

Zu bemerken ist allerdings, dass bei einer modifizierten Ausführungsform des Großmanipulators der Autobetonpumpe 10 auch vorgesehen sein kann, dass die erzeugten Zusatzkräfte bzw. Zusatzdrehmomente zu einer Dämpfungskraft führen, die entsprechend einer an einer von der Mastspitze 64 beabstandeten Stelle an dem Verteilermast 20 angreift, z. B. an dem ersten, zweiten, 10 dritten oder vierten Mastarm 44, 46, 48, 50, bevorzugt in dem Bereich der Knickgelenke 36, 38, 40 oder 42. Darüber hinaus ist es möglich, dass mehrere Zusatzkräfte und/oder Zusatzdrehmomente mittels der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82, 84 in dem Verteilermast 20 erzeugt werden, die an diesem 15 gleichzeitig angreifen, um ihn zu bedämpfen.

Die Fig. 4 zeigt das Knickgelenk 40 mit einem Abschnitt des Mastarms 48 und einem Abschnitt des Mastarms 50. Um den Mastarm 48 relativ zu dem Mastarm 50 um die Gelenkachse 60 des Knickgelenks 38 zu bewegen, hat der 20 Verteilermast 20 ein als Hydraulikzylinder ausgebildetes Antriebsaggregat 68, dessen Zylinderpartie 70 an dem Mastarm 48 angeschlossen ist und dessen Zylinderstange 72 auf ein an dem Mastarm 50 angelenktes Hebelement 74 wirkt, das über ein Lenkerelement 76 mit dem Mastarm 48 gelenkig verbunden ist.

25

Das Antriebsaggregat 68 erzeugt hier eine in der Richtung des Doppelpfeils 77 wirkende Ist-Kraft  $F_i$ ,  $i = 68$ , die auf das Hebelement 74 übertragen wird und die aufgrund des mit dem Hebelement 74 verbundenen Lenkerelements 76 ein aus dem Mastarm 48 in den Mastarm 50 als Drehmoment eingeleitetes 30 Ist-Moment  $M_i$ ,  $i = 60$  um die Gelenkachse 60 des Knickgelenks 40 bewirkt.

Um die Bewegung der Mastarme des Knickmasts 32 zu steuern, hat der Großmanipulator eine anhand der Fig. 5 nachfolgend erläuterte Steuereinrichtung 86. Die Steuereinrichtung 86 steuert die Bewegung des Knickmasts 32 mit Hilfe von Stellgliedern 90, 92, 94, 96, 98, 100 für die den Knickgelenken 34, 5 36, 38, 40, 42 und dem Drehgelenk 28 zugeordneten Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84.

Durch programmgesteuerte Aktivierung der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84, die den Gelenkachsen 54, 56, 58, 60 und 62 sowie der Drehachse 10 18 einzeln zugeordnet sind, ist der Knickmast 32 in unterschiedlichen Distanzen und/oder Höhendifferenzen zwischen der Betonierstelle 25 und dem Fahrzeugstandort entfaltbar (siehe z. B. Fig. 2 und Fig. 3).

Der Mastführer steuert den Verteilermast 20 z. B. mittels einer Steuerbaugruppe 85 mit einem Steuergerät 87. Das Steuergerät 87 ist als eine Fernsteuerung ausgebildet und enthält Bedienorgane 83 für das Verstellen des Verteilermasts 20 mit dem Knickmast 32, die Steuersignale S erzeugt, die einer Controllerbaugruppe 89 zuführbar sind.

20 Die Steuersignale S werden über eine Funkstrecke 91 zu einem fahrzeugfesten Funkempfänger 93 übertragen, der ausgangsseitig über ein z. B. als CAN-Bus ausgebildetes Bussystem 95 an die Controllerbaugruppe 89 angeschlossen ist.

25 Die Steuereinrichtung 86 enthält eine Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  in der durch die Drehachse 18 und die Mastspitze 64 definierten, zu dem Knickmast 32 parallelen Ebene in einem Koordinatensystem 104, das zu dem Gestell 16 referenziert ist. Die Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  weist einen an dem Mastarm 52 angeordneten Beschleunigungssensor 106 auf, der mit einer Auswertestufe 108 kombiniert ist. Aus dem Signal  $\dot{v}_{||}$  des Beschleunigungssensors 106 wird in der Controllerbaugruppe 89 mittels Integration 30

über die Zeit die vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\parallel}$  in der zu dem Knickmast 32 parallelen, im Regelfall vertikalen Ebene bestimmt, in der die Drehachse 18 des Mastbocks 30 und die Mastspitze 64 liegen.

5 Darüber hinaus enthält die Steuereinrichtung 86 eine Einrichtung 110 zum Ermitteln der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene, in der sich die Mastspitze 64 befindet. Die Einrichtung 110 zum Ermitteln der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  weist einen an dem Mastarm 52 angeordneten Beschleunigungssensor 112 auf, der mit einer Auswertestufe 114 kombiniert ist. Aus dem  
10 Signal  $\dot{v}_{\perp}$  des Beschleunigungssensors 112 wird in der Controllerbaugruppe 89 die Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene bestimmt, die im Regelfall horizontal ist.

15 In einer weiteren, alternativen Ausführungsform des Großmanipulators kann vorgesehen sein, dass die Controllerbaugruppe 89 die mit einer Einrichtung zum Ermitteln der Geschwindigkeit einer Mastarmstelle eines Mastarms ermittelte Geschwindigkeit eines Abschnitts eines Mastarms erhält, z. B. die Geschwindigkeit der Mastspitze, ohne dass diese in der Controllerbaugruppe 89  
20 berechnet werden muss.

Die Steuereinrichtung 86 enthält außerdem eine Einrichtung 116 zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 mit Winkelsensoren 118, 120, 122, 124, 126 und 199 sowie eine Einrichtung  
25 128 zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  um die Hochachse 18 des Drehgelenks 28 mit einem Winkelsensor 129.

In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass in einer weiteren, alternativen Ausführungsform des Großmanipulators vorgesehen sein kann, dass die  
30 Controllerbaugruppe 89 eine Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\parallel}$ , enthält, in der aus der Zeitentwicklung der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 des

Knickmasts 32 und dessen Geometrie die Mastspitzengeschwindigkeit berechnet wird (Vorwärtstransformation).

In der Steuereinrichtung 86 gibt es Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148, die den als Hydraulikzylinder ausgebildeten Antriebsaggregaten 26, 68, 78, 80, 82 und 84 zugeordnet sind. Diese Drucksensoren dienen für das Messen des stangengenseitigen Drucks  $p_{si}$ ,  $i = 130, 134, 138, 142, 146$  und des kolbenseitigen Drucks  $p_{ki}$ ,  $i = 132, 136, 140, 144, 148$  des Hydrauliköls. Die Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148 ermöglichen das Bestimmen der Ist-Kraft  $F_i$ ,  $i = 68, 78, 80, 82, 84$ , die mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 erzeugt und in die Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 des Knickmasts 32 eingeleitet wird.

Für das als ein hydraulischer Drehantrieb ausgebildete Antriebsaggregat 26 weist die Steuereinrichtung 86 einen Drehmomentsensor 150 auf, der für das Erfassen des mittels des Drehantriebs in den Mastbock 30 als Drehmoment eingeleiteten Ist-Moments  $M_i$ ,  $i=18$  ausgelegt ist.

Die Controllerbaugruppe 89 dient für das Ansteuern der Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84. Die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 sind als Proportionalwechselventile ausgebildet, die mit ihren Ausgangsleitungen 101, 103 bodenseitig und stangenseitig an die als doppelwirkende Hydraulikzylinder bzw. als Hydraulikmotor gestalteten Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 angeschlossen sind.

Die Controllerbaugruppe 89 erzeugt aufgrund der Steuersignale  $S$  aus der Steuerbaugruppe 85 Stellsignale  $SW_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98$  und 100 für die Stellglieder der Antriebsaggregate des Verteilmasts 20. Die Posen des Verteilmasts 20 werden durch Auswerten der Stellung der mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124 und 126 erfassten Gelenkwinkel  $\epsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124 und 126 und des mittels des Winkelsensors 129 erfassten

Drehwinkels  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  des Mastbocks 30 um die Drehachse 18 durch Ansteuern der Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 auf mit der Steuerbaugruppe 85 vorgebbare Sollwerte  $W_{\text{Soll}}$  geregelt.

- 5 Die Controllerbaugruppe 89 überlagert dabei Positionierstellgrößen  $SD_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$  für die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100, die dem Regeln der Posen des Verteilermasts 20 auf die Sollwerte  $W_{\text{Soll}}$  dienen, zusätzliche Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$ , mit denen unerwünschten Schwingungen der Mastspitze 64 des Knickmasts 32 in dem
- 10 Verteilermast 20 entgegengewirkt wird.

- Die Controllerbaugruppe 89 hat eine Eingaberoutine 152, mittels der die Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\parallel}$ , die Einrichtung 110 zum Ermitteln der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$
- 15 in einer zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene und die Einrichtung 116 zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 mit den Winkelsensoren 118, 120, 122, 124 und 126 und die Einrichtung 128 zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  um die Hochachse 18 des Drehgelenks 28 mit dem Winkelsensor 129 fortlaufend abgefragt wird.
- 20 Die Eingaberoutine 152 erhält auch fortlaufend die Signale  $p_{\text{Si}}$ ,  $p_{\text{Ki}}$  der Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148. Mittels der Eingaberoutine 152 werden außerdem die Steuersignale  $S$  aus der Steuerbaugruppe 85 eingelesen.

- 25 Die Controllerbaugruppe 89 enthält eine erste Verteilermastbedämpfungsroutine 154 und eine hierzu parallele weitere Verteilermastbedämpfungsroutine 155. Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154 bestimmt aus einer mit der Einrichtung 102 zum Ermitteln der Mastspitzengeschwindigkeit ermittelten Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\parallel}$  in der zu dem Knickmast 32 parallelen Ebene
- 30 eine Solldämpfungskraft

$$F_{D\parallel} = v_{\parallel} D_{\parallel},$$

wobei  $D_{||}$  eine geeignet gewählte Dämpfungskonstante ist. Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154 teilt dann die so ermittelte Solldämpfungskraft  $F_D$  in mehrere Komponentensolldämpfungskräfte  $F_{Di}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  auf, die den einzelnen Knickgelenken 34, 36, 38, 40, 42 zugeordnet sind:

$$F_D = \sum_i n_i F_{Di},$$

wobei die Faktoren  $n_i$  apparatespezifisch gewählte Parameter sind, die der folgenden Randbedingung genügen:

$$\sum_i n_i = 1$$

Aus den Komponentensolldämpfungskräften  $F_{Di}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  und den mittels der Einrichtung 116 zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  für die den Knickgelenken 34, 36, 38, 40, 42 zugeordneten Antriebsaggregate zum Bedämpfen des Verteilermasts 20 wird dann für ein jedes Stellglied 92, 94, 96, 98 und 100 eine Dämpfungsstellgröße  $DS_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$  ermittelt.

20

In der weiteren Verteilermastbedämpfungsroutine 155 der Controllerbaugruppe 89 wird aus der mit der Einrichtung 110 ermittelten horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene ein Solldämpfungsmoment  $M_{D\perp} = v_{\perp} D_{\perp}$  bestimmt. Die Größe  $D_{\perp}$  ist auch hier wiederum eine geeignet gewählte Dämpfungskonstante.

25

Aus dem Solldämpfungsmoment  $M_{D\perp}$  und dem mit der Einrichtung 128 zum Ermitteln des Drehwinkels des Mastbocks 30 um dessen Drehachse 18 ermittelten Drehwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  für das dem Mastbock 30 zugeordnete Antriebsaggregat 26 wird dann für das Stellglied 90 eine Dämpfungsstellgröße  $SD_{90}$  bestimmt.

30

Die Controllerbaugruppe 89 weist eine Ausgaberroutine 162 auf, die auf die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98 und 100 Stellsignale  $SW_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$  ausgibt.

5

Die Controllerbaugruppe 89 enthält eine Verteilermastregelroutine 156 und eine Verteilermastposensollwertroutine 158. Die Verteilermastposensollwertroutine 158 erhält von der Eingaberroutine 152 die Steuersignale  $S$  des Steuergeräts 87 und übersetzt diese in Posensollwerte  $PS_i$  in Form von Sollwerten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 und des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks 30 um die Hochachse 18.

10

Der Verteilermastregelroutine 156 werden von der Eingaberroutine 152 Posenistwerte  $PI_i$  in Form von mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124, 126, 129 erfassten Istwerte der Winkel  $\varepsilon_i$  zugeführt. Mittels eines in der Verteilermastregelroutine 156 implementierten Regelkreises werden in der Controllerbaugruppe 89 aus den Posenistwerten  $PI_i$  und den Posensollwerten  $PS_i$  die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$  für die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98 und 100 der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84 bestimmt.

15

20

In einer Überlagerungsroutine 160 werden dann zu den Positionierungsstellgrößen  $SD_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$  die Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$  addiert und einer Ausgaberroutine 162 zugeführt. Diese leitet entsprechende Stellsignale  $SW_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$ , die als Steuersignale  $SW_i = DS_i + SD_i$  aus den Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  und Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$  gebildet sind, zu den Stellgliedern 92, 94, 96, 98 und 100.

25

Entsprechend wird in einer Überlagerungsroutine 161 das Dämpfungssignal  $DS_{90}$  zu der Positionierungsstellgröße  $SD_{90}$  addiert und der Ausgaberroutine

30

162 zugeführt, welche das entsprechende Summensignal  $SW_{90} = DS_{90} + SD_{90}$  als ein Stellsignal  $SW_{90}$  an das Stellglied 90 übergibt.

Die Fig. 6 zeigt die Controllerbaugruppe 89 mit der Prozessoruhr 192. Mit der  
5 Eingaberoutine 152 in der Controllerbaugruppe 89 werden die mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124, 126 und 129 der Einrichtungen 116, 128 erfassten Winkel der Gelenke des Verteilermasts 20, die Signale der Einrichtungen 102, 110 mit den Beschleunigungssensoren 106, 112, die Signale der Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148 und des  
10 Drehmomentsensors 150 und das Stellsignal S der Steuerbaugruppe 85 in regelmäßigen, von der Prozessoruhr 192 vorgegebenen Zeitabständen  $\Delta t_s$  erfasst.

Die der Eingaberoutine 152 zugeführten Signale der Winkelsensoren werden  
15 der Verteilermastregelroutine 156 in der Controllerbaugruppe 89 als Posenistwerte  $PI_i$ ,  $i = 18, 34, 36, 38, 40, 42$  zugeführt. Das der Eingaberoutine 152 von der Steuerbaugruppe 85 übermittelte Stellsignal S gibt diese an die Verteilermastposensollwertroutine 158 ab.

20 Diese bestimmt damit Posensollwerte  $PS_i$ ,  $i = 18, 34, 36, 38, 40, 42$  in Form von Einstellungen der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke und des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Drehgelenks 28. Die Posensollwerte  $PS_i$  werden in der Verteilermastposensollwertroutine 158 in einem Sollwertspeicher 193 abgelegt. Aus diesem Sollwertspeicher 193 werden die Posensollwerte  $PS_i$   
25 fortlaufend der Verteilermastregelroutine 156 zugeführt.

Die Fig. 7 ist ein Blockschaltbild der ersten Verteilermastbedämpfungsroutine 154 in der Controllerbaugruppe 89 als Blockschaltbild. Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154 weist eine Berechnungsstufe 164 für das Berechnen  
30 der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  in der zu der Drehachse 18 des Verteilermasts 20 und dessen Knickmast 32 parallelen Ebene aus dem Signal der Einrichtung 102 auf. In einer Dämpfungskraftberechnungsstufe 166 wird

auf der Grundlage einer der Verteilermastbedämpfungsroutine 154 zugeführten, empirisch ermittelten Dämpfungskonstante  $D_{||}$  die Dämpfungskraft  $F_{D||}$  errechnet. Die errechnete Dämpfungskraft  $F_{D||}$  wird dann mittels eines Zerlegungsalgorithmus, der in einer als eine dynamische Anpassungsstufe ausgelegten Optimierstufe 168 fortlaufend optimiert wird, in einer Zerlegungsstufe 170 in eine Linearkombination  $F_{D||} = \sum_i n_i F_{D||i}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  einzelner Komponentensolldämpfungskräften  $F_{D||i}$  zerlegt, wobei gilt:

$$\sum_i n_i = 1$$

10

Aus den zu dem Verteilermast 20 bekannten physikalischen Größen der Masse  $m_i$ ,  $i = 44, 46, 48, 50, 52$  und der Länge  $l_i$ ,  $i = 44, 46, 48, 50, 52$  der Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 und der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 werden dann in einer Achsmomentberechnungsstufe 172 die mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 in den Gelenkachsen 54, 56, 58, 60, 62 der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 zu erzeugenden Soll-Drehmomente  $MS_i$ ,  $i = 54, 56, 58, 60, 62$  generiert. Die für das Erzeugen der Soll-Drehmomente  $MS_i$  erforderlichen Verstellkräfte der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 werden darauf in einer Berechnungsstufe 174 als die mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 in den Gelenkachsen 54, 56, 58, 60, 62 der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 zu erzeugenden Komponentensolldämpfungskräfte  $F_{D||i}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  bestimmt.

25 Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154 enthält als Einrichtung 176 zum Ermitteln der Ist-Kraft  $F_i$ , die mittels des dem Gelenk 34, 36, 38, 40, 42 zugeordneten Antriebsaggregats 78, 80, 82, 84 erzeugt wird, eine Kraftberechnungsroutine, welche die Signale der den Antriebsaggregaten 68, 78, 80, 82 und 84 zugeordneten Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 30 148 erhält, um damit anhand der geometrischen Abmessungen der Hydraulizylinder der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 die erzeugte Ist-Kraft

$F_i$ ,  $i = 68, 78, 80, 82, 84$  zu bestimmen, die in die Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 eingeleitet wird.

Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154 hat außerdem eine Regelstufe 178,  
5 der als Regelgröße die in einer Differenzroutine 177 ermittelte Differenz der  
mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 jeweils erzeugten Ist-Kraft  
 $F_i$ ,  $i = 68, 78, 80, 82, 84$  und der entsprechenden Komponentensolldämpfungskraft  
 $F_{Dij}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  zugeführt wird, um damit eine Dämpfungsstellgröße  
10  $DS_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$  für das den Antriebsaggregaten 68, 70, 80,  
82, 84 jeweils zugeordnete Stellglied 92, 94, 96, 98, 100 zu generieren, die an  
die in der Fig. 6 kenntlich gemachte Überlagerungsroutine 160 abgegeben  
wird.

Die Fig. 8 ist ein Blockschaltbild der weiteren Verteilermastbedämpfungsroutine  
15 155 in der Controllerbaugruppe 89. In der Verteilermastbedämpfungsroutine  
155 gibt es eine Berechnungsstufe 182 für das Berechnen der horizontalen  
Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Verteiler-  
masts 20 senkrechten Ebene, in der die Mastspitze 64 angeordnet ist. In einer  
Dämpfungskraftberechnungsstufe 184 wird auf der Grundlage einer der Ver-  
20 teilermastbedämpfungsroutine 155 zugeführten, empirisch ermittelten Dämp-  
fungskonstante  $D_{\perp}$  die Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  errechnet.

Aus den zu dem Verteilermast 20 bekannten physikalischen Größen der  
Masse  $m_i$  und Länge  $l_i$ ,  $i = 44, 46, 48, 50, 52$  der Mastarme 44, 46, 48, 50, 52  
25 und der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke wird dann in  
einer Drehmomentberechnungsstufe 186 das mittels des Antriebsaggregats  
26 zu erzeugende Solldämpfungs Drehmoment  $M_{D\perp 26}$  berechnet.

Die Verteilermastbedämpfungsroutine 155 enthält eine Momentregelstufe  
30 188, der als Regelgröße die in einer Differenzroutine 187 ermittelte Differenz  
des mittels des Antriebsaggregats 26 erzeugten Ist-Drehmoments  $M_{li}$ ,  $i = 26$   
um die Drehachse 18 und dem entsprechenden Solldämpfungs Drehmoment

$M_{D\perp 26}$  zugeführt wird, um damit eine Dämpfungsstellgröße  $DS_i$ ,  $i = 90$  für das Stellglied 90 des Antriebsaggregats 26 zu generieren, die schließlich an die Überlagerungsroutine 161 abgegeben wird.

- 5 Die Fig. 9 ist ein Blockschaltbild der Verteilermastregelroutine 156 in der Controllerbaugruppe 89.

Die Verteilermastregelroutine 156 weist eine Differenzroutine 194 auf, die die Differenz der Posenistwerte  $PI_i$  und der Posensollwerte  $PS_i$  eine Zero-Order-Hold-Filter 196 zuführt, welche diese Differenz durch Multiplikation mit einer  
10 Sampling-Funktion diskretisiert und als Regelgröße einer als PI-Regler ausgebildeten Regelstufe 198 zuführt, welche die Positionierungsstellgröße  $SD_i$  ausgibt.

- 15 Das Zero-Order-Hold-Filter 196 bewirkt, dass nur wenn die Abweichung eines Posenistwerts  $PI_i$  von einem Posensollwert  $PS_i$  einen Schwellwert überschreitet, die Regelstufe 198 eine von dem Wert Null verschiedene Regelgröße erhält und erst dann eine entsprechende Positionierungsstellgröße  $SD_i$  für die Posenkorrektur abgibt. Demgegenüber regeln die Verteilermastbedämpfungsroutine 154, 155 durch Bereitstellen der Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  die Dämpfungskraft  $F_{D||}$ , bzw.  $F_{D\perp}$  für das Bedämpfen von Mastschwingungen kontinuierlich.  
20

Die mit der Verteilermastregelroutine 156 aus den Posensollwerten  $PS_i$  und den Posenistwerten  $PI_i$  erzeugten Positionierungsstellgröße  $SD_i$  werden in den  
25 Überlagerungsroutinen 160 bzw. 161 mit den Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  aus den Verteilermastbedämpfungsroutinen 154, 155 kombiniert und dann als das Stellsignal  $SW_i$  an die Ausgaberoutine 162 gegeben, die den Stellgliedern 90, 92, 94, 96, 98, 100 das entsprechende Stellsignal  $SW_i$  jeweils zuführt. Die  
30 Überlagerungsroutinen 160 bzw. 161 sind dabei als eine Addieroutine ausgebildet, die den Ansteuersignalen die Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  aufaddiert.

Die Verteilermastbedämpfungsroutinen 154, 155, die Verteilermastregelroutine 156 und die Verteilermastposensollwertroutine 158 arbeiten im Takt der Prozessoruhr 192 und werden in der Controllerbaugruppe 89 aufgerufen. Ein Aufruf der Verteilermastposensollwertroutine 158 erfolgt dabei zu Zeiten  $t_3$  erst nach mehrfachen Aufrufen der Verteilermastbedämpfungsroutinen 154, 155, wobei die Verteilermastbedämpfungsroutinen 154, 155 in diesem Fall zu den Zeiten  $t_1 \ll t_3$  aufgerufen werden. Die Verteilermastregelroutine 156 wird zu den Zeiten  $t_2$  erst nach mehrfachem Aufruf der Verteilermastbedämpfungs-  
5 routinen 154, 155, jedoch wischen zwei Verteilermastposensollwert Routinen 158 aufgerufen. Dabei gilt:  $t_1 \ll t_2 \ll t_3$ .

Die Fig. 10 zeigt eine Controllerbaugruppe 89' für den Einsatz in der Steuereinrichtung 86. Soweit die Baugruppen und Elemente zur Koordination der Sollwerterzeugung für Verteilermastposen, der Regelung dieser Posen und der aktiven Bedämpfung von Schwingungen des Verteilermasts mit in der Controllerbaugruppe 89' erzeugten Stellsignalen den Baugruppen und Elementen zur Koordination der Sollwerterzeugung für Verteilermastposen, der Regelung dieser Posen und der aktiven Bedämpfung von Schwingungen des Verteilermasts mit in der Controllerbaugruppe 89 erzeugten Stellsignalen funktional entsprechen, sind diese durch die gleichen Zahlen als Bezugszeichen  
15 kenntlich gemacht.

Im Unterschied zu der Controllerbaugruppe 89 ist in der Controllerbaugruppe 89' die Reglerintegration in einer seriellen Struktur realisiert. Die Controllerbaugruppe 89' enthält hierzu wiederum eine erste Verteilermastbedämpfungs-  
25 routine 154' und eine hierzu parallele weitere Verteilermastbedämpfungs- routine 155' für das Erzeugen von Stellsignalen  $SW_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$ , die mittels der Ausgaberroutine 162 auf die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98 und 100 ausgegeben werden.

30

Die Fig. 11 und Fig. 12 zeigen die erste Verteilermastbedämpfungsroutine 154' und die weitere Verteilermastbedämpfungsroutine 155' in der

Controllerbaugruppe 89' jeweils als Blockschaltbild. Soweit die Verteilermastbedämpfungsroutine 154', 155' der anhand der Fig. 7 bzw. Fig. 8 erläuterten Verteilermastbedämpfungsroutine 154 bzw. 155 entspricht, sind diese durch die gleichen Zahlen als Bezugszeichen kenntlich gemacht.

5

Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154' weist hier wiederum eine Berechnungsstufe 164 für das Berechnen der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  in der zu der Drehachse 18 des Verteilermasts 20 und dessen Knickmast 32 parallelen Ebene aus dem Signal der Einrichtung 102 auf. In einer Dämpfungskraftberechnungsstufe 166 wird auf der Grundlage einer der Verteilermastbedämpfungsroutine 154 zugeführten, empirisch ermittelten Dämpfungskonstante  $D_{||}$  die Dämpfungskraft  $F_{D||}$  errechnet. Die errechnete Dämpfungskraft  $F_{D||}$  wird dann mittels eines Zerlegungsalgorithmus, der in einer als eine dynamische Anpassungsstufe ausgelegten Optimierstufe 168 fortlaufend optimiert wird, in einer Zerlegungsstufe 170 in eine Linearkombination  $F_{D||} = \sum_i n_i F_{D||i}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  einzelner Komponentensolldämpfungskräften  $F_{D||i}$  zerlegt, wobei gilt:

10

15

$$\sum_i n_i = 1$$

20

Aus den zu dem Verteilermast 20 bekannten physikalischen Größen der Masse  $m_i$ ,  $i = 44, 46, 48, 50, 52$  und der Länge  $l_i$ ,  $i = 44, 46, 48, 50, 52$  der Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 und der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 werden dann in einer Achsmomentberechnungsstufe 172 die mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 in den Gelenkachsen 54, 56, 58, 60, 62 der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 zu erzeugenden Soll-Drehmomente  $MS_i$ ,  $i = 54, 56, 58, 60, 62$  generiert. Die für das Erzeugen der Soll-Drehmomente  $MS_i$  erforderlichen Verstellkräfte der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 werden darauf in der Berechnungsstufe 174 als die mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 in den

25

30

Gelenkachsen 54, 56, 58, 60, 62 der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 zu erzeugenden Komponentensoldämpfungskräfte  $F_{D||i}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  bestimmt.

- 5 Die Verteilermastbedämpfungsroutine 154' enthält als Einrichtung 176 zum Ermitteln der Ist-Kraft eine Kraftberechnungsroutine, welche die Signale der den Antriebsaggregaten 68, 78, 80, 82 und 84 zugeordneten Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148 erhält, um damit anhand der geometrischen Abmessungen der Hydraulikzylinder der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 die erzeugte Ist-Kraft  $F_i$ ,  $i = 68, 78, 80, 82, 84$  zu bestimmen, die in die Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 eingeleitet wird.

Anders als die Verteilermastbedämpfungsroutine 154 erhält die Verteilermastbedämpfungsroutine 154' von der Verteilermastregelroutine 156 auch die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  direkt, um es in einer Überlagerungsroutine 160' in Überlagerung zu der Ist-Kraft  $F_i$  der Differenzroutine 177 zuzuführen. Von der Differenzroutine 177 erhält die Regelstufe 178 als eine Regelgröße die ermittelte Differenz der mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 jeweils erzeugten Ist-Kraft  $F_i$ ,  $i = 68, 78, 80, 82, 84$  mit den überlagerten Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  und der entsprechenden Komponentensoldämpfungskraft  $F_{D||i}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$ , um damit die Dämpfungstellgröße  $DS_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$  für das den Antriebsaggregaten 68, 70, 80, 82, 84 jeweils zugeordnete Stellglied 92, 94, 96, 98, 100 zu generieren, das an die Überlagerungsroutine 160 abgegeben wird.

25

In der Verteilermastbedämpfungsroutine 155' gibt es wiederum eine Berechnungsstufe 182 für das Berechnen der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Verteilermasts 20 senkrechten Ebene, in der die Mastspitze 64 angeordnet ist. In einer Dämpfungskraftberechnungsstufe 184 wird auf der Grundlage einer der Verteilermastbedämpfungsroutine 155 zugeführten, empirisch ermittelten Dämpfungskonstante  $D_{\perp}$  die Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  errechnet.

30

Aus den zu dem Verteilermast 20 bekannten physikalischen Größen der Masse  $m_i$  und Länge  $l_i$ ,  $i = 44, 46, 48, 50, 52$  der Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 und der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke wird dann in  
5 einer Drehmomentberechnungsstufe 186 das mittels des Antriebsaggregats 26 zu erzeugenden Solldämpfungs-drehmoment  $M_{D\perp 26}$  berechnet.

Der Verteilermastbedämpfungsroutine 155' wird das mittels des Antriebsaggregats 26 erzeugte Ist-Drehmoment  $M_{I_i}$ ,  $i = 26$  und im Unterschied zu der  
10 Verteilermastbedämpfungsroutine 155 auch die entsprechende Positionierungsstellgröße  $SD_i$ ,  $i = 26$  zugeführt, um es in einer Überlagerungsroutine 161' dem mittels des Antriebsaggregats 26 erzeugten Ist-Drehmoment  $M_{I_i}$ ,  $i = 26$  um die Drehachse 18 zu überlagern und dann der Differenzroutine 187 zuzuführen. Die Differenzroutine 187 ermittelt die Differenz des mittels des Antriebsaggregats 26 erzeugten Ist-Drehmoments  $M_{I_i}$ ,  $i = 26$  um die Drehachse  
15 18 mit der überlagerten Positionierungsstellgröße  $SD_i$ ,  $i = 26$  und dem entsprechenden Solldämpfungs-drehmoment  $M_{D\perp 26}$ . Diese Differenz bildet eine Regelgröße für die Momentregelstufe 188, die damit eine Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$ ,  $i = 90$  für das Stellglied 90 des Antriebsaggregats 26 zu generiert, das  
20 schließlich an die Überlagerungsroutine 161 abgegeben wird.

Die Fig. 13 zeigt ein Schema einer zu der vorstehend beschriebenen ersten Steuereinrichtung alternativen weiteren Steuereinrichtung 86' für das Steuern der Bewegung des Verteilermasts 20 mit einer Controllerbaugruppe 89' in einem weiteren Großmanipulator, dessen Aufbau dem Aufbau des anhand der  
25 Fig. 1 bis Fig. 4 beschriebenen Großmanipulators entspricht. Auch dieser Großmanipulator enthält einen an einem Mastbock 30 schwenkbaren Knickmast 32, der an einem fahrzeugfesten Gestell 16 aufgenommen ist und der um eine fahrzeugfeste Hochachse 18 an einem Drehgelenk 28 gedreht werden kann.  
30

Soweit die Baugruppen und Elemente der weiteren Steuereinrichtung 86' den Baugruppen und Elementen der ersten Steuereinrichtung 86 entsprechen, sind diese durch die gleichen Bezugszeichen kenntlich gemacht.

- 5 Auch in dem weiteren Großmanipulator dient die weitere Steuereinrichtung 86' für das Steuern der Bewegung der Mastarme des Knickmasts 32. Die weitere Steuereinrichtung 86' steuert die Bewegung des Knickmasts 32 mit Hilfe von Stellgliedern 90, 92, 94, 96, 98, 100 für die den Knickgelenken 34, 36, 38, 40, 42 und dem Drehgelenk 28 zugeordneten Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 10  
82 und 84.

Durch programmgesteuerte Aktivierung der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84, die den Gelenkachsen 54, 56, 58, 60 und 62 sowie der Drehachse 18 einzeln zugeordnet sind, ist der Knickmast 32 in unterschiedlichen Distanzen und/oder Höhendifferenzen zwischen der Betonierstelle 25 und dem Fahrzeugstandort entfaltbar (siehe z. B. Fig. 2 und Fig. 3).  
15

Der Mastführer steuert auch hier den Verteilermast 20 z. B. mittels einer Steuerbaugruppe 85 mit einem Steuergerät 87. Das Steuergerät 87 ist als eine Fernsteuerung ausgebildet und enthält Bedienorgane 83 für das Verstellen des Verteilermasts 20 mit dem Knickmast 32, die Steuersignale S erzeugt, die einer Controllerbaugruppe 89 zuführbar sind.  
20

Die Steuersignale S werden über eine Funkstrecke 91 zu einem fahrzeugfesten Funkempfänger 93 übertragen, der ausgangsseitig über ein z. B. als CAN-Bus ausgebildetes Bussystem 95 an die Controllerbaugruppe 89 angeschlossen ist.  
25

Die Steuereinrichtung 86' enthält eine in der Fig. 13 gezeigte Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  in der durch die Drehachse 18 und die Mastspitze 64 definierten, zu dem Knickmast 32 parallelen Ebene in einem Koordinatensystem 104, das zu dem Gestell 16  
30

- referenziert ist. Die Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  weist einen an dem Mastarm 52 angeordneten Beschleunigungssensor 106 auf, der mit einer Auswertestufe 108 kombiniert ist. Aus dem Signal  $\dot{v}_{||}$  des Beschleunigungssensors 106 wird in der Controllerbaugruppe 89' mittels Integration über die Zeit die vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  in der zu dem Knickmast 32 parallelen, im Regelfall vertikalen Ebene bestimmt, in der die Drehachse 18 des Mastbocks 30 und die Mastspitze 64 liegen.
- 10 Darüber hinaus enthält die Steuereinrichtung 86' eine Einrichtung 110 zum Ermitteln der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene, in der sich die Mastspitze 64 befindet. Die Einrichtung 110 zum Ermitteln der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  weist einen an dem Mastarm 52 angeordneten Beschleunigungssensor 112 auf, der mit einer Auswertestufe 114 kombiniert ist. Aus dem Signal  $\dot{v}_{\perp}$  des Beschleunigungssensors 112 wird in der Controllerbaugruppe 89' die horizontale Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in der zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene bestimmt, die im Regelfall horizontal ist.
- 20 Zu bemerken ist, dass in einer weiteren, zu der vorstehend beschriebenen Ausführungsform alternativen Ausführungsform des Großmanipulators zusätzlich oder alternativ zu Einrichtungen 102, 110 zum Ermitteln der Mastspitzengeschwindigkeit auch eine Einrichtung vorgesehen sein kann, die für das
- 25 Ermitteln der Geschwindigkeit einer von der Mastspitze 64 des Knickmasts 32 verschiedenen Mastarmstelle eines der Mastarme dient. Zu bemerken ist darüber hinaus, dass grundsätzlich auch mehrere Einrichtungen vorgesehen sein können, die für das Ermitteln der Geschwindigkeit einer von der Mastspitze 64 des Knickmasts 32 verschiedenen Mastarmstelle eines der Mastarme dienen.
- 30 Insbesondere kann der Großmanipulator hierfür Beschleunigungssensoren 106', 112' aufweisen, die an den Mastarmen 44, 46, 48 und 50 des Knickmasts 32 angeordnet sind (siehe Fig. 2).

Zu bemerken ist außerdem, dass in einer weiteren, alternativen Ausführungsform des Großmanipulators vorgesehen sein kann, dass die Controllerbaugruppe 89' die mit einer Einrichtung zum Ermitteln der Geschwindigkeit einer Mastarmstelle eines Mastarms ermittelte Geschwindigkeit eines Abschnitts eines Mastarms erhält, z. B. die Geschwindigkeit der Mastspitze, ohne dass diese in der Controllerbaugruppe 89' berechnet werden muss.

Die Steuereinrichtung 86' enthält außerdem eine Einrichtung 116 zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 mit Winkelsensoren 118, 120, 122, 124, 126 und 199 sowie eine Einrichtung 128 zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  um die Hochachse 18 des Drehgelenks 28 mit einem Winkelsensor 129.

In der Steuereinrichtung 86' gibt es Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148, die den als Hydraulikzylinder ausgebildeten Antriebsaggregaten 26, 68, 78, 80, 82 und 84 zugeordnet sind. Diese Drucksensoren dienen für das Messen des stangengenseitigen Drucks  $p_{si}$ ,  $i = 130, 134, 138, 142, 146$  und des kolbenseitigen Drucks  $p_{ki}$ ,  $i = 132, 136, 140, 144, 148$  des Hydrauliköls. Die Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148 ermöglichen das Bestimmen der Ist-Kraft  $F_i$ ,  $i = 68, 78, 80, 82, 84$ , die mittels der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 erzeugt und in die Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 des Knickmasts 32 eingeleitet wird.

Für das als ein hydraulischer Drehantrieb ausgebildete Antriebsaggregat 26 weist die Steuereinrichtung 86' einen Drehmomentsensor 150 auf, der für das Erfassen des mittels des Drehantriebs in den Mastbock 30 als Drehmoment eingeleiteten Ist-Moments  $M_i$ ,  $i=18$  ausgelegt ist.

Die Controllerbaugruppe 89' dient für das Ansteuern der Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84. Die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 sind als Proportionalwechselventile ausgebildet,

die mit ihren Ausgangsleitungen 101, 103 bodenseitig und stangenseitig an die als doppelwirkende Hydraulikzylinder bzw. als Hydraulikmotor gestalteten Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82 und 84 angeschlossen sind.

5 Die Controllerbaugruppe 89' erzeugt aufgrund der Steuersignale S aus der Steuerbaugruppe 85 Stellsignale  $SW_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98$  und 100 für die Stellglieder der Antriebsaggregate des Verteilermasts 20. Die Posen des Verteilermasts 20 werden durch Auswerten der Stellung der mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124 und 126 erfassten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36,$   
10 38, 40, 42 der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124 und 126 und des mittels des Winkelsensors 129 erfassten Drehwinkels  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  des Mastbocks 30 um die Drehachse 18 durch Ansteuern der Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 auf mit der Steuerbaugruppe 85 vorgebbare Sollwerte  $W_{\text{Soll}}$  geregelt.

15

Die Controllerbaugruppe 89' hat eine Eingaberoutine 152, mittels der die Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\parallel}$ , die Einrichtung 110 zum Ermitteln der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  in einer zu der Drehachse 18 des Mastbocks 30 senkrechten Ebene und die  
20 Einrichtung 116 zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42 mit den Winkelsensoren 118, 120, 122, 124 und 126 und die Einrichtung 128 zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_i$ ,  $i = 18$  um die Hochachse 18 des Drehgelenks 28 mit dem Winkelsensor 129 fortlaufend mit einer Taktzeit  $t_1$  abgefragt wird. Erfindungsgemäß ist die Taktzeit  $t_1$  sehr viel kleiner als  
25 die charakteristische Periode  $T_G$  einer Grundschwingung des Verteilermasts. Von Vorteil ist es, wenn die Taktzeit  $t_1$  auch sehr viel kleiner als eine charakteristische Periode  $T_n$  einer ersten, zweiten, dritten oder auch höheren Oberschwingung des Verteilermasts ist.

30 Die Eingaberoutine 152 erhält auch fortlaufend die stangen- und kolbenseitigen Drücke  $p_{Si}$ ,  $p_{Ki}$  als Signale der Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138,

140, 142, 144, 146, 148. Mittels der Eingaberoutine 152 werden außerdem die Steuersignale S aus der Steuerbaugruppe 85 eingelesen.

Die Controllerbaugruppe 89' weist außerdem einen Routinenkomplex 153 mit  
5 einer Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 und einer Verteiler-  
mast-Horizontal-Bedämpfungsroutine 1155 sowie einer Verteilermastregel-  
routine 1156 auf. Die Verteilermast-Bedämpfungsroutinen 1154, 1155 und die  
Routinen in dem Routinenkomplex 153 mit der Verteilermastregelroutine 1156  
arbeiten im Takt der Prozessoruhr 192 und werden in der Controllerbaugruppe  
10 89' aufgerufen.

In der Controllerbaugruppe 89' gibt es eine Ausgaberoutine 162, die auf die  
Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98 und 100 Stellsignale  $SW_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98,$   
100 ausgibt. Die Verteilermastregelroutine 1156 führt der Ausgaberoutine 162  
15 geregelte Posenwerte  $PG_i$  zu.

Die Fig. 6 ist eine vergrößerte Ansicht der Controllerbaugruppe 89'. Die Fig. 7,  
Fig. 8, Fig. 9 und Fig. 10 dienen der Erläuterung des Regelalgorithmus der  
Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 und der Verteilermast-Hori-  
20 zontal-Bedämpfungsroutine 1155 in der Controllerbaugruppe 89'.

Die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 erhält von der Eingabe-  
routine 152 mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  die Signale  $p_{Si}$ ,  $p_{Ki}$  der Drucksensoren 130,  
132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148. Die Taktzeit  $t_2$  genügt dabei be-  
25 vorzugt folgender Beziehung:  $T_G \gg t_2$ .

Der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 werden außerdem die  
mittels der Einrichtung 116 erfassten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$   
und die mittels der Einrichtung 102 ermittelte vertikale Mastspitzengeschwin-  
30 digkeit  $v_{||}$  mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152 zugeführt. In die  
Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 werden darüber hinaus in ei-  
nem Datenspeicher abgelegte Konfigurationsdaten des Großmanipulators aus

der Gruppe stangenseitige Zylinderflächen Aki und bodenseitigen Zylinderflächen Asi mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152 eingespeist.

5 In der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 gibt es eine Einrichtung 176 für das Berechnen der Ist-Kraft  $F_i$ , die mittels der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84 jeweils erzeugt wird. Die Einrichtung 176 für das Berechnen der Ist-Kraft  $F_i$  erhält hierfür die Signale  $p_{si}$ ,  $p_{ki}$  der Drucksensoren 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148 und berechnet aus diesen anhand der stangen- und bodenseitigen Zylinderflächen Aki, Asi der Kolben in  
10 den Hydraulikzylindern jeweils die von einem Antriebsaggregat 26, 68, 78, 80, 82 und 84 bereitgestellte Ist-Kraft  $F_i$ .

In einer Berechnungsstufe 1174 in der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 werden die berechneten Ist-Kräfte  $F_i$  anhand der ermittelten Gelenkwinkeln  $\epsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  und anhand der bekannten physikalischen  
15 Größen des Verteilermasts 20 in Ist-Momente  $M_i$  überführt.

Aus diesen Ist-Momenten  $M_i$  werden dann in einer Kraftberechnungsstufe 1172 anhand der Gelenkwinkel  $\epsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  und aus den bekannten  
20 physikalischen Größen des Verteilermasts 20, insbesondere aus der Länge  $l_i$  der Mastarme 44, 46, 48, 50 und 52, eine an der Mastspitze 64 angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  bestimmt.

Die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 enthält eine Sollgeschwindigkeits-Berechnungsstufe 1166. Die Sollgeschwindigkeits-Berechnungsstufe 1166 überführt die berechnete, an der Mastspitze 64 angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  durch Division mit einer empirischen Konstante  $D_{||}$  in eine vertikale Soll-Geschwindigkeit  $v_{||soll}$  der Mastspitze 64.

30 Die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 weist außerdem eine Differenzroutine 1177 auf. In der Differenzroutine 1177 wird die vertikale Soll-Geschwindigkeit  $v_{||soll}$  der Mastspitze 64 einem Vergleich mit der vertikalen

Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  unterzogen, die in der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 entweder durch eine zeitliche Integration des Signals  $\dot{v}_{||}$  des Beschleunigungssensors 106 als Wert der Mastspitzenbeschleunigung in der Integrationsstufe 181 berechnet wird oder die der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 als eine Messgröße zugeführt wird.

Die Differenzroutine 1177 bildet aus der vertikalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastspitze 64 und der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$  den vertikalen Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  als die Differenz zwischen der vertikalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastspitze 64 und der vertikalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||}$ .

Der vertikale Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  wird dann in der Controllerbaugruppe 89' einem Differenzglied 165 in dem Routinenkomplex 153 zugeführt. Das Differenzglied 165 erhält die von dem Mastführer an dem Bedienorgan 83 der Steuerbaugruppe 85 eingestellte vertikale Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||V}$  mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152. Aufgabe des Differenzglieds 165 ist es, aus der vertikalen Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||V}$  und dem vorstehend definierten vertikalen Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  die Differenz zu bilden und diese Größe als eine vertikale Vorgabe-Mastspitzen-Sollgeschwindigkeit  $v_{||V\text{-SOLL}}$  einer Vertikal-Rückwärtstransformationsroutine 157 in dem Routinenkomplex 153 der Controllerbaugruppe 89 zuzuführen.

Die Vertikal-Rückwärtstransformationsroutine 157 überführt die Vorgabe-Mastspitzen-Sollgeschwindigkeit  $v_{||V\text{-SOLL}}$  anhand der mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152 zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts 20, insbesondere der Länge  $l_i$  der Mastarme 44, 46, 48, 50 und 52, und anhand der von dem Mastführer an dem Bedienorgan 83 der Steuerbaugruppe 85 eingestellten vertikalen Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||V}$  in eine entsprechende Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i^{\text{Rück}}$  der Knickgelenke 34, 36, 38, 40, 42.

Diese Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i \text{Rück}$  wird dann in der Controllerbaugruppe 89 einer als Integrationsstufe ausgebildeten Winkelgeschwindigkeits-Berechnungsstufe 163 in dem Routinenkomplex 153 zugeführt, welche die Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i \text{Rück}$  über ein konstantes Zeitintervall  $\Delta t$  zu einem Sollwinkel  $\varepsilon_{i\_soll}$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  integriert, d. h. zu den Sollwerten für die Winkel  $\varepsilon_i$  der Mastarme 44, 46, 48, 50 und 52, um sie dann in dem Sollwertspeicher 193 in dem Routinenkomplex 153 abzulegen. Diese Sollwerte der Winkel  $\varepsilon_i$  der Mastarme 44, 46, 48, 50 und 52 definieren Mastposen des Verteilmasts 20.

Aus diesem Sollwertspeicher 193 werden die Posensollwerte  $\varepsilon_{PSI}$  fortlaufend der Verteilmastregelroutine 1156 zugeführt.

Die Verteilmast-Horizontal-Bedämpfungsroutine 1155 erhält von der Eingaberoutine 152 mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152 die Signale des Drehmomentsensors 150 für das Erfassen des mittels des Drehantriebs in den Mastbock 30 als Drehmoment eingeleiteten Ist-Moments  $M_i$ ,  $i=18$ .

In einer Berechnungsstufe 175 in der Verteilmast-Horizontal-Bedämpfungsroutine 1155 wird das Ist-Moment  $M_i$ ,  $i=18$  anhand der ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$ ,  $i = 34, 36, 38, 40, 42$  und anhand der bekannten physikalischen Größen des Verteilmasts 20 in eine an der Mastspitze 64 des Verteilmasts angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  überführt.

25

Die Verteilmast-Horizontal-Bedämpfungsroutine 1155 enthält eine Sollgeschwindigkeits-Berechnungsstufe 1166. Die Sollgeschwindigkeits-Berechnungsstufe 1166 überführt die berechnete, an der Mastspitze 64 angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  mittels Division durch eine empirisch ermittelte Konstante  $D_{\perp}$  in eine horizontale Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\_soll}$  der Mastspitze 64.

30

Die Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine 1155 weist außerdem eine Differenzroutine 179 auf. In der Differenzroutine 179 wird die horizontale Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastspitze 64 einem Vergleich mit der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  unterzogen, die in der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 entweder durch eine zeitliche Integration des Signals  $\dot{v}_{\perp}$  des Beschleunigungssensors 112 als Wert der Mastspitzenbeschleunigung in der Integrationsstufe 181 berechnet oder die alternativ hierzu der Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine 1154 als eine Messgröße zugeführt wird.

10

Die Differenzroutine 179 bildet aus der horizontalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastspitze 64 und der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$  den horizontalen Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  als die Differenz zwischen der horizontalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastspitze 64 und der horizontalen Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp}$ .

15

Der horizontale Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  wird dann in der Controllerbaugruppe 89' einem weiteren Differenzglied 165' in dem Routinenkomplex 153 zugeführt. Das Differenzglied 165' erhält die von dem Mastführer an dem Bedienorgan 83 der Steuerbaugruppe 85 eingestellte horizontale Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp V}$  mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152.

20

Aufgabe des weiteren Differenzglieds 165' ist es, aus der mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152 bereitgestellten horizontalen Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{\perp V}$  und dem vorstehend definierten horizontalen Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  die Differenz zu bilden und diese Größe, die einer Kreisbogengeschwindigkeit der Mastspitze 64 entspricht, als eine horizontale Vorgabe-Mastspitzen-Sollgeschwindigkeit  $v_{\perp V\text{-SOLL}}$  einer Horizontal-Rückwärts-transformation routine 159 in dem Routinenkomplex 153 der Controllerbaugruppe 89' zuzuführen.

25

30

Die Horizontal-Rückwärtstransformationsroutine 159 überführt die Vorgabe- Mastspitzen-Sollgeschwindigkeit  $v_{LV-SOLL}$  anhand der mit der Taktzeit  $t_2 \geq t_1$  von der Eingaberoutine 152 zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts 20 in eine entsprechende Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18Rück}$  des Drehgelenks 28 um die Hochachse 18.

Diese Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18Rück}$  wird dann in der Controllerbaugruppe 89' einer weiteren als Integrationsstufe ausgebildeten Winkelgeschwindigkeits-Berechnungsstufe 163' in dem Routinenkomplex 153 zugeführt, welche die Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18Rück}$  über ein konstantes Zeitintervall  $\Delta t$  zu einem Sollwinkel  $\varepsilon_{18Rück}$  integriert, um diesen dann ebenfalls in dem Sollwertspeicher 193 abzulegen.

Aus diesem Sollwertspeicher 193 werden die Posensollwerte  $PS_i$  fortlaufend der Verteilermastregelroutine 1156 zugeführt.

Die Verteilermastregelroutine 1156 erhält von der Eingaberoutine 152 Posenistwerte  $PI_i$  in Form von mittels der Winkelsensoren 118, 120, 122, 124, 126, 129 erfassten Istwerte der Winkel  $\varepsilon_i$ . Mittels eines in der Verteilermastregelroutine 1156 implementierten Regelkreises werden in der Controllerbaugruppe 89 dann aus den Posenistwerten  $PI_i$  und den Posensollwerten  $PS_i$  die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$  für die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98 und 100 der Antriebsaggregate 26, 68, 78, 80, 82 und 84 bestimmt.

Die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$ ,  $i = 90, 92, 94, 96, 98, 100$  für die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98 und 100 werden einer Ausgaberroutine 162 zugeführt. Diese leitet entsprechende Stellsignale  $SW_i$ ,  $i = 92, 94, 96, 98, 100$ , die als Steuersignale aus den Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  gebildet sind, zu den Stellgliedern 92, 94, 96, 98 und 100.

Zu bemerken ist, dass in einer alternativen Ausführungsform der Controllerbaugruppe 89 vorgesehen sein kann, dass die Routinen in dem Routinenkomplex 153 nur jedes n-te von der Eingaberoutine 152 mit der Taktzeit  $t_1$  bereitgestellte Signal aus der Gruppe Posenistwerte  $P_i$ , Signale  $p_{si}$ ,  $p_{ki}$  der Drucksensoren, vertikale Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit  $v_{||V}$ , Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke, etc. berücksichtigen.

Indem die Taktzeit  $t_2$  der Beziehung:  $T_G \gg t_2$  genügt oder indem für jedes n-te von der Eingaberoutine 152 mit der Taktzeit  $t_1$  bereitgestellte Signal aus der vorgenannten Gruppe gilt:  $T_G \gg n t_1$ , lässt sich ein Rechenzeit optimierendes Laufzeitverhalten der der Routinen in der Controllerbaugruppe 89' erzielen, die für das aktive Bedämpfen von unerwünschten Schwingungen des Großmanipulators der Autobetonpumpe 10 dienen. Die Häufigkeit von Aufrufen der Vertikal-Rückwärtstransformationsroutine 157 und der Horizontal-Rückwärtstransformationsroutine 159 wird auf diese Weise minimiert und die Häufigkeit von Aufrufen der Eingaberoutine 152 sowie der Verteilermastregelroutine 1156 in der Controllerbaugruppe 89' wird auf diese Weise maximiert. Bei dem Großmanipulator bewirkt dies ein Optimieren des Laufzeitverhaltens insgesamt.

Zusammenfassend sind folgende bevorzugte Merkmale der Erfindung festzuhalten: Ein Großmanipulator für Betonpumpen hat einen Verteilermast 20. Der Verteilermast 20 weist einen an dem Mastbock 30 aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen 44, 46, 48, 50, 52 zusammengesetztem Knickmast 32 mit einer Mastspitze 64 und mit mehreren Gelenken 34, 36, 38, 40, 42 für das Verschwenken der Mastarme 44, 46, 48, 50, 52 gegenüber dem Mastbock 30 oder einem benachbarten Mastarm 44, 46, 48, 50, 52 auf und enthält eine Steuereinrichtung 86 für das Steuern der Bewegung des Knickmasts 32 mit Hilfe von Antriebsaggregatstellgliedern 90, 92, 94, 96, 98 100 für den Knickgelenken 34, 36, 38, 40, 42 jeweils zugeordnete Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82, 94. Der Großmanipulator enthält eine Einrichtung 102 zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  und/oder

horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm 44, 46, 48, 50, 52 in einem zu dem Gestell 16 referenzierten Koordinatensystem 104. Er hat außerdem eine Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel 116 der Gelenke 34, 36, 38, 40, 42. Die Steuereinrichtung 86 steuert die Bewegung des Knickmasts 32 durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder 90, 92, 94, 96, 98, 100 der Antriebsaggregate 68, 78, 80, 82, 84, die von einer mittels der Einrichtung 102 zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_{\parallel}$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{\parallel}$  und/oder horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung 116 zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke 34, 36, 38, 40, 42 ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke 34, 36, 38, 40, 42 und/oder von einem Drehwinkel  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks 30 um eine Hochachse 18 sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät 87 erzeugten Steuersignalen S zum Verstellen des Verteilermasts 20 abhängen.

**Bezugszeichenliste**

	10	Autobetonpumpe
	12	Transportfahrzeug
5	14	Dickstoffpumpe
	16	fahrzeugfestes Gestell
	18	Drehachse (Hochachse)
	20	Verteilmast
	22	Betonförderleitung
10	24	Aufgabebehälter
	25	Betonierstelle
	26	Antriebsaggregat
	28	Drehgelenk
	30	Mastbock
15	32	Knickmast
	34, 36, 38, 40, 42	Knickgelenke
	44, 46, 48, 50, 52	Mastarme
	54, 56, 58, 60, 62	Gelenkachsen
	64	Mastarmstelle, z. B. Mastspitze
20	66	Endschlauch
	68	Antriebsaggregat
	70	Zylinderpartie
	72	Zylinderstange
	74	Hebelelement
25	76	Lenkerelement
	77	Doppelpfeil
	78, 80, 82, 84	Antriebsaggregat
	83	Bedienorgan
	85	Steuerbaugruppe
30	86, 86'	Steuereinrichtung
	87	Steuergerät
	89, 89'	Controllerbaugruppe

	90, 92, 94, 96, 98, 100	Stellglieder
	91	Funkstrecke
	93	Funkempfänger
	95	Bussystem
5	101	Ausgangsleitung
	102	Einrichtung zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit
	103	Ausgangsleitung
	104	Koordinatensystem
10	106, 106'	Beschleunigungssensor
	108	Auswertestufe / Rechnerstufe
	110, 110'	Einrichtung zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit
	112, 112'	Beschleunigungssensor
15	114	Auswertestufe
	116	Einrichtung zum Ermitteln der Gelenkwinkel
	118, 120, 122, 124, 126	Winkelsensor
	128	Einrichtung zum Ermitteln des Drehwinkels
	129	Winkelsensor
20	130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148	Drucksensor
	150	Drehmomentsensor
	152	Eingaberoutine
	153	Routinenkomplex
25	154, 154'	Verteilermastbedämpfungsroutine
	155, 155'	Verteilermastbedämpfungsroutine
	156	Verteilermastregelroutine
	157	Vertikal-Rückwärtstransformationsroutine
	158	Verteilermastposensollwertroutine
30	159	Horizontal-Rückwärtstransformationsroutine
	160, 160'	Überlagerungsroutine
	161, 161'	Überlagerungsroutine

	162	Ausgaberoutine
	163, 163'	Winkelgeschwindigkeits-Berechnungsstufe
	164	Berechnungsstufe
	165, 165'	Differenzglied
5	166	Dämpfungskraftberechnungsstufe
	168	Optimierstufe
	170	Zerlegungsstufe
	172	Achsmomentberechnungsstufe
	174	Berechnungsstufe
10	175	Berechnungsstufe
	176	Einrichtung zum Ermitteln der Ist-Kraft
	177	Differenzroutine
	178	Regelstufe
	179	Differenzroutine
15	181	Integrationsstufe
	182	Berechnungsstufe
	184	Dämpfungskraftberechnungsstufe
	186	Drehmomentberechnungsstufe
	187	Differenzroutine
20	188	Momentregelstufe
	192	Prozessoruhr
	193	Sollwertspeicher
	194	Differenzroutine
	196	Zero-Order-Hold-Filter
25	198	Regelstufe
	199	Winkelsensor
	1154	Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine
	1155	Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine
30	1156	Verteilermastregelroutine
	1166	Sollgeschwindigkeits-Berechnungsstufe
	1172	Kraftberechnungsstufe

	1174	Berechnungsstufe
	1177	Differenzroutine
	Aki	stangenseitige Zylinderflächen
5	Asi	bodenseitigen Zylinderflächen
	D <sub>  </sub>	empirischen Konstante
	D <sub>⊥</sub>	empirisch ermittelte Konstante
	D <sub>  </sub> , D <sub>⊥</sub>	Dämpfungs-konstante
	DS <sub>i</sub>	Dämpfungsstellgröße
10	F <sub>D  </sub> , bzw. F <sub>D⊥</sub>	Dämpfungskraft
	F <sub>D  i</sub>	Komponentensolldämpfungskraft
	F <sub>D</sub>	Solldämpfungskraft
	F <sub>Di</sub>	Komponentensolldämpfungskräfte
	F <sub>i</sub>	Ist-Kraft
15	F <sub>  </sub>	vertikale Kraft
	F <sub>⊥</sub>	horizontale Kraft
	FD <sub>i</sub>	Komponentensolldämpfungskraft
	l <sub>i</sub>	Länge
	MD <sub>i</sub>	Komponentensolldämpfungsmoment
20	m <sub>i</sub>	Masse
	M <sub>i</sub>	Ist-Moment
	Ml <sub>i</sub>	Ist-Drehmoment
	MS <sub>i</sub>	Soll-Drehmoment
	M <sub>D⊥</sub>	Solldämpfungsdrehmoment
25	n <sub>i</sub>	apparatespezifisch gewählte Parameter
	ρ <sub>Ki</sub>	kolbenseitiger Druck
	ρ <sub>Si</sub>	stangenseitiger Druck
	PG <sub>i</sub>	Posenwerte
	PI <sub>i</sub>	Posenistwert
30	PS <sub>i</sub>	Posensollwert
	S	Steuersignal
	SD <sub>i</sub>	Positionierungsstellgröße

	$SW_i$	Stellsignal
	$v_{  }$	vertikale Mastspitzengeschwindigkeit
	$v_{  Soll}$	vertikale Soll-Geschwindigkeit
	$v_{  V}$	Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit
5	$v_{  V-SOLL}$	vertikale Vorgabe-Mastspitzen-Sollgeschwindigkeit
	$v_{\perp V-SOLL}$	horizontale Vorgabe-Mastspitzen-Sollgeschwindigkeit
	$v_{\perp}$	horizontale Mastspitzengeschwindigkeit
10	$v_{\perp SOLL}$	horizontale Soll-Geschwindigkeit
	$v_{\perp V}$	horizontale Vorgabe-Mastspitzengeschwindigkeit
	$W_{Soll}$	Sollwert
	$\varepsilon_i$	Winkel
15	$\dot{\varepsilon}_i$	Ist-Winkelgeschwindigkeit
	$\varepsilon_{18Rück}$	Sollwinkel
	$\dot{\varepsilon}_i Rück$	Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit
	$\dot{\varepsilon}_{18 Rück}$	Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit
20	$\varepsilon_{i\_soll}$	Sollwinkel
	$\varepsilon_{PSi}$	Posensollwerte
	$\dot{v}_{  }$	Signal des Beschleunigungssensors 106
	$\dot{v}_{\perp}$	Signal des Beschleunigungssensors 112
25	$\Delta v_{  }$	vertikaler Vergleichswert
	$\Delta t$	konstantes Zeitintervall
	$\Delta v_{\perp}$	horizontalen Vergleichswert

## Patentansprüche

1. Großmanipulator für Betonpumpen, mit einem Verteilermast (20),
- 5 mit einem an einem Mastbock (30) aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen (44, 46, 48, 50, 52) zusammengesetztem Knickmast (32) mit einer Mastspitze (64) und mit mehreren Gelenken (34, 36, 38, 40, 42) für das Verschwenken der Mastarme (44, 46, 48, 50, 52) gegenüber dem Mastbock (30) oder einem benach-
- 10 barten Mastarm (44, 46, 48, 50, 52), sowie
- mit einer Steuereinrichtung (86) für das Steuern der Bewegung des Knickmasts (32) mit Hilfe von Antriebsaggregatstellgliedern (90, 92, 94, 96, 98, 100) für den Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) jeweils zugeordnete Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84),
- 15

### gekennzeichnet durch

- 20 eine Einrichtung (102) zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52), und
- eine Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42), wobei
- 25 die Steuereinrichtung (86) die Bewegung des Knickmasts (32) durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) steuert, die von einer mittels der Einrichtung (102) zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelten
- 30

Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät (87) erzeugten Steuerungsignalen S zum Verstellen des Verteilermasts (20) abhängen.

- 5 2. Großmanipulator nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine mit der Einrichtung (102) zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit einer Mastarmstelle und mit der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) gekoppelte Controllerbaugruppe (89) für das Steuern der Antriebsaggregatsstellglieder (90, 92, 10 94, 96, 98, 100), die eine Verteilermastbedämpfungsroutine (154, 155) enthält,
- (i) die aus der mittels der Einrichtung (102) zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen 15 Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle eine Dämpfungskraft  $F_{D||}$  bestimmt;
- (ii) die die ermittelte Dämpfungskraft  $F_{D||}$  in den einzelnen Gelenken (34, 36, 38, 40, 42) zugeordnete Komponentendämpfungskräfte 20 aufteilt; und
- (iii) die für das Ansteuern der Antriebsaggregatsstellglieder (92, 94, 96, 98, 100) zum Bedämpfen des Knickmasts (32) aus den Komponentendämpfungskräften und den mittels der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  für die den Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregate (26, 68, 78, 80, 82, 84) sowie be- 25 kannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) zum Bedämpfen des Knickmasts (32) Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  für das Ansteuern der Antriebsaggregatsstellglieder (92, 94, 96, 98, 100) 30 bestimmt, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die

Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) eingehen.

3. Großmanipulator nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verteilermastbedämpfungsroutine (154, 155) aus der einem Gelenk (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Komponentendämpfungskraft und aus dem ermittelten Gelenkwinkel des Gelenks (34, 36, 38, 40, 42) eine mittels des dem Gelenk (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregats (26, 68, 78, 80, 82, 84) erzeugbare Komponentensoll­dämpfungskraft  $FD_i$  oder ein mittels des dem Gelenk (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregats (26, 68, 78, 80, 82, 84) erzeugbares Komponentensoll­dämpfungsmoment  $MD_i$  bestimmt.
4. Großmanipulator nach Anspruch 3, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung (176) zum Ermitteln einer mittels des dem Gelenk (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregats (78, 80, 82, 84) erzeugten Ist-Kraft  $F_i$  oder eines mittels des dem Gelenk (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregats (78, 80, 82, 84) erzeugten Ist-Moments  $M_i$ .
5. Großmanipulator nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verteilermastbedämpfungsroutine (154, 155) eine Regelstufe (178) enthält, die für das Antriebsaggregat (26, 68, 78, 80, 82, 84) die Dämpfungs­stellgrößen  $DS_i$  zum Bedämpfen des Verteilermasts (20) aus einem Vergleich der mittels des Antriebsaggregats (26, 68, 78, 80, 82, 84) erzeugten Ist-Kraft  $F_i$  mit der zu erzeugenden Komponentensoll­dämpfungskraft  $FD_i$  oder aus einem Vergleich des mittels des Antriebsaggregats (26, 68, 78, 80, 82, 84) erzeugten Ist-Moments  $M_i$  mit dem zu erzeugenden Komponentensoll­dämpfungsmoment  $MD_i$  bestimmt.
6. Großmanipulator nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Controllerbaugruppe (89) eine Verteilermastposensollwertroutine (158) enthält, welche die Steuersignale  $S$  des Steuergeräts (87) in

Posensollwerte  $PS_i$  in Form von Sollwerten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) des Verteilermasts (20) übersetzt.

7. Großmanipulator nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
5 Controllerbaugruppe (89) eine Verteilermastregelroutine (156) enthält,  
die aus Posenistwerten  $PI_i$  in Form von der Controllerbaugruppe (89) zu-  
geführten Ist-Werten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42)  
des Verteilermasts (20) und den Posensollwerten  $PS_i$  die Positionie-  
10 rungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der An-  
triebsaggregate (26, 68, 78, 80, 82 und 84) bestimmt.
8. Großmanipulator nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
Verteilermastregelroutine (156) die Differenz von Posenistwerten  $PI_i$  und  
Posensollwerten  $PS_i$  bestimmt, diese Differenz in einem Zero-Order-  
15 Hold-Filter (196) verarbeitet und als eine Regelgröße einer als PI-Regler  
ausgebildeten Regelstufe (198) zuführt, welche die Positionierungsstell-  
größen  $SD_i$  ausgibt.
9. Großmanipulator nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**,  
20 dass die Controllerbaugruppe (89) eine Überlagerungsroutine (160) für  
das Überlagern der Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  und der Positionierungs-  
stellgrößen  $SD_i$  zu Stellsignalen  $SW_i$  für die Stellglieder (92, 94, 96, 98,  
100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) aufweist.
- 25 10. Großmanipulator nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
Überlagerungsroutine (160) als eine Addieroutine ausgebildet ist, die  
den Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  die Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  auf-  
addiert.
- 30 11. Großmanipulator nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Einrich-  
tung (176) für das Berechnen der mittels der Antriebsaggregate (68, 78,  
80, 82, 84) erzeugten Ist-Kräfte  $F_i$  oder Ist-Momente  $M_i$ ,

wobei die Steuereinrichtung (86) eine Controllerbaugruppe (89) mit einer Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine (1154) enthält,

5 der die ermittelten, mittels der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) erzeugten Ist-Kräfte  $F_i$  oder Ist-Momente  $M_i$ , sowie die ermittelte vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle und die ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) fortlaufend zugeführt werden,

10 wobei die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine (1154)

aus den zugeführten Ist-Kräften  $F_i$  oder Ist-Momenten  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) eine an der Mastarmstelle (64) angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  bestimmt,

15 die an der Mastarmstelle (64) angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  in eine vertikale Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) überführt;

20 aus der vertikalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) und der ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle (64) einen vertikalen Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  bestimmt,

25 den vertikalen Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{i \text{ Rück}}$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) überführt, und

30 wobei die Verteilermast-Vertikal-Bedämpfungsroutine (1154) eine Verteilermastregelroutine (1156) enthält, welche die durch Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit

- 5  $\dot{\varepsilon}_i$  Rück der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) mit einer der Verteilermastregelroutine zugeführten Ist-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) vergleicht und aus diesem Vergleich die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) ermittelt.
- 10 12. Großmanipulator nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuergerät (87) der Controllerbaugruppe (89) Steuersignale S zuführt, die in der Controllerbaugruppe (89) in Posensollwerte  $PS_i$  in Form von Sollwerten der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) des Verteilermasts (20) übersetzt werden.
- 15 13. Großmanipulator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (102) zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle an wenigstens einem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) zum Ermitteln der Geschwindigkeit der Mastspitze (64) des Knickmasts (32) ausgelegt ist.
- 20 14. Großmanipulator nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (102) zum Ermitteln der vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle (64) an wenigstens einem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) einen an dem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) angeordneten Geschwindigkeitssensor und/oder Beschleunigungssensor (106, 112) und/oder einen die Stellung des Mastarms (44, 46, 48, 50, 52) zur
- 25 Richtung der Schwerkraft erfassenden Winkelsensor enthält.
- 30 15. Großmanipulator nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mastbock (30) auf einem Gestell (16) angeordnet ist und um eine Hochachse (18) gedreht werden kann, wobei die Steuereinrichtung (86) für das Steuern einer Drehbewegung des Mastbocks (30) um die Hochachse (18) mit Hilfe von wenigstens einem Stellglied (90) für

ein dem Mastbock (30) zugeordnetes Antriebsaggregat (26) ausgelegt ist,

5 wobei eine Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle in einer zu der Hochachse (18) senkrechten Ebene und in einem zu dem Gestell (16) referenzierten Koordinatensystem (104) sowie eine Einrichtung (128) zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um die Hochachse (18) vorgesehen ist, und

10 wobei die Steuereinrichtung (86) die Bewegung des Knickmasts (32) durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied (90) für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) steuert, die von einer mittels der Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle  
15 ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung (128) zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um die Hochachse (18) sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät (87) erzeugten Steuersignalen S zum Verstellen des Verteilmasts (20) abhängen.

20

16. Großmanipulator für Betonpumpen, mit einem auf einem Gestell (16) angeordneten, an dem Gestell (16) um eine Hochachse (18) drehbaren Mastbock (30),

25

mit einem Verteilmast (20) mit einem an dem Mastbock (30) aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen (44, 46, 48, 50, 52) zusammengesetztem Knickmast (32) mit einer Mastspitze (64) und mit mehreren Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) für das Verschwenken der Mastarme (44, 46, 48, 50, 52) um jeweils horizontale,  
30 zueinander parallele Knickachsen gegenüber dem Mastbock (30) oder einem benachbarten Mastarm (44, 46, 48, 50, 52), sowie

mit einer Steuereinrichtung (86) für das Steuern der Bewegung des Knickmasts (32) um die Hochachse (18) mit Hilfe eines Stellglieds (90) eines der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregats (26),

5 **gekennzeichnet durch**

10 eine Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle in einer zu der Hochachse (18) senkrechten Ebene und in einem zu dem Gestell (16) referenzierten Koordinatensystem (104) sowie eine Einrichtung (128) zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um die Hochachse (18),

15 wobei die Steuereinrichtung (86) die Bewegung des Knickmasts (32) durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied (90) für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) steuert, die von einer mittels der Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von  
20 mittels der Einrichtung (128) zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um die Hochachse (18) sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät (87) erzeugten Steuersignalen  $S$  zum Verstellen des Verteilmasts (20) abhängen.

25 17. Großmanipulator nach Anspruch 15 oder 16, **gekennzeichnet durch** eine mit der Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  und mit der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) gekoppelte Controllerbaugruppe (89) für das Steuern der Stellglieder (90, 92, 94, 96, 96, 100), die eine Verteilmast-Bedämpfungsroutine (1154, 1155) aufweist, die

30

(i) aus der mit der Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  ermittelten horizontalen Geschwindigkeit des

Abschnitts des wenigstens einen Mastarms (44, 46, 48, 50, 52) eine Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  bestimmt; und

- 5 (ii) aus dieser Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  und aus den mit der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts (20) für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) zum Bedämpfen des Knickmasts (32) Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  bestimmt, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das Ansteuern des wenigstens einen Stellglieds (90) für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) eingehen.
- 10
18. Großmanipulator nach Anspruch 15 oder 16, **gekennzeichnet durch**
- 15 eine Einrichtung (176) für das Berechnen der mittels des der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregates (26) erzeugten Ist-Kraft  $F_i$  oder Ist-Moments  $M_i$ ,
- wobei die Steuereinrichtung (86) eine Controllerbaugruppe (89) mit einer
- 20 Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine (1155) enthält,
- der die ermittelte, mittels des der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregates (26) erzeugte Ist-Kraft  $F_i$  oder das ermittelte, mittels des der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregates (26) erzeugte Ist-Moment  $M_i$  sowie die ermittelte horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und die ermittelten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) fortlaufend zugeführt werden,
- 25
- wobei die Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine (1155)
- 30 aus der zugeführten Ist-Kraft  $F_i$  oder dem zugeführten Ist-Moment  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie bekannter

physikalischer Größen des Verteilermasts (20) eine an der Mastarmstelle angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  bestimmt,

5 die an der Mastarmstelle angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  in eine horizontale Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) überführt;

aus der horizontalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) und der ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle (64) einen horizontalen Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  bestimmt,

10

den horizontalen Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18\text{ Rück}}$  des Mastbocks (30) um dessen Hochachse (18) überführt, und

15

wobei die Verteilermast-Horizontal-Bedämpfungsroutine (1155) eine Verteilermastregelroutine (1156) enthält, welche die durch Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18\text{ Rück}}$  des Mastbocks (30) um dessen Hochachse (18) mit einer der Verteilermastregelroutine zugeführten Ist-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) vergleicht und aus diesem Vergleich die Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das der Hochachse (18) zugeordnete Antriebsaggregat (26) ermittelt.

20

25

19. Großmanipulator nach einem der Ansprüche 15 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mastarmstelle eine Mastspitze (64) des Knickmasts (32) ist.

30

20. Großmanipulator nach einem der Ansprüche 15 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (110) zum Ermitteln der horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle (64) an wenigstens einem

Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) einen an dem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) angeordneten Geschwindigkeitssensor und/oder Beschleunigungssensor (106', 112') und/oder einen die den Drehwinkel des Mastbocks (30) um die Hochachse (18) erfassenden Winkelsensor (129) enthält.

5

21. Verfahren zur Dämpfung mechanischer Schwingungen eines Knickmasts (32) eines Großmanipulators für Betonpumpen,

10

mit einem Verteilermast (20) mit einem an einem Mastbock (30) aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen (44, 46, 48, 50, 52) zusammengesetztem Knickmast (32) mit einer Mastspitze (64) und mit mehreren Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) für das Verschwenken der Mastarme (44, 46, 48, 50, 52) um jeweils horizontale, zueinander parallele Knickachsen gegenüber dem Mastbock (30) oder einem benachbarten Mastarm (44, 46, 48, 50, 52), sowie

15

mit einer Steuereinrichtung (86) für das Steuern der Bewegung des Knickmasts (32) mit Hilfe von Stellgliedern (90, 92, 94, 96, 98, 100) für den Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) jeweils zugeordnete Antriebsaggregate (26, 68, 78, 80, 82, 84),

20

**dadurch gekennzeichnet, dass**

25

die vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle (64) in einer zu dem Knickmast (32) parallelen Ebene und in einem zu dem Gestell (16) referenzierten Koordinatensystem (104) ermittelt wird,

die Gelenkwinkel der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelt werden, und

30

Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) erzeugt werden, die von

5 einer mittels der Einrichtung (102) zum Ermitteln einer vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung (116) zum Ermitteln der Gelenkwinkel der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke (34, 36, 38, 40, 42) sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät (87) erzeugten Steuer-

10 22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass

10

(i) aus der ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle (64) eine Dämpfungskraft  $F_{D||}$  bestimmt wird;

15

(ii) die ermittelte Dämpfungskraft  $F_{D||}$  in den einzelnen Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) zugeordnete Komponentendämpfungskräfte aufgeteilt wird; sowie

20

(iii) aus den Komponentendämpfungskräften und aus den ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  für die den Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts (20) zum Bedämpfen der Mastarme (44, 46, 48, 50, 52) bestimmte Dämpfungs-

25 stellgrößen  $DS_i$  für das Steuern der Antriebsaggregatsstellglieder (92, 94, 96, 98, 100) zum Bedämpfen des Knickmasts (32) bereit-

gestellt werden, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) eingehen.

25

30 23. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass

30

die mittels der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) erzeugten Ist-Kräfte  $F_i$  oder Ist-Momente  $M_i$  ermittelt werden,

- 5 aus den ermittelten Ist-Kräften  $F_i$  oder Ist-Momenten  $M_i$  und den ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) eine an der Mastarmstelle (64) angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  bestimmt wird,
- 10 die vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle (64) an wenigstens einem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52) ermittelt wird, und
- 15 die an der Mastarmstelle (64) angreifende vertikale Kraft  $F_{||}$  in eine vertikale Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) überführt wird;
- aus der vertikalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{||\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) und der ermittelten vertikalen Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastarmstelle (64) ein vertikaler Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  bestimmt wird, und
- 20 der vertikale Vergleichswert  $\Delta v_{||}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i^{\text{Rück}}$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) überführt wird,
- 25 wobei die durch Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeiten  $\dot{\varepsilon}_i^{\text{Rück}}$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) mit den Ist-Winkelgeschwindigkeiten  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) verglichen werden und aus diesem Vergleich Positionierungsstellgrößen  $SD_i$  für die Stellglieder (90, 92, 94, 96, 98, 100) der Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) ermittelt werden.
- 30 24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass als vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  einer Mastarmstelle die vertikale Geschwindigkeit  $v_{||}$  der Mastspitze ermittelt wird.

25. Verfahren zur Dämpfung mechanischer Schwingungen eines Knickmasts (32) in einem Großmanipulator für Betonpumpen,
- 5 mit einem auf einem Gestell (16) angeordneten, an dem Gestell (16) um eine Hochachse (18) drehbaren Mastbock (30),
- mit einem Verteilermast (20) mit einem an dem Mastbock (30) aufgenommenen, aus mehreren gelenkig miteinander verbundenen Mastarmen (44, 46, 48, 50, 52) zusammengesetzten Knickmast (32) mit einer Mastspitze (64) und mit mehreren Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) für das Verschwenken der Mastarme (44, 46, 48, 50, 52) um jeweils horizontale, zueinander parallele Knickachsen gegenüber dem Mastbock (30) oder einem benachbarten Mastarm (44, 46, 48, 50, 52), sowie
- 10
- 15 mit einer Steuereinrichtung (86) für das Steuern der Bewegung des Knickmasts (32) um die Hochachse (18) mit Hilfe eines Stellglieds (90, 92, 94, 96, 98, 100) eines der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregats (26),
- 20
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- die horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle in einer zu der Hochachse (18) senkrechten Ebene und in einem zu dem Gestell (16) referenzierten Koordinatensystem (104) ermittelt wird, und
- 25
- die Gelenkwinkel der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) ermittelt werden,
- wobei die Bewegung des Knickmasts (32) durch Bereitstellen von Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied (90) für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) gesteuert wird, die von einer mittels der Einrichtung (110) zum Ermitteln der
- 30

5 horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle und von mittels der Einrichtung (128) zum Ermitteln des Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um die Hochachse (18) sowie von mittels einer von einem Mastführer betätigbaren Steuergerät (87) erzeugten Steuersignalen S zum Verstellen des Verteilermasts (20) abhängen.

26. Verfahren nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- 10 (i) aus der ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  eine Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  bestimmt wird; und
- (ii) aus dieser Dämpfungskraft  $F_{D\perp}$  und aus den ermittelten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  für die den Knickgelenken (34, 36, 38, 40, 42) zugeordneten Antriebsaggregate (68, 78, 80, 82, 84) sowie aus bekannten physikalischen Größen des Verteilermasts (20) zum Bedämpfen des Knickmasts (32) Dämpfungsstellgrößen  $DS_i$  bestimmt werden, die in die Positionierungsstellgrößen  $SD_{90}$  für das wenigstens eine Stellglied (90) für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) eingehen.
- 15
- 20

27. Verfahren nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass

25 die mittels des der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregates (26) erzeugte Ist-Kraft  $F_i$  oder das mittels des der Hochachse (18) zugeordneten Antriebsaggregates (26) erzeugte Ist-Moment  $M_i$ ,

die horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle (64) an wenigstens einem Mastarm (44, 46, 48, 50, 52), und

30

der Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) und der Drehwinkels  $\varepsilon_{18}$  des Mastbocks (30) um dessen Hochachse (18) ermittelt werden,

5 wobei aus der Ist-Kraft  $F_i$  oder dem zugeführten Ist-Moment  $M_i$  und den zugeführten Gelenkwinkeln  $\varepsilon_i$  der Gelenke sowie bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) eine an der Mastarmstelle (64) angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  bestimmt wird,

10 die an der Mastarmstelle (64) angreifende horizontale Kraft  $F_{\perp}$  in eine horizontale Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) überführt,

aus der horizontalen Soll-Geschwindigkeit  $v_{\perp\text{Soll}}$  der Mastarmstelle (64) und der ermittelten horizontalen Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastarmstelle (64) ein horizontaler Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  bestimmt,

15 der horizontale Vergleichswert  $\Delta v_{\perp}$  durch eine Rückwärtstransformation anhand der zugeführten Gelenkwinkel  $\varepsilon_i$  der Gelenke und anhand bekannter physikalischer Größen des Verteilermasts (20) in eine Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18\text{ Rück}}$  des Mastbocks (30) um dessen Hochachse (18) überführt, und

20 wobei die durch Rückwärtstransformation erhaltene Rückwärtstransformations-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_{18\text{ Rück}}$  des Mastbocks (30) um dessen Hochachse (18) mit einer der Verteilermastregelroutine zugeführten Ist-Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varepsilon}_i$  der Knickgelenke (34, 36, 38, 40, 42) verglichen und aus diesem Vergleich die Positionierungsstellgrößen  $SD_{18}$  für das dem Mastbock (30) zugeordnete Antriebsaggregat (26) ermittelt werden.

30

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass als horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  einer Mastarmstelle die horizontale Geschwindigkeit  $v_{\perp}$  der Mastspitze (64) ermittelt wird.

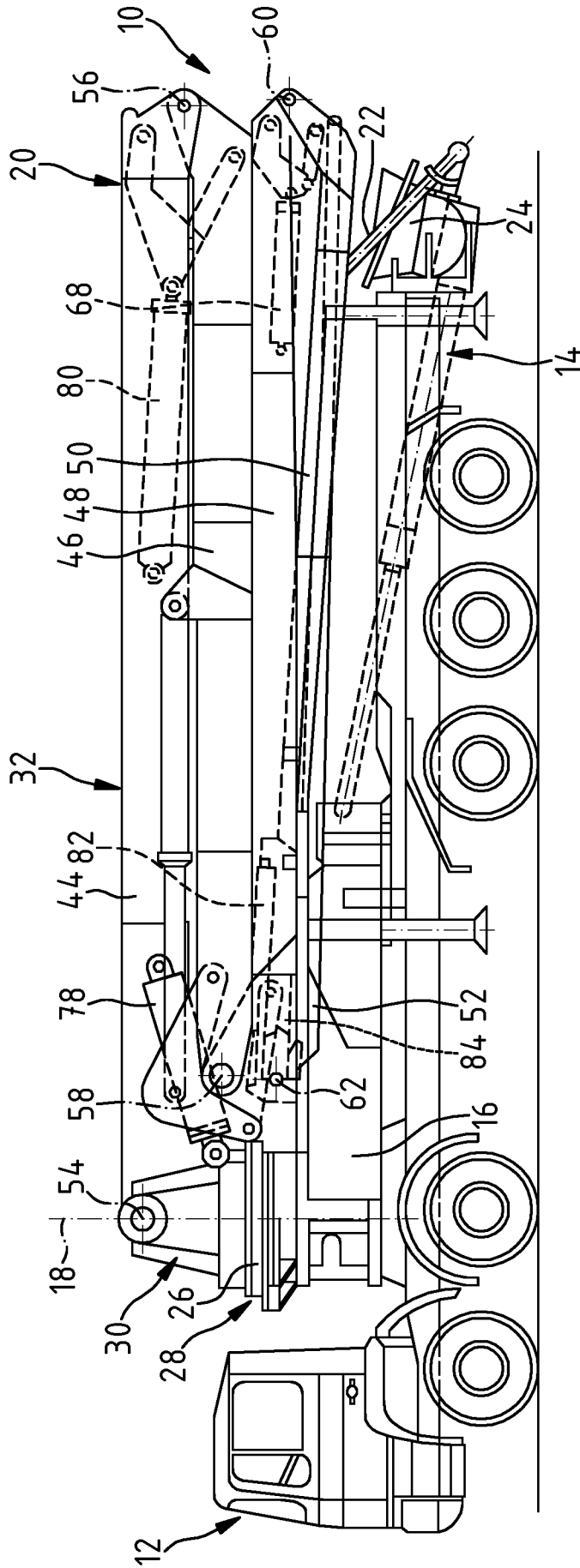


Fig.1



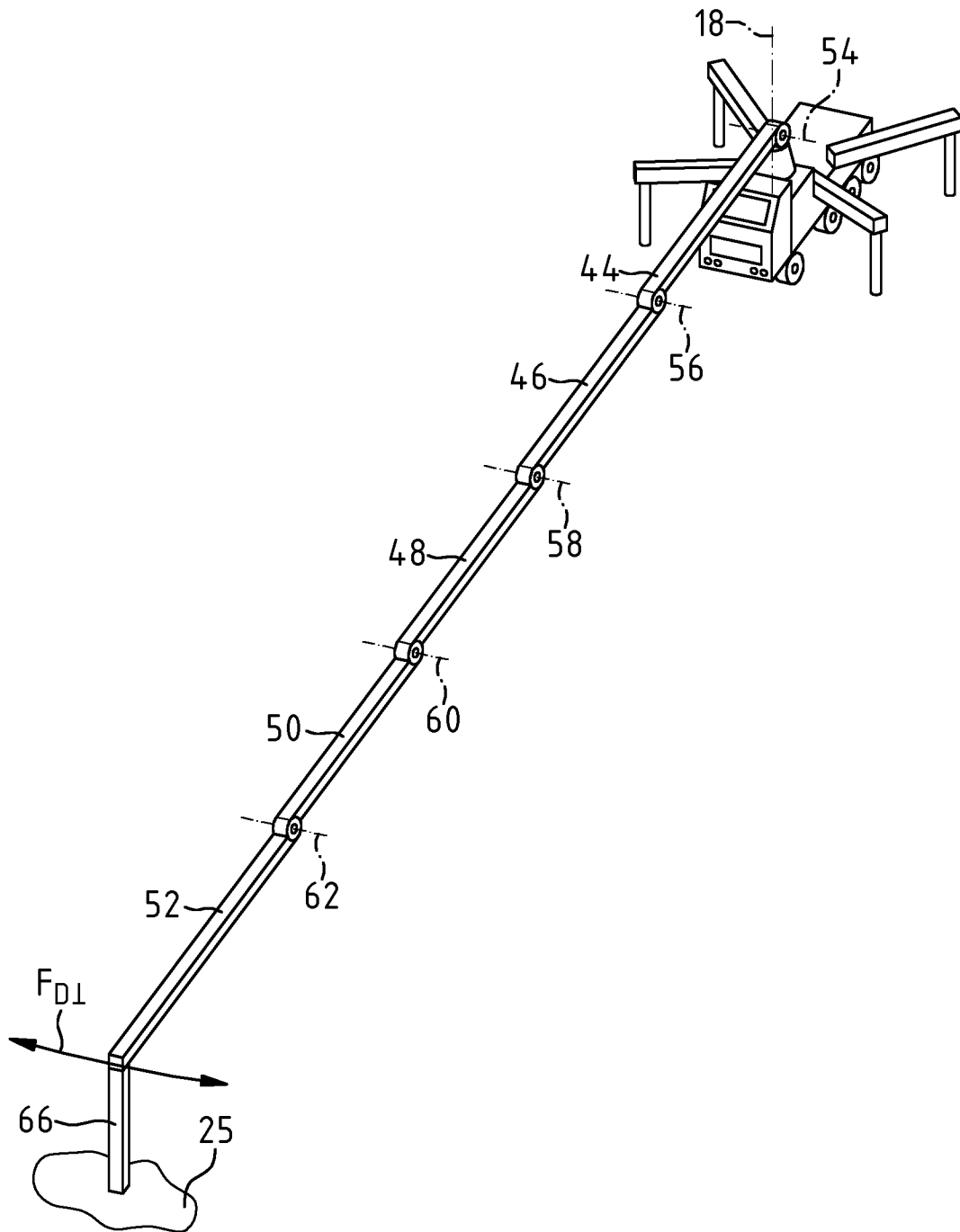


Fig.3

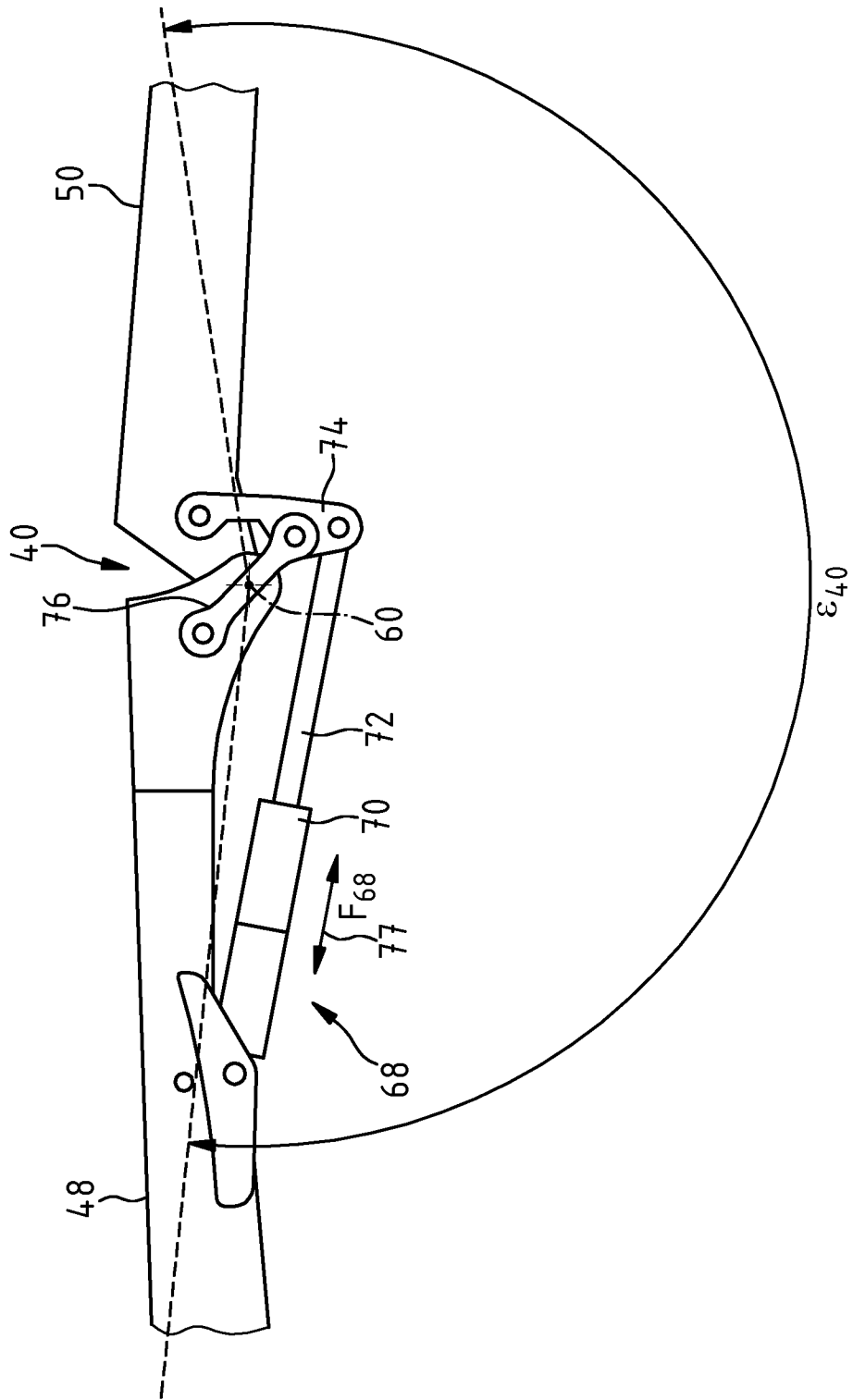


Fig.4



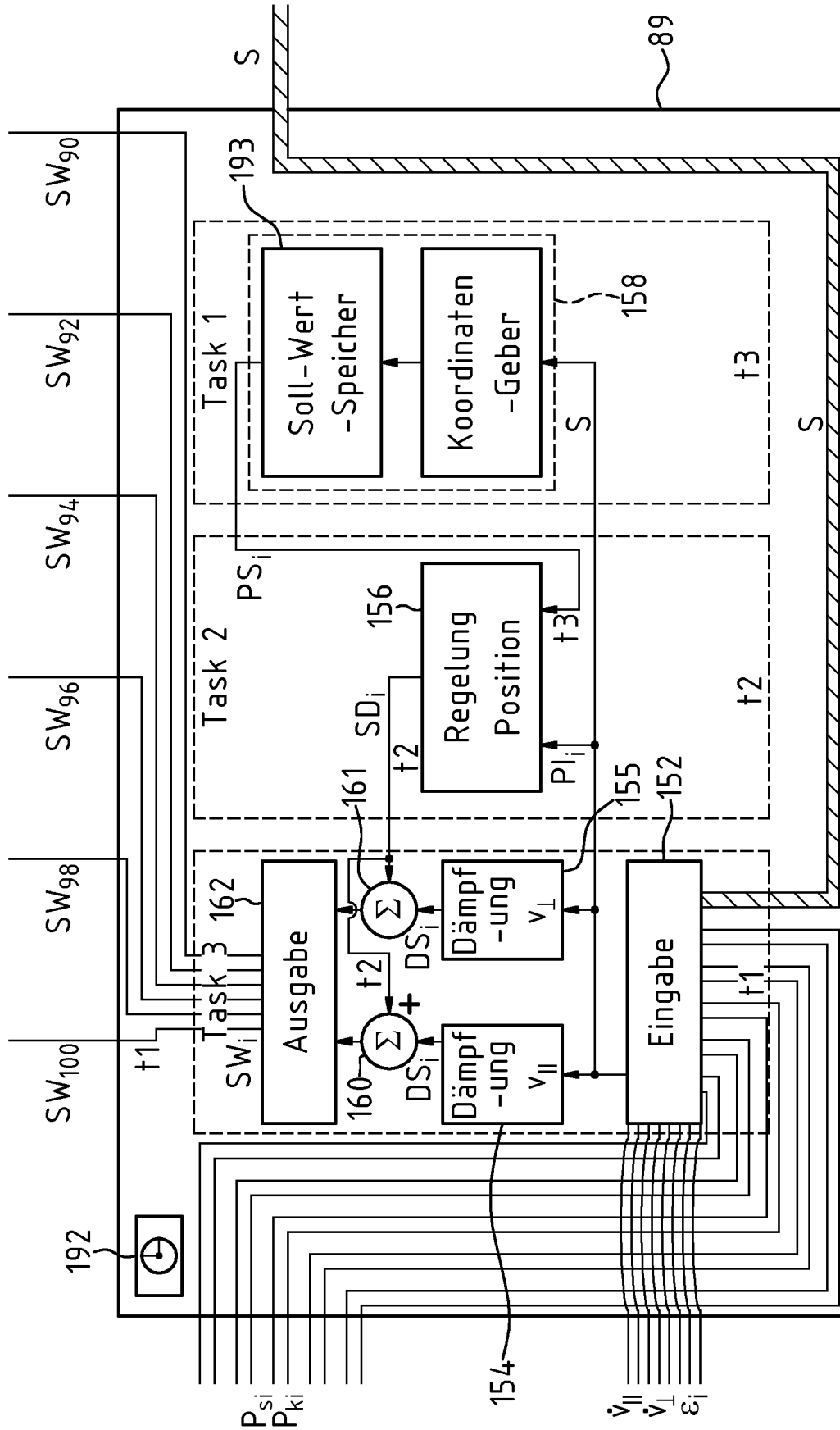


Fig.6

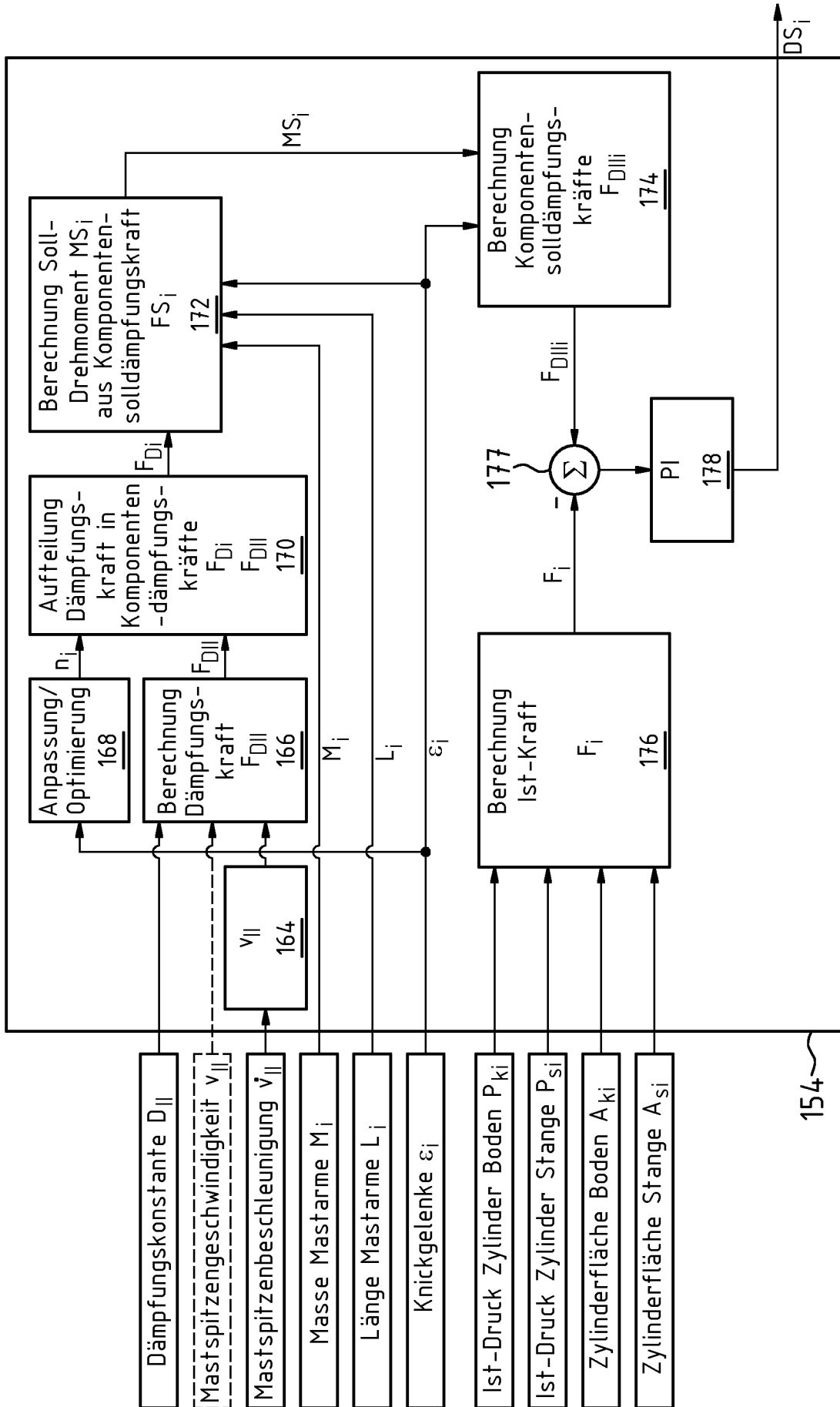


Fig.7

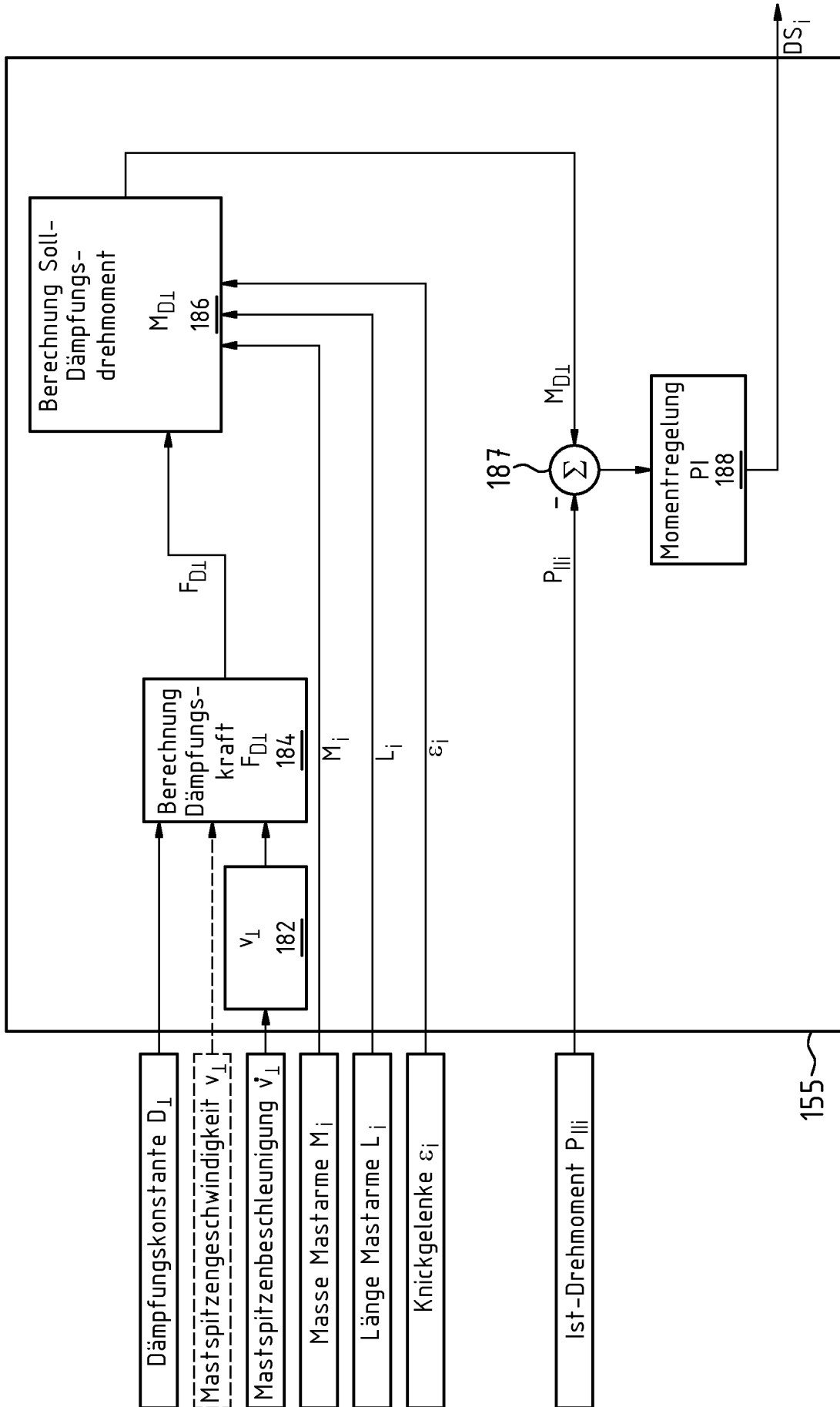


Fig.8

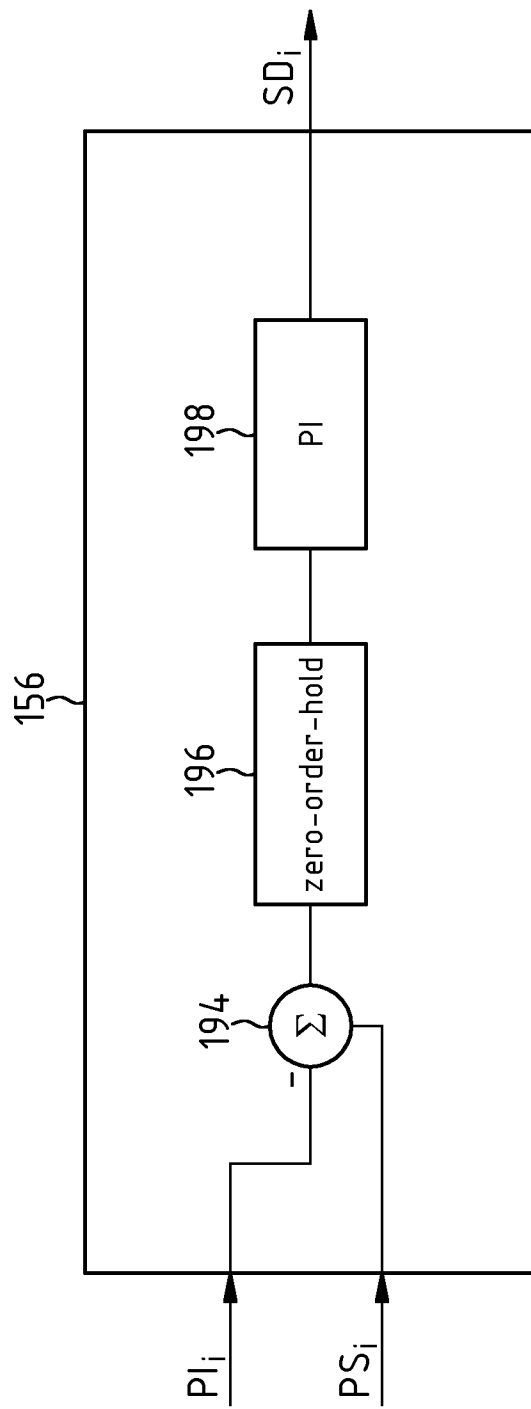


Fig.9

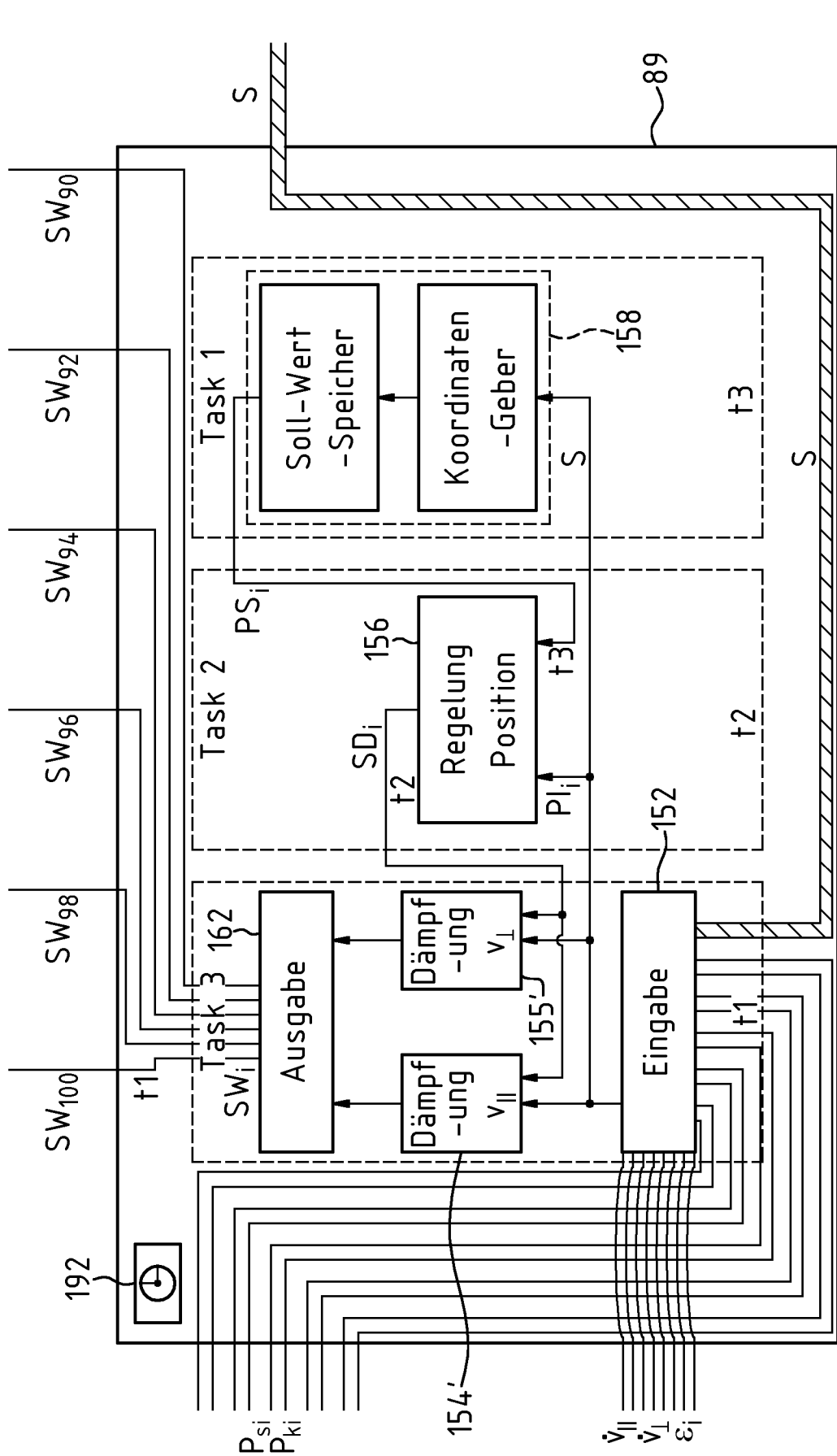


Fig.10

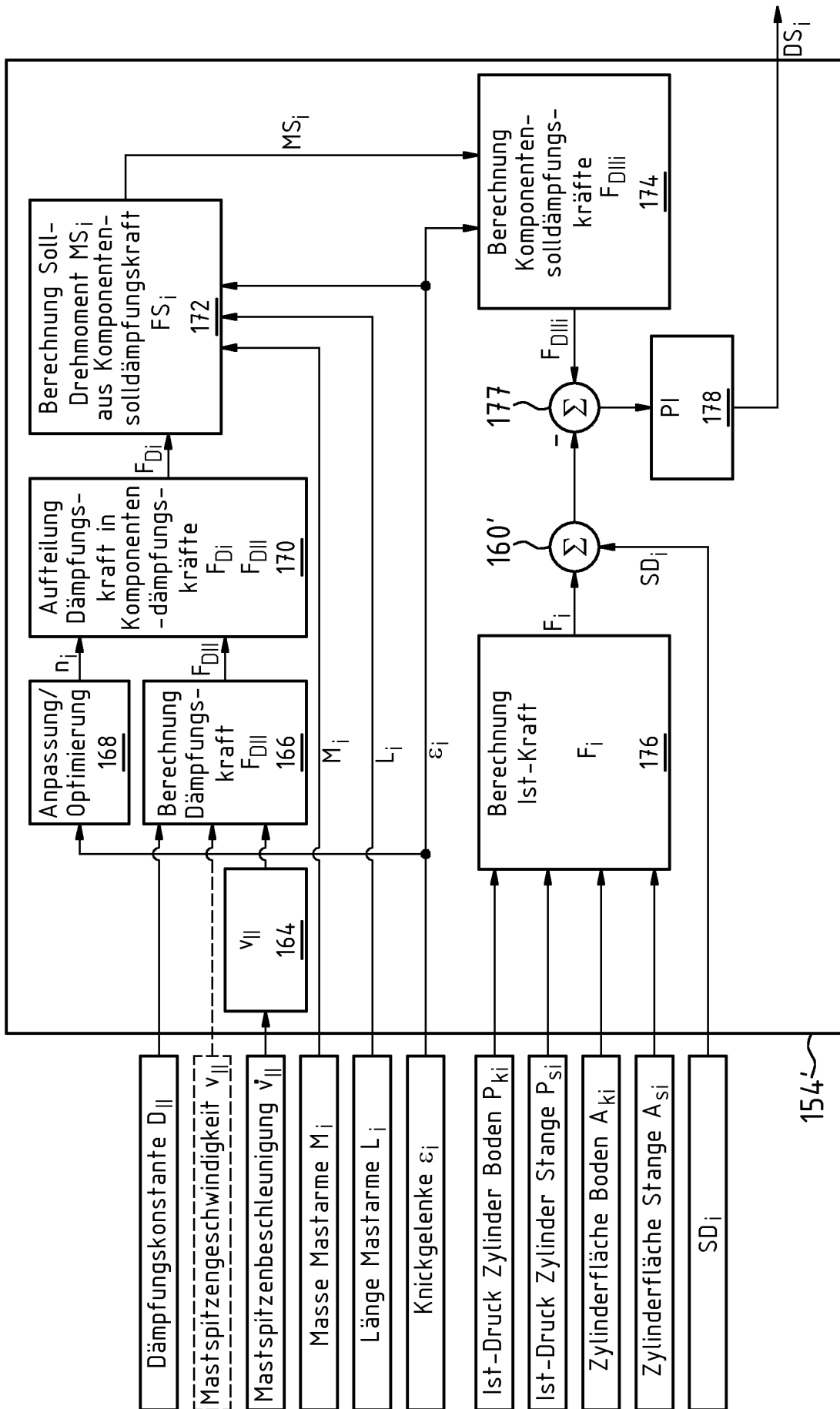


Fig.11

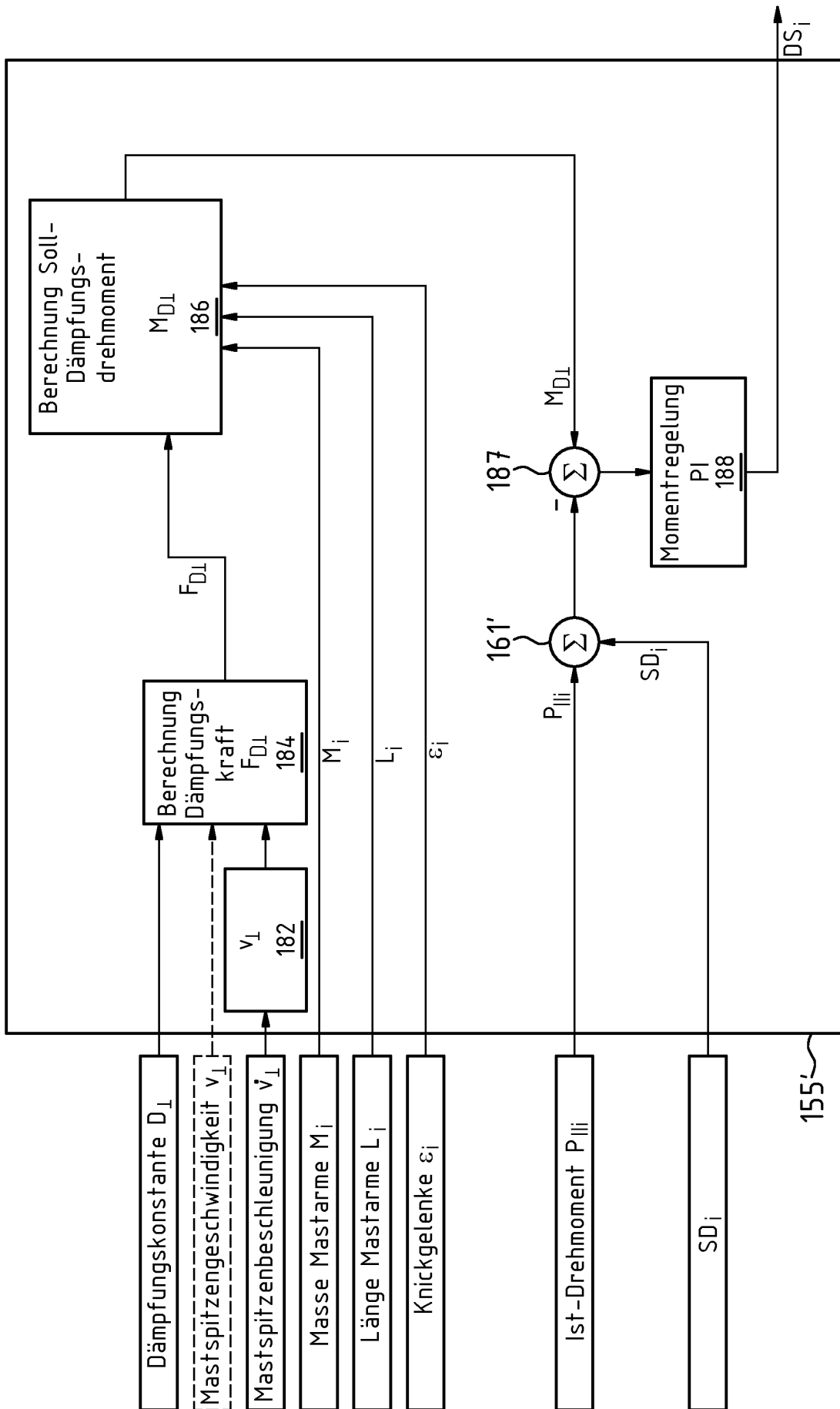


Fig.12

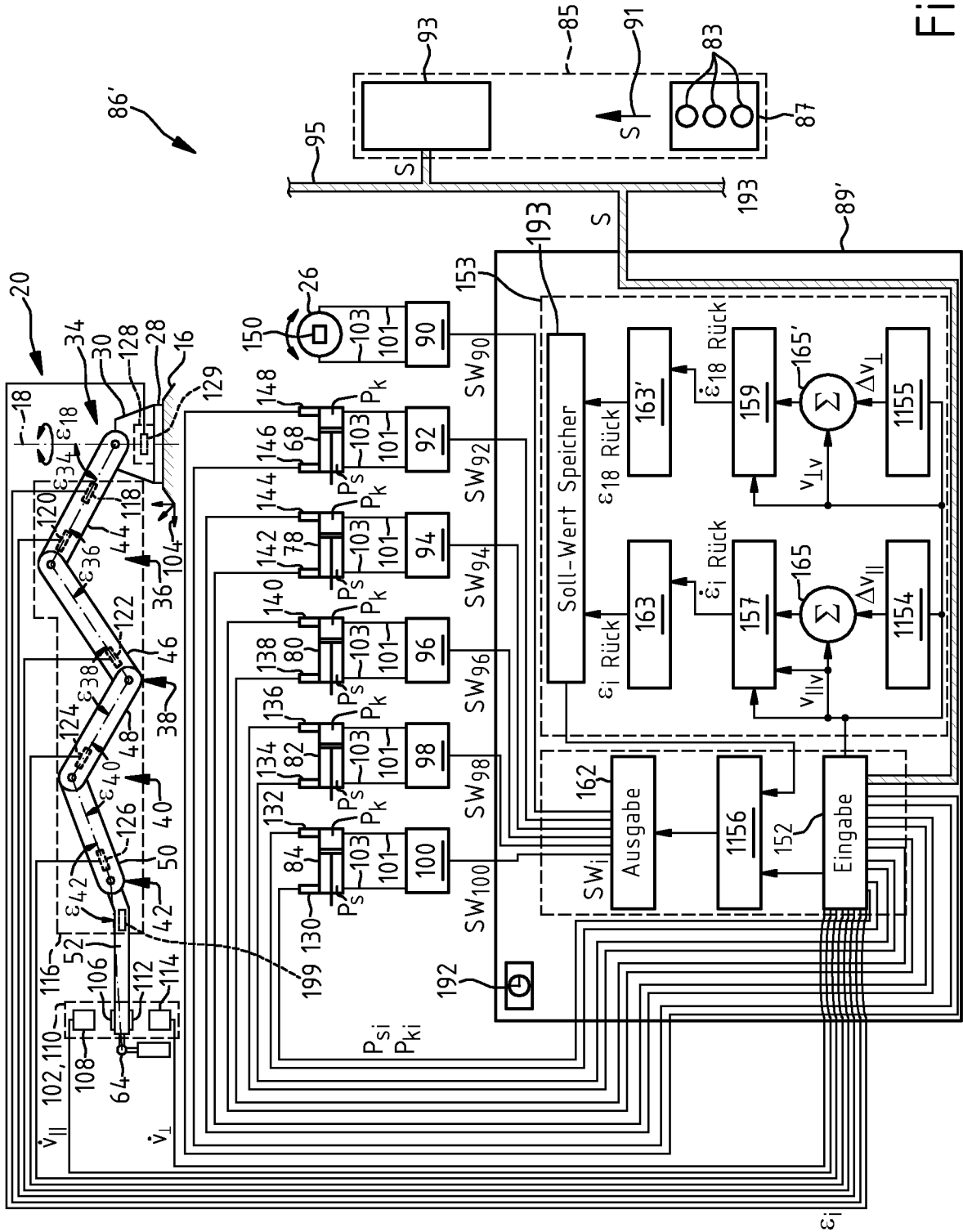


Fig.13

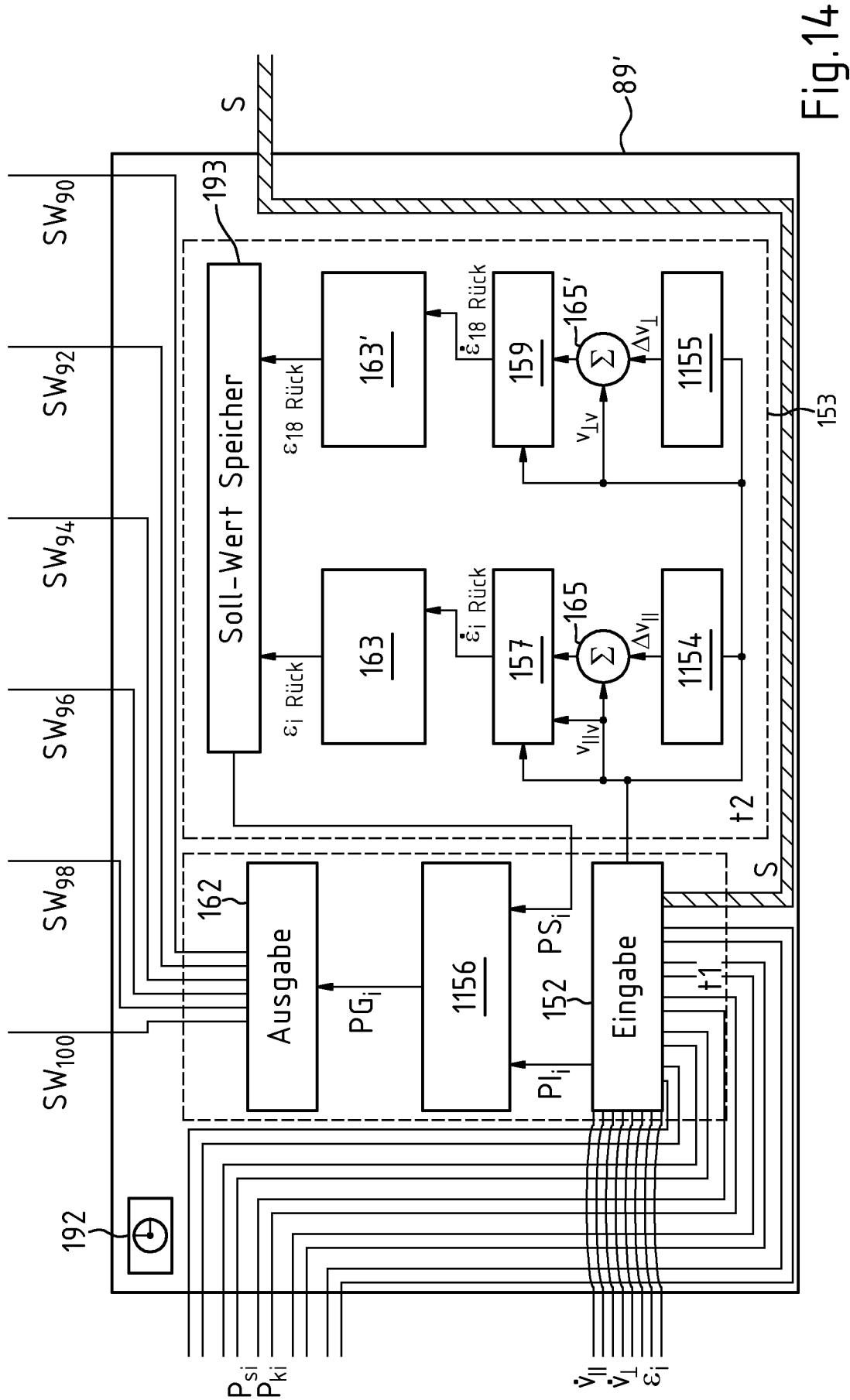


Fig.14

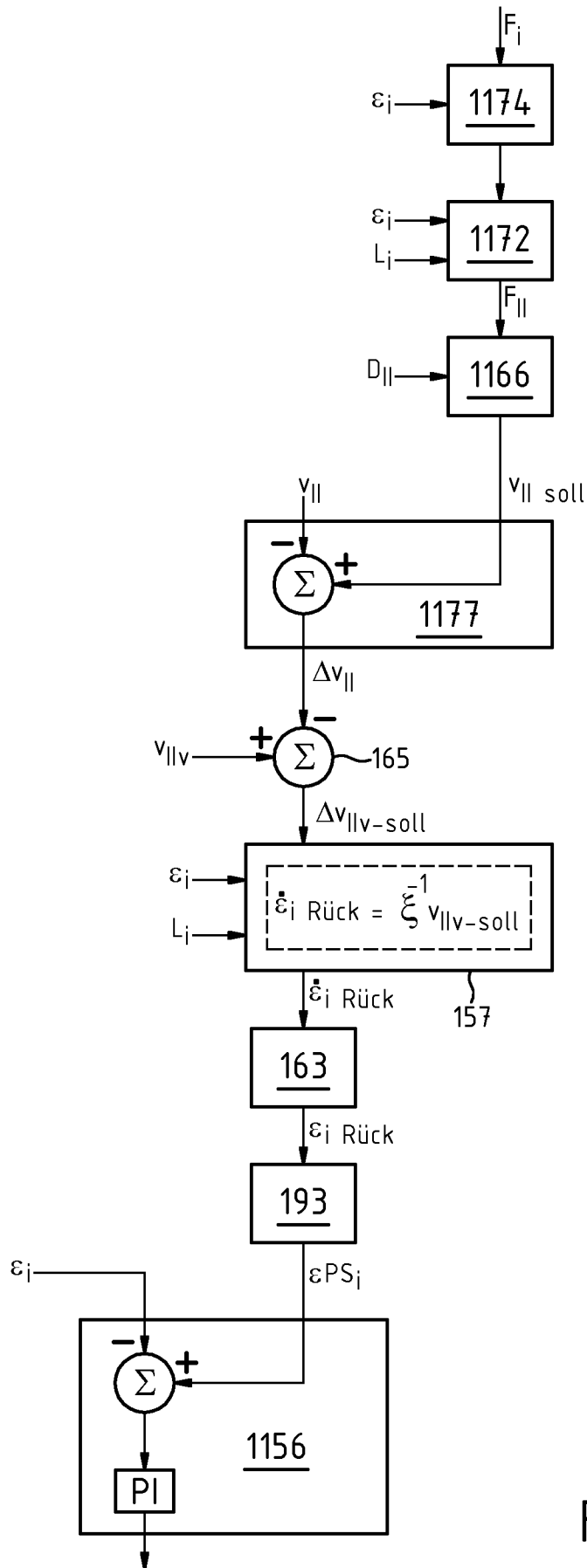


Fig.15

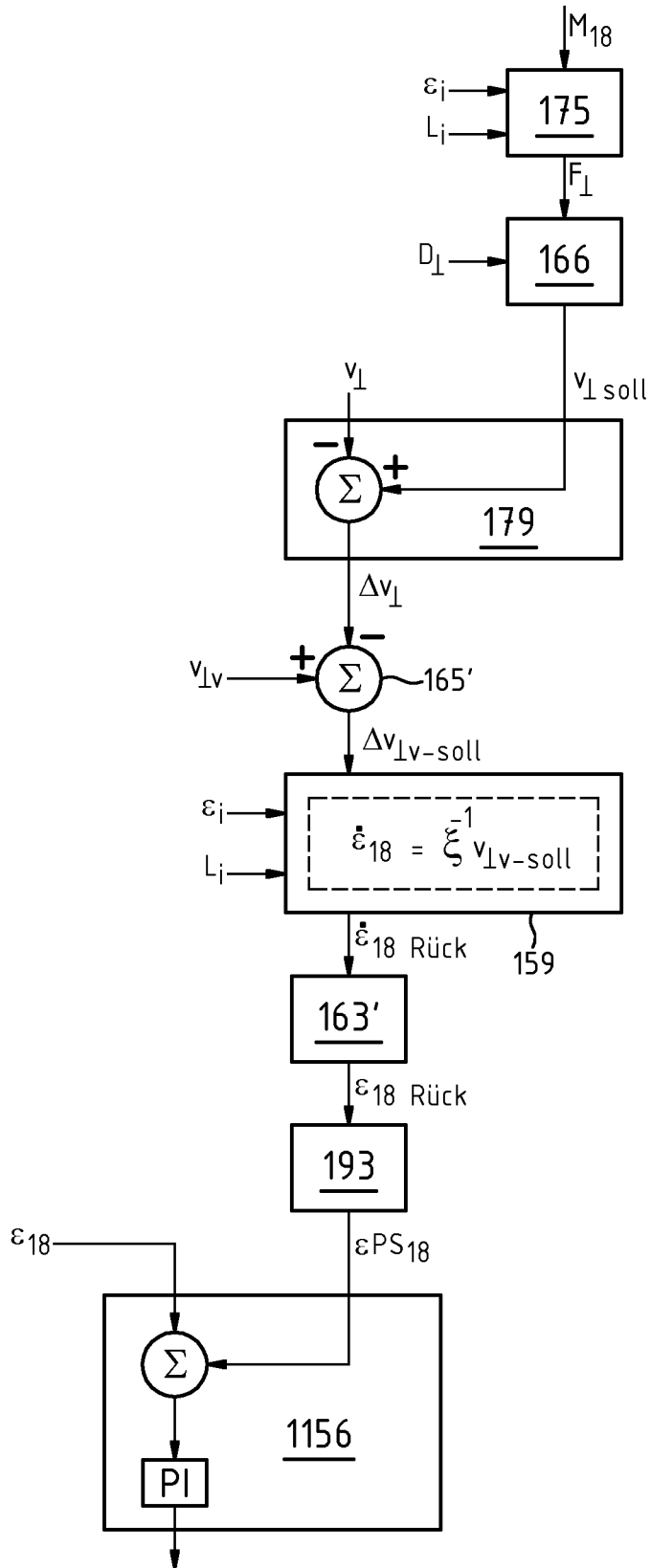


Fig.16

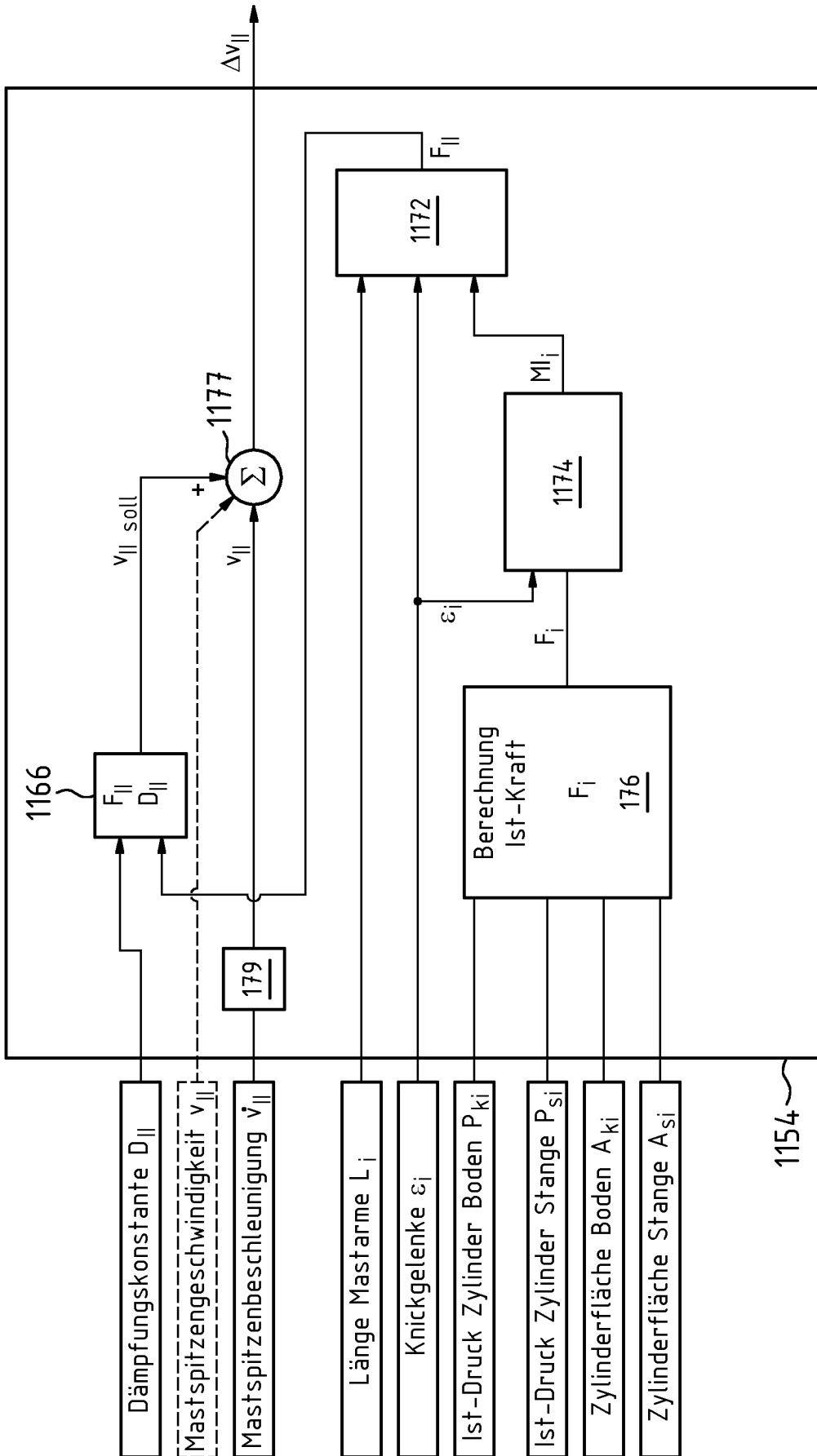


Fig.17

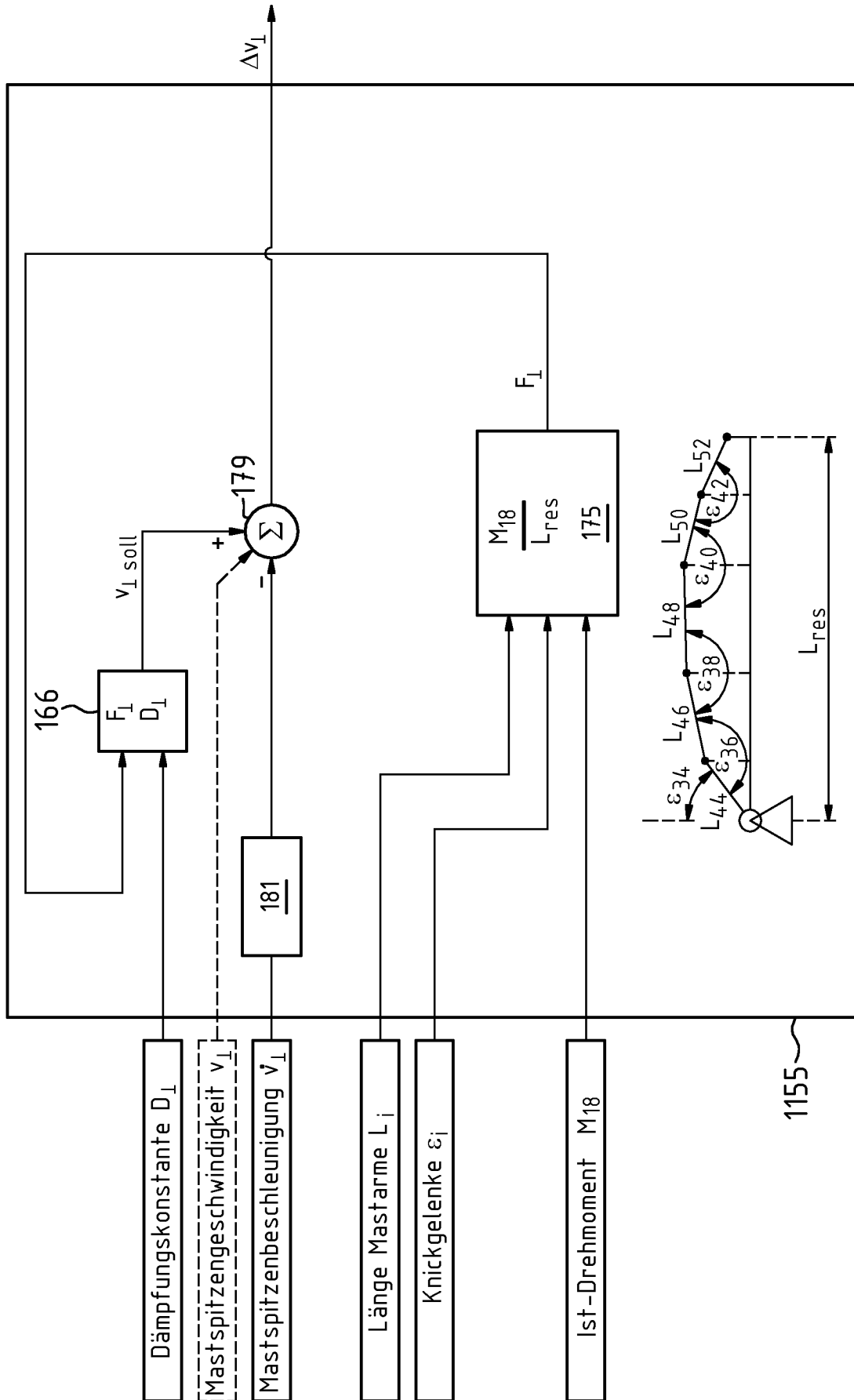


Fig.18

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/054392**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>E04G 21/04</i> (2006.01)i; <i>B66C 13/06</i> (2006.01)i; <i>B25J 9/16</i> (2006.01)i; <i>G05B 19/416</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) E04G; B66C; G05B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2778466 A1 (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH [CN] ET AL.) 17 September 2014 (2014-09-17) figures 1,2, 11 paragraph [0072] - paragraph [0074]	1-28
X	CN 103234002 B (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH) 24 December 2014 (2014-12-24) figure 1 claims 1, 3	1-28
X	CN 202689566 U (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH) 23 January 2013 (2013-01-23) paragraph [0041] figures 3, 4 claim 6	1-28
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>18 June 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>26 June 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Tryfonas, N</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/054392**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2778466	A1	17 September 2014	CN	103062281	A	24 April 2013
				EP	2778466	A1	17 September 2014
				US	2014298784	A1	09 October 2014
				WO	2013056517	A1	25 April 2013
-----							
CN	103234002	B	24 December 2014	NONE			
-----							
CN	202689566	U	23 January 2013	NONE			
-----							

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/054392

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. E04G21/04 B66C13/06 B25J9/16 G05B19/416 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) E04G B66C G05B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 778 466 A1 (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH [CN] ET AL.) 17. September 2014 (2014-09-17) Abbildungen 1,2, 11 Absatz [0072] - Absatz [0074] -----	1-28
X	CN 103 234 002 B (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH) 24. Dezember 2014 (2014-12-24) Abbildung 1 Ansprüche 1, 3 -----	1-28
X	CN 202 689 566 U (ZOOMLION HEAVY IND SCI & TECH) 23. Januar 2013 (2013-01-23) Absatz [0041] Abbildungen 3, 4 Anspruch 6 -----	1-28
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 18. Juni 2019		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 26/06/2019
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Tryfonas, N

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/054392

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 2778466	A1	17-09-2014	CN 103062281 A	24-04-2013
			EP 2778466 A1	17-09-2014
			US 2014298784 A1	09-10-2014
			WO 2013056517 A1	25-04-2013
-----				
CN 103234002	B	24-12-2014	KEINE	
-----				
CN 202689566	U	23-01-2013	KEINE	
-----				