



(11)

**EP 3 988 439 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**16.10.2024 Patentblatt 2024/42**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B63B 27/10** <sup>(2006.01)</sup> **B63B 27/14** <sup>(2006.01)</sup>  
**B63B 27/30** <sup>(2006.01)</sup> **B66C 23/53** <sup>(2006.01)</sup>  
**B63B 39/00** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **21192943.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B63B 27/10; B63B 27/143; B63B 27/30;**  
**B63B 39/00; B66C 23/46; B66C 23/53;**  
**B63B 2017/0072; B63B 2027/141**

(22) Anmeldetag: **25.08.2021**

(54) **SYSTEM MIT EINER BEWEGUNGSKOMPENSATIONSEINRICHTUNG UND VERFAHREN**  
SYSTEM WITH A MOTION COMPENSATION DEVICE AND METHOD  
SYSTÈME DOTÉ D'UN DISPOSITIF DE COMPENSATION DE MOUVEMENT ET PROCÉDÉ

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

(30) Priorität: **22.10.2020 DE 102020213322**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**27.04.2022 Patentblatt 2022/17**

(73) Patentinhaber: **Van Halteren Technologies B.V.**  
**5281 RS Boxtel (NL)**

(72) Erfinder:  
• **Schleyer, Markus**  
**71640 Ludwigsburg (DE)**  
• **Nguyen, Quang Huy**  
**70193 Stuttgart (DE)**

- **Voss, Martin**  
**71272 Renningen (DE)**
- **van de Molengraft, Maik**  
**5613EM Eindhoven (NL)**
- **Erz, Michael**  
**75417 Muehlacker (DE)**
- **Kuijpers, Maarten**  
**5291 AE Gemonde (NL)**
- **van der Kant, Rik**  
**5752PD Deurne (NL)**

(74) Vertreter: **Novagraaf Technologies**  
**Bâtiment O2**  
**2, rue Sarah Bernhardt**  
**CS90017**  
**92665 Asnières-sur-Seine Cedex (FR)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 3 722 197 DE-A1- 102011 050 857**  
**US-A1- 2020 299 108**

**EP 3 988 439 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

### Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein System mit einer Bewegungskompensationseinrichtung für einen schwimmenden Körper gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren mit dem System.

### Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Aus dem Stand der Technik ist bekannt zwischen zwei schwimmenden Körpern, wie beispielsweise zwischen einem Schiff und einer Bohrplattform, oder zwischen einem schwimmenden und einem feststehenden Körper, wie beispielsweise zwischen einem Schiff und einer Offshore-Windturbine, Personen und Güter zu transferieren. Hierfür ist ein Kontaktaufbau zwischen den Körpern erforderlich. Dazu wird häufig eine Armkonstruktion, wie beispielsweise eine Gangway oder ein Kran, eingesetzt. Diese kann den Kontakt zwischen den Körpern aufbauen und halten. Eine hauptsächliche Störgröße hierbei sind Wasserbewegungen, insbesondere ein Wellengang. Schon bei vergleichsweise kleiner Wellenhöhe wird ein Kontaktaufbau zwischen den Körpern schwierig oder sogar unmöglich und gefährlich. Um den Kontaktaufbau und den Kontakt zwischen dem schwimmenden und feststehenden Körper zu verbessern, sind Bewegungskompensationssysteme bekannt. Diese bewegen beispielsweise die Armkonstruktion derart, dass ein freies Ende eines Arms, das den Kontakt zum feststehenden Körper aufbaut, keine Bewegung mehr ausführt. Das heißt, dass die welleninduzierte Bewegung des freien Endes des Arms kompensiert wird, sodass ein gefahrloser Kontaktaufbau ermöglicht ist. Dazu wird die Bewegung des Körpers, beispielsweise des Schiffs, auf dem die Armkonstruktion gebaut ist, mit einer Beschleunigungs- und Drehratensensorik - Motion Reference Unit (MRU) - erfasst. Über ein kinematisches Modell des Arms kann die dadurch entstehende Bewegung am freien Ende des Arms berechnet werden und entsprechend kompensiert werden. Ein geschlossener Regelkreis ist hierfür nicht notwendig, womit es sich üblicherweise um eine Steuerung handelt.

**[0003]** Systeme mit einem schwimmenden Körper und einer Bewegungskompensationseinrichtung sind ferner bekannt aus der EP 3 722 197 A1, der DE 10 2011 050 857 A1 und der US 2020/0299108 A1.

### Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes System zur Bewegungskompensation zu schaffen. Außerdem ist es die Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zu schaffen, das zu einer verbesserten Bewegungskompensation führt.

**[0005]** Die Aufgabe hinsichtlich des Systems wird ge-

löst gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und hinsichtlich des Verfahrens gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 11.

**[0006]** Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche. Erfindungsgemäß ist ein System mit einem schwimmenden Körper vorgesehen, der einen Arm aufweist. Der Arm ist über zumindest einen Aktor bewegbar. Der Arm ist beispielsweise als Gangway oder Kran ausgestaltet. Über den Aktor oder eine Mehrzahl von Aktoren kann beispielsweise eine Länge des Arms verändert werden und/oder ein Winkel zu einer Horizontalebene verstellt werden und/oder um eine Hochachse des Körpers rotiert werden. Der Arm ist hierbei vorzugsweise um einen Lagerpunkt bewegbar. In weiteren Ausgestaltung ist eine Bewegungskompensationseinrichtung vorgesehen. Mit dieser kann eine, insbesondere ungewollte oder mögliche, Bewegung des Arms, insbesondere aufgrund äußerer Einflüsse, wie beispielsweise eine Wasserbewegung oder eine Luftbewegung, kompensiert werden. Vorzugsweise ist eine Sensoreinrichtung vorgesehen. Diese kann derart eingerichtet sein, dass eine, insbesondere sich ändernde und/oder elastische, Verformung des Arms, beispielsweise auch aufgrund eines Lagerspiels und/oder eine Biegung, und/oder eine Schwingung des Arms ermittelbar ist/sind. Vorteilhafterweise kann eine Bewegungskompensationseinrichtung derart eingerichtet sein, dass die ermittelte Verformung und/oder Schwingung für die Bewegungskompensation, insbesondere für die Berechnung der Bewegungskompensation, eingesetzt ist/sind.

**[0007]** Diese Lösung führt zu einer Verbesserung der Stabilität bei einer Regelung oder Steuerung der Bewegungskompensation über die

**[0008]** Bewegungskompensationseinrichtung und/oder zu einer Verbesserung einer Regelgüte der Bewegungskompensationseinrichtung. Das System ist beispielsweise vorteilhaft zwischen dem schwimmenden Körper und einem weiteren, insbesondere schwimmenden, Körper, wenn der Arm an dem weiteren Körper andocken soll oder sich diesem annähern soll, vorgesehen. Beispielsweise muss bei zwei schwimmenden Körpern zunächst kontinuierlich eine Relativposition, translatorisch und/oder rotatorisch, zwischen einem freien Ende des Arms und der Andockstelle erfasst werden. Anschließend kann dann eine Regelung über die Bewegungskompensationseinrichtung umgesetzt werden, die die relative Abweichung zwischen dem freien Ende und der Andockstelle minimiert und laufend in engen Grenzen hält. Hierbei ist beispielsweise ein geschlossener Regelkreis und insbesondere keine Steuerung vorgesehen. Es hat sich gezeigt, dass Schwingungen des freien Ende des Arms eine Regelgüte sehr negativ beeinflussen können und dass diese sogar zu der Instabilität der Regelung der Bewegungskompensationseinrichtung führen können. Durch die Berücksichtigung der Verformung und/oder Schwingung des Arms wird dies vorteilhaft vermieden. Somit können negative Auswirkungen von unerwünschten Schwingungen des freien Endes oder Ar-

mendes auf die Regelgüte des Regelkreises zur Bewegungskompensation verhindert oder zumindest verringert werden.

**[0009]** In der Robotik werden häufig in vereinfachender Weise starre Verbindungen zwischen Gelenken und ideale Gelenke ohne Spiel oder Hysterese usw. angenommen. Dadurch ergibt sich ein vereinfachter kinematischer Zusammenhang zwischen einer Basis, wie beispielsweise ein Bezugspunkt auf dem Körper, und dem Endeffektor oder freien Ende oder Armende des Arms, wie beispielsweise eine Spitze einer Schiffsgangway. Eine Schiffsgangway oder ein Kranarm können als Roboterarm interpretiert werden. Die vereinfachenden Annahmen von völlig starren Elementen und idealen Gelenken können aber nicht ohne Weiteres gemacht werden. Einerseits kann es aufgrund der Länge der Konstruktion oder Stahlkonstruktion zu Biegeeffekten kommen, andererseits sind die Gelenke möglicherweise nicht ideal. Insbesondere ein teleskopierbares Ende der Schiffsgangway oder des Arms kann ein Problem darstellen, da dieses beispielsweise auf Hartgummirollen gelagert ist. Diese weisen üblicherweise eine gewisse Elastizität auf. Außerdem kann ein geringes Spiel zwischen den Hartgummirollen und dem teleskopierbaren Ende möglich sein. Durch diese Effekte können Bewegungen und Schwingungen des freien Endes entstehen. Die Berücksichtigung der Bewegungen und Schwingungen bei der Regelung erhöht die Regelgüte und führt zu einer höheren Stabilität des Reglers oder der Bewegungskompensationseinrichtung.

**[0010]** Erfindungsgemäß ist die Sensoreinrichtung derart eingerichtet oder ausgebildet, dass eine Relativposition und/oder eine Relativbewegung zwischen zumindest zwei Bereichen oder Punkten des Arms ermittelt wird. Erfindungsgemäß ist ein Bereich am freien Ende oder Armende und ein Bereich näher an einer Basis oder Armbasis des Arms. Die Bereiche sind vorzugsweise in Axialrichtung des Arms gesehen voneinander beabstandet. Die Basis kann somit einen Bezugspunkt am schwimmenden Körper darstellen, zum Beispiel fest mit diesem verbunden sein. Eine derartige Sensoreinrichtung kann vorrichtungstechnisch einfach ausgestaltet werden und ausreichend Informationen liefern, um eine Verformung und/oder Schwingungen des Arms zu erfassen.

**[0011]** Vorzugsweise hat die Sensoreinrichtung zumindest einen Messsensor. Dieser ist vorzugsweise am Arm, insbesondere am freien Ende des Arms, angeordnet, insbesondere starr mit diesem verbunden. Der Messsensor kann beispielsweise in dem Bereich näher am freien Ende des Arms vorgesehen sein. Der Messsensor ist vorzugsweise in Wirkverbindung mit zumindest einer am Körper, also vorzugsweise nicht am Arm, angebrachten Markierung. Hierbei handelt es sich beispielsweise um einen Sichtkontakt. Hierdurch kann auf vorrichtungstechnisch einfache Weise die Relativposition und/oder die Relativbewegung zwischen den zwei Bereichen des Arms ermittelt werden. Alternativ ist denkbar,

dass der Messsensor am Körper, also vorzugsweise nicht am Arm, angeordnet und beispielsweise starr mit diesem verbunden ist. Der Messsensor kann in einer Wirkverbindung mit zumindest einer am Arm, insbesondere am freien Ende des Arms, angebrachten Markierung stehen, wobei insbesondere ein Sichtkontakt vorgesehen ist. Ist die körperseitige Markierung oder der körperseitige Messsensor vom Arm oder von der Basis des Arms beabstandet, wird dieser Abstand einfach bei der Berechnung der Relativposition und/oder der Relativbewegung berücksichtigt. Das gleiche gilt für die Markierung oder den Messsensor, die am Arm oder am freien Ende des Arms befestigt sind, wenn diese also vom freien Ende beabstandet sein sollten. Der Abstand zwischen dem freien Ende und dem Messsensor oder der Markierung wird bei der Berechnung der Relativposition einfach berücksichtigt. Mit dem Messsensor und der Markierung ist eine vorrichtungstechnisch einfache Umsetzung der Sensoreinrichtung ermöglicht. Diese ist kostengünstig und robust ausgestaltbar.

**[0012]** Der Messsensor erfasst vorzugsweise die Markierung beispielsweise regelmäßig oder kontinuierlich oder zu bestimmten Zeitpunkten. Aus den erfassten Messwerten des Messsensors kann dann die Relativposition und/oder die Relativbewegung zwischen dem Messsensor und der Markierung ermittelt werden, wobei die Ermittlung beispielsweise über die Bewegungskompensationseinrichtung erfolgt.

**[0013]** Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass die Bewegungskompensationseinrichtung derart ausgebildet ist, dass eine Relativposition zwischen zwei Bereichen des Arms über ein kinematisches Modell oder Starrkörpermodell und/oder über eine Mehrkörpersimulation ermittelbar ist. Hierdurch kann eine Relativposition zwischen dem freien Ende des Arms und der Basis des Arms ermittelt werden. Hierfür kann beispielsweise eine Akteurposition des Akteurs oder der Akteure zum Bewegen des Arms verwendet sein. Die Bewegungskompensationseinrichtung kann in weiterer Ausgestaltung derart eingerichtet sein, dass es die stationäre Abweichung zwischen der Relativposition, die aus den Werten des Messsensors ermittelt ist, und der Relativposition, die aus dem kinematischen Modell ermittelt ist, als Ergänzung zum kinematischen Modell berücksichtigt, um die Position des Arms zu regeln. Dies hat den Vorteil, dass bei einer Regelung basierend auf dem kinematischen Modell des Arms diese durch die Berücksichtigung der Verformung und/oder der Schwingung des Arms verbessert ist.

**[0014]** Alternativ oder zusätzlich ist denkbar die Bewegungskompensationseinrichtung derart auszugestalten, dass es eine dynamische Abweichung zwischen der Relativposition, die aus den Werten des Messsensors ermittelt ist, und der Relativposition, die aus dem kinematischen Modell ermittelt ist, bei der Regelung der Position des Arms derart berücksichtigt, dass die Stabilität der Regelung verbessert ist.

**[0015]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung hat die

Bewegungskompensationseinrichtung vorzugsweise zumindest einen Sensor. Dieser kann derart eingerichtet sein, um eine Bewegung des Körpers, der den Arm aufweist, zu erfassen. Bei der Bewegung handelt es sich insbesondere um eine Störgröße. Als Sensor kann beispielsweise ein Beschleunigungssensor und/oder ein Drehratensensor vorgesehen sein. Durch den Sensor können über den Körper dann beispielsweise Wasserbewegungen, insbesondere Wellenbewegungen oder Luftbewegungen, erfasst werden, um basierend darauf den Arm für die Bewegungskompensation zu steuern oder zu regeln. Beispielsweise kann mit der Bewegungskompensationseinrichtung eine Bewegung des freien Endes des Arms, insbesondere im Voraus oder aktuell, berechenbar sein. Dies führt dann dazu, dass die Bewegung des freien Endes des Arms entsprechend kompensierbar ist. Hierbei handelt es sich dann vorzugsweise um eine Steuerung oder Störgrößenkompensation.

**[0016]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann bei dem System ein weiterer, insbesondere schwimmender, Körper vorgesehen sein. Dieser hat beispielsweise einen Andockbereich für den Arm des ersten schwimmenden Körpers. An dem Andockbereich oder benachbart zu diesem oder gegenüber von diesem kann das freie Ende des Arms anordenbar oder andockbar sein. Vorzugsweise ist die Bewegungskompensationseinrichtung derart eingerichtet, dass die Relativposition zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms erfassbar ist. Weiter erfolgt die Einrichtung vorzugsweise derart, dass eine relative Abweichung und/oder Relativbewegung zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende minimierbar ist und/oder in, insbesondere engen Grenzen gehalten wird. Hierfür kann beispielsweise ein geschlossener Regelkreis eingesetzt werden. Die Regelung der Relativposition und/oder der Relativbewegung und/oder des Abstands zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms kann vorteilhafter Weise durch Einbeziehung der ermittelten Verformung und/oder der Schwingung des Arms stabiler sein und die Regelgüte kann positiv beeinflusst werden.

**[0017]** Vorzugsweise ist zumindest ein Sensor zum Erfassen oder Erkennen des Andockbereichs vorgesehen. Beispielsweise ist der Sensor am freien Ende des Arms, insbesondere im Bereich des freien Endes oder benachbart zum freien Ende des Arms, angeordnet.

**[0018]** In weiterer Ausgestaltung basiert die Regelung der Bewegungskompensationseinrichtung zur Berechnung der Bewegungskompensation insbesondere auf einem kinematischen Modell des Arms oder auf einer Mehrkörpersimulation des Arms. Vorzugsweise ist die Bewegungskompensationseinrichtung dann derart ausgebildet, dass bei der Weiterverarbeitung der vom zumindest einen Sensor erfassten Messwerte die von der Sensoreinrichtung ermittelte Verformung und/oder Schwingung berücksichtigt wird oder werden. Dies kann beispielsweise derart erfolgen, dass die Verformung und/oder die Schwingung von erfassten Messwerten des

Sensors abgezogen werden.

**[0019]** In einer derartigen Konstellation, bei der ein Körper eine Andockstelle hat, geht es bei einem bewegungskompensierten Arm darum, unabhängig von der Bewegung des Körpers und unter Umständen unabhängig von der Bewegung der Andockstelle, falls diese beweglich ist, eine möglichst konstante Position im Raum bei fester Andockstelle oder eine möglichst konstante Relativposition bezüglich der beweglichen Andockstelle zu gewährleisten.

**[0020]** Bei fester Andockstelle kann die Position des freien Endes des Arms oder der Gangwayspitze mit Hilfe des kinematischen Modells vorgesteuert werden. Hierbei kann beispielsweise die Wellenbewegung am Körper über einen Sensor oder Sensoren gemessen werden, bei den Sensoren handelt es sich beispielsweise um eine Motion Reference Unit (MRU). Über das kinematische Modell des Arms und zusammen mit einem oder mehreren Positionssensor/en an einem oder mehreren Aktoren zum Bewegen des Arms, bei denen es sich beispielsweise um einen oder mehrere Hydraulikzylinder handelt, kann die Bewegung des freien Endes des Arms aufgrund der Bewegung des Körpers berechnet werden. Des Weiteren können beispielsweise mit Hilfe eines inversen kinematischen Modells die Aktoren oder Gangway-Aktoren so vorgesteuert sein, dass die welleninduzierte Bewegung kompensiert wird. Positionsabweichungen aufgrund einer Verformung und/oder Schwingungen des Arms, beispielsweise aufgrund von Biegung und/oder eines Lagerspiels, können beispielsweise additiv auf die Position des freien Endes des Arms aufgerechnet werden.

**[0021]** Ist zumindest ein Sensor zum Erfassen des Andockbereichs vorgesehen, dann ist dies insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Andockstelle sich bewegt. Der oder die Sensor/en, die bei beispielsweise auf der Gangwayspitze angebracht sind, kann/können beispielsweise als Kamera oder als Light Detection and Ranging (LIDAR) Sensor oder als Radio Detection and Ranging (RADAR) Sensor ausgestaltet sein. Bei Verwendung des oder der entsprechenden Sensors/en zur Bewegungskompensation können dann die Störungen durch Verformung und/oder Schwingung, insbesondere durch Biegung oder Lagerspiel, des Arms beispielsweise direkt Eingang in einen geschlossenen Regelkreis der Bewegungskompensationseinrichtung finden. Sie würden dann die Regelgüte und Stabilität negativ beeinflussen. Damit dies verhindert wird, können diese unerwünschten, nicht im kinematischen Modell berücksichtigten Positionsabweichungen durch die Sensoreinrichtung - die die Relativposition zwischen Körper mit Arm und Armspitze ermittelt - gemessen und bei der Bestimmung des Messsignals für die Regelung durch die Bewegungskompensationseinrichtung entsprechend abgezogen werden. Aus diesem Grund wird über die Sensoreinrichtung die Verformung und/oder die Schwingung des Arms für die Bewegungskompensation ermittelt. Hierdurch verbessert sich die Regelgüte und die Stabilität der Rege-

lung.

**[0022]** Der Messsensor - der insbesondere zum Ermitteln der Relativposition zwischen Körper mit Arm und Armspitze vorgesehen ist - ist beispielsweise als Kamera oder LIDAR oder RADAR ausgestaltet. Sind mehrere Messsensoren vorgesehen, so können diese vom gleichen Typ sein oder so können diese als unterschiedliche Typen ausgebildet sein.

**[0023]** Mit anderen Worten kann der zumindest eine Messsensor in der Nähe der Gangwayspitze und in starrer Verbindung zu ihr eingerichtet sein, wobei er zum Schiff gerichtet ist. Der Messsensor kann dann laufend Bilder eines oder mehrerer auf dem Körper, beispielsweise in Form eines Schiffs, angebrachter Marker liefern. Als Marker wird beispielsweise ein ArUco-Marker eingesetzt. Aus den Bildern kann dann mit Hilfe von Algorithmen die Relativposition zwischen dem Messsensor und dem Marker bestimmt werden. Alternativ kann der Messsensor auch am Körper, insbesondere am Schiff, angebracht sein und der Marker ist dann beispielsweise in der Nähe der Gangwayspitze vorgesehen.

**[0024]** Von besonderem Interesse ist vorzugsweise nicht die Relativposition zwischen dem Messsensor und der Markierung, sondern vorzugsweise zwischen dem freien Ende des Arms, insbesondere der Gangwayspitze, und der Basis des Arms, insbesondere der Gangwaybasis. Diese Relativposition kann berechnet werden, vorzugsweise, nachdem die festen Relativpositionen zwischen dem freien Ende des Arms, also beispielsweise der Gangwayspitze, und der Markierung einerseits und dem Messsensor und der Basis des Arms, insbesondere der Gangwaybasis, andererseits über ein Kalibrierungsverfahren bestimmt worden sind. Zusätzlich, insbesondere gleichzeitig, oder alternativ kann die Relativposition zwischen der Basis des Arms, insbesondere der Gangwaybasis, und dem freien Ende des Arms, insbesondere der Gangwayspitze, mit dem kinematischen Modell des Arms, insbesondere der Gangway, berechnet werden. Die Differenzen zwischen den beiden Relativpositionen sind zunächst beispielsweise unmodifizierte Abweichungen. Ein stationärer Anteil dieser Abweichungen, wie beispielsweise eine dauerhafte Durchbiegung des Arms, kann beispielsweise als Ergänzung zum kinematischen Modell berücksichtigt werden. Dynamische Anteile, wie beispielsweise Schwingungen oder hochfrequente Schwingungen des Arms, die beispielsweise nach ruckartigen Bewegungen entstehen können, sind unerwünscht. Unter Kenntnis der unerwünschten Abweichungen kann dann die Regelung der Bewegungskompensationseinrichtung zwischen der Andockstelle und dem freien Ende des Arms erheblich verbessert werden. Hierdurch steigen die Regelungsgüte und die Stabilität.

**[0025]** Erfindungsgemäß ist ein Verfahren mit einem System gemäß einem oder mehrerer der vorhergehenden Aspekte vorgesehen. Mit der Bewegungskompensationseinrichtung wird vorzugsweise die Bewegung des Arms, insbesondere kontinuierlich, kompensiert. Des Weiteren kann die Verformung und/oder die Schwingung

des Arms, insbesondere kontinuierlich, über die Sensoreinrichtung ermittelt werden und für die Bewegungskompensation des Arms von der Bewegungskompensationseinrichtung verwendet werden.

**[0026]** Vorzugsweise ist in weiterer Ausgestaltung des Verfahrens vorgesehen, dass die Bewegungskompensationseinrichtung die Relativposition zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms über Mittel, insbesondere über einen Sensor, erfasst. Die Bewegungskompensationseinrichtung kann somit zumindest einen Aktor des Arms basierend auf der Relativposition ansteuern. Dies kann beispielsweise derart erfolgen, dass ein Abstand kleiner wird und/oder in, insbesondere kleinen, Grenzen gehalten wird.

**[0027]** Bei dem Verfahren kann vorteilhafter Weise die Bewegungskompensationseinrichtung aus der Relativposition zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms, die beispielsweise basierend auf den Messwerten des zumindest einen Sensors ermittelt wird, und der Relativposition zwischen dem freien Ende des Arms und der Basis des Arms, die vorzugsweise basierend auf den Messwerten des zumindest einen Messsensors ermittelt wird, die Relativposition zwischen dem Andockbereich und der Basis des Arms ermitteln. Diese Relativposition ist äußerst vorteilhaft bei der Regelung der Armposition über einen oder mehrerer seiner Aktoren.

**[0028]** In weiterer oder alternativer Ausgestaltung des Verfahrens ist denkbar, dass die Bewegungskompensationseinrichtung die Relativposition zwischen dem freien Ende des Arms und der Basis des Arms, basierend auf den Messwerten des zumindest einen Messsensors, ermittelt. Zusätzlich kann die Relativposition aus dem kinematischen Modell berechnet werden. Störungen können aus der Differenz der Relativpositionen erfasst werden. Somit wird die Relativposition, die über den Messsensor erfasst ist, und die Relativposition, die aus dem kinematischen Modell berechnet wird, herangezogen, und daraus wird dann eine Differenz gebildet. Bei der Differenz handelt es sich dann um die Störungen oder aus der Differenz können die Störungen ermittelt werden. Die Störungen können dann von der über den Sensor ermittelten Relativposition zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms abgezogen werden oder berücksichtigt werden, so dass eine störungsfreie Relativposition zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms resultiert. Die Relativposition zwischen dem Andockbereich und der Basis des Arms kann dann aus der störungsfreien Relativposition ermittelt werden. Die störungsfreie Relativposition ist dabei vorzugsweise die Relativposition zwischen dem Andockbereich und dem freien Ende des Arms und der Relativposition zwischen dem freien Ende des Arms und der Basis des Arms, die auf dem kinematischen Modell basiert, ermittelt.

**[0029]** Offenbart ist ein System mit einem schwimmenden Körper, insbesondere einem Schiff, das einen Arm, insbesondere eine Landungsbrücke, aufweist. Das Sys-

tem weist eine Bewegungskompensationseinrichtung zur Bewegungskompensation des Arms auf. Vorzugsweise ist ein Sensor vorgesehen, mit dem sich die Position des Kopfs der Landungsbrücke relativ zu dem Schiff genauer bestimmen lässt. Insbesondere können Verformungen und/oder Schwingungen der Landungsbrücke über den Sensor ermittelt werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0030]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 in einer schematischen Darstellung ein System gemäß einem Ausführungsbeispiel,  
Figur 2 schematisch eine Regelung für das System aus Figur 1 und  
Figur 3 schematisch eine Regelung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel für das System aus Figur 1.

**[0031]** Gemäß Figur 1 ist ein System 12 für einen schwimmenden Körper 14 in Form eines Schiffs vorgesehen. Der Körper 14 hat einen bewegbaren Arm 16, bei dem es sich um eine Schiffsgangway handelt. Der Arm 16 ist an einem Turm 10 oder Gangwayturm befestigt. Der Arm 16 kann entlang einer Hochachse 18 des Körpers 14 mit einem entsprechenden (nicht dargestellten) Aktor bewegt werden. Außerdem ist der Arm 16 um einen Drehpunkt in zwei Drehrichtungen 20 über einen entsprechenden Aktor drehbar. Somit kann der Arm 16 um den Drehpunkt nach oben und unten gedreht werden. Die Drehachse liegt dabei beispielsweise in einer Ebene, die die Hochachse 18 des Körpers 14 senkrecht schneidet. Durch die Drehung kann somit ein freies Ende 3 des Arms 16 hin zu einer Wasseroberfläche 22 oder weg von der Wasseroberfläche 22 bewegt werden. Vorzugsweise bewegt sich das freie Ende 3 oder der Arm 16 bei einer Drehung in den Drehrichtungen 20 in einer Ebene, die die Drehachse senkrecht schneidet und sich parallel zur Hochachse 18 erstreckt. Über einen weiteren Aktor kann der Arm 16 in seiner Länge verstellt werden. So ist beispielsweise ein vom Turm 10 entfernter Armteil 5 oder Gangwayteil des Arms 16 teleskopierbar oder ein- und ausfahrbar bezüglich des übrigen Arms 16.

**[0032]** Am Turm 10 ist ein Messsensor 2 einer Sensoreinrichtung lagefixiert befestigt. Der Messsensor 2 ist beispielsweise als Kamera oder als LIDAR-Sensor oder als Laser-Sensor oder RADAR-Sensor ausgestaltet. Denkbar ist auch, mehrere Messsensoren 2 vorzusehen. Diese können gleich ausgestaltet sein oder unterschiedlichen Typs sein, beispielsweise ein Kamerasensor und ein LIDAR-Sensor. Der Messsensor 2 wirkt mit einer Markierung 1 zusammen. Diese ist endseitig des Arms 16, auf Seiten seines freien Endes 3, fest und lagefixiert mit diesem verbunden. Der Messsensor 2 erfasst dann kontinuierlich die Markierung 1. Diese ist beispielsweise als

Marker oder Reflektor ausgestaltet. Denkbar wäre, eine an den Messsensor 2 angepasste Markierung 1 zu verwenden. Beispielsweise kann ein vordefinierter Marker, wie beispielsweise ein ArUco-Marker, für den Messsensor 2 in Form einer Kamera eingesetzt sein. Oder es wird ein vordefinierter Marker für den Messsensor 2 in Form des LIDAR-Sensors verwendet. Denkbar wäre auch, die Markierung 1 als Reflektor oder Prisma für den Messsensor 2 in Form eines Laser-Sensors zu verwenden. Auch wäre denkbar, die Markierung 1 als RADAR-Reflektor für den Messsensor 2 auszugestalten, wenn der Sensor 2 als RADAR-Sensor ausgebildet ist. Außerdem wäre denkbar, mehrere Markierungen vorzusehen. Auch ist denkbar, mehrerer Markierungen gleichen Typs oder unterschiedlichen Typs auszugestalten. Die Markierung 1 ist vorzugsweise in unmittelbarer Nähe zum freien Ende 3 oder zur Gangwayspitze starr mit dem Arm 16, insbesondere mit dem Armteil 5, verbunden. Alternativ wäre denkbar, dass die Position der Markierung 1 und des Messsensors 2 vertauscht ist. Auch wäre denkbar, bei der Position der Markierung 1 zusätzlich einen weiteren Messsensor vorzusehen und bei der Position des Messsensors 2 eine weitere Markierung, wobei der weitere Messsensor und die weitere Markierung in Wirkverbindung stehen. Außerdem ist denkbar, an weiteren Positionen zumindest einen weiteren Messsensor und/oder eine weitere Markierung vorzusehen, um eine Messgenauigkeit weiter zu verbessern.

**[0033]** Des Weiteren ist bei dem System 12 aus Figur 1 endseitig des Arms 16, insbesondere benachbart zu seinem freien Ende 3, ein Sensor 8 angeordnet. Dieser dient zum Erfassen eines Andockbereichs 4 oder einer Andockstelle eines weiteren Körpers. Der Andockbereich 4 ist beispielsweise ortsfest oder ebenfalls schwimmend, indem er beispielsweise Teil eines Schiffs ist.

**[0034]** In der weiteren Beschreibung werden folgende Begrifflichkeiten verwendet: Eine Relativposition zwischen zwei Körpern soll die Translation und die Rotation zwischen den Koordinatensystemen der beiden Körper oder Starrkörper erfassen und weist im besonderen sieben Werte auf. Zum einen Translationen in drei Koordinatenrichtungen und vier Quaternionenwerte, um eine Rotation darzustellen. Alternativ zu den vier Quaternionenwerten ist denkbar, beispielsweise drei Eulerwinkel zu verwenden. Die Relativposition zwischen zwei Körpern A und B soll mit  $T_{AB}$  abgekürzt werden. Hierbei handelt es sich um eine homogene Transformation, die einen homogenen Vektor vom Koordinatensystem B in das Koordinatensystem A überführt. Ist die Transformation von Koordinatensystem B nach A  $T_{AB}$  und vom Koordinatensystem A nach C  $T_{CA}$  bekannt, so ergibt sich die Transformation von B nach C  $T_{CB}$  als Konkatenation der Einzeltransformationen  $T_{CA} * T_{AB}$ .

**[0035]** In einem ersten Schritt erfolgt die Bestimmung einer Positionsdivergenz zwischen einem berechneten kinematischen Modell und einer tatsächlichen Messung der Position des Arms 16, was im Folgenden erläutert ist. Vorzugsweise bestimmt eine schematisch in Figur 1

dargestellte Bewegungskompensationseinrichtung 24 oder eine Sensoreinheit mit dem Messsensor 2, insbesondere mit einem computerimplementierten Algorithmus, die Relativposition zwischen dem Messsensor 2 und der Markierung 1. Die Relativposition ist insbesondere aus drei Translationswerten und vier Quaternionenwerten zusammengesetzt. Vorzugsweise wird initial zusätzlich eine Relativposition zwischen der Markierung 1 und dem freien Ende 3 oder der Gangwayspitze und eine Relativposition zwischen dem Messsensor 2 und einer Basis 9 oder Gangwaybasis ermittelt. Es kann somit auf die Relativposition zwischen dem freien Ende 3 und der Basis 9 oder dem Abstand zwischen diesen Punkten basierend auf dem Messsensor 2 erfassten Werten geschlossen werden. Zusätzlich wird diese Relativposition vorzugsweise über ein kinematisches Modell oder kinematisches Starrkörpermodell berechnet. Durch ein geeignetes Kalibrierverfahren kann die Differenz dieser Relativpositionen ermittelt werden. In anderen Worten kann durch ein geeignetes Kalibrierverfahren die Positionsdifferenz für die Gangwayspitze zwischen dem kinematischen Modell für die Gangway und den vom Messsensor 2 tatsächlich erfassten Positionswert ermittelt werden.

**[0036]** Es ist denkbar, dass nicht nur ein Messsensor 2 zum Einsatz kommt, sondern mehrere, insbesondere parallel, deren Einzelsignale dann zu einem Gesamtsignal fusioniert werden.

**[0037]** In einem nächsten zweiten Schritt wird dann die Positionsdifferenz aus dem vorhergehenden Schritt in einer Regelung für die Bewegungskompensation durch die Bewegungskompensationseinrichtung 24 berücksichtigt. Die Regelung funktioniert folgendermaßen: Mit Hilfe eines oder mehrerer der Sensoren 8 wird die Relativposition zwischen dem Andockbereich 4 und dem freien Ende 3, insbesondere kontinuierlich, bestimmt. Ein Regler der Bewegungskompensationseinrichtung 24 steuert dann Aktoren des Arms 16 derart an, dass diese Relativposition hinreichend klein wird und in entsprechend hinreichend kleinen Grenzen gehalten wird. Das heißt, dass ein Kontakt zwischen dem Andockbereich 4 und dem freien Ende 3 vorzugsweise aufgebaut und gehalten wird. In das Signal des Messsensors 2 oder Relativpositionssignal gehen sämtliche Bewegungen des freien Endes 3 ein, beispielsweise alle Schwingungen, die sich aufgrund des Spiels oder der Biegung des teleskopierbaren Arms 5 ergeben. Dieser Signalanteil ist aufgrund seiner geringen Größe für ein genaues Regelergebnis wenig relevant, allerdings kann er umgekehrt das Regelverhalten negativ beeinflussen bis hin zur Instabilität. Um diesen negativen Effekt zu vermeiden, werden die Signalanteile, die im vorhergehend beschriebenen Schritt als Differenz zwischen dem kinematischen Modell und der Messung über den Messsensor 2 bestimmt wurden, bei der Regelung der Bewegungskompensation vorteilhaft benutzt.

**[0038]** In Figur 2 wird mit  $T_{yx}$  die Relativposition zwischen Element X oder Körper X und Element Y oder Körper Y oder zwischen dem Koordinatensystem von Körper

X und Y bezeichnet. X und Y betreffen im Folgenden die Bezugszeichen aus Figur 1. Die Bestimmung von  $P_{39}$ , also die Relativposition zwischen der Basis 9 und dem freien Ende 3 wurde in Schritt 1 erläutert. Wie vorstehend erläutert wird über den Sensor 8 die Relativposition  $T_{43}$  zwischen dem freien Ende 3 und dem Andockbereich 4 ermittelt. Fügt man  $T_{39}$  und  $T_{43}$  zusammen, so ergibt sich die Relativposition zwischen der Basis 9 und dem Andockbereich 4, was als  $T_{49}$  bezeichnet wird. Gemäß Figur 2 wird für die Relativposition  $T_{39}$  die Relativposition zwischen  $T_{12}$ , also zwischen der Markierung 1 und dem Messsensor 2, über einen Positionsbestimmungsalgorithmus 26 ermittelt. Als Eingang für diesen ist das Messsignal des Messsensors 2 vorgesehen. Als weitere Basis für die Relativposition  $T_{39}$  dient die Relativposition  $T_{31}$ , also zwischen dem freien Ende 3 und der Markierung 1, die über einen Kalibrierungsalgorithmus 28 ermittelt wird. Außerdem dient als Basis für die Relativposition  $T_{39}$  die Relativposition zwischen dem Messsensor 2 und der Basis 9, die als  $T_{29}$  bezeichnet ist und über einen Kalibrierungsalgorithmus 30 ermittelt wird. Aus den Relativpositionen  $T_{12}$ ,  $T_{31}$  und  $T_{29}$  ergibt sich dann die Relativposition  $T_{39}$ . Für die Relativposition  $T_{43}$  aus Figur 2 dient die Relativposition  $T_{43}$  zwischen dem Sensor 8 und dem Andockbereich 4 und die Relativposition  $T_{83}$  zwischen dem freien Ende 3 und dem Sensor 8 als Basis. Die Relativposition  $T_{48}$  wird über einen Positionsbestimmungsalgorithmus 32 ermittelt, der als Eingang Sensorsignale des Sensors 8 hat. Die Relativposition  $T_{83}$  wird über einen Kalibrierungsalgorithmus 33 ermittelt. Wie bereits beschrieben ergibt sich dann aus Relativpositionen  $T_{39}$  und  $T_{43}$  die Relativposition  $T_{49}$ . Da die Messsignale der Sensoren 2 und 8 die ungewollten Störungen enthalten, kompensieren sich diese in der Addition, so dass sich eine daraus ergebende Relativposition  $T_{49}$ , s. Figur 2, störungsfrei ist. Diese eignet sich somit wesentlich besser zur Regelung, als wenn  $T_{43}$  mit  $T_{39,ideal}$  aus einem idealisierten, insbesondere starren, kinematischen Modell des Arms 16 kumuliert wird.

**[0039]** Der Arm 16 aus Figur 1 kann eine Vielzahl von unterschiedlichen Relativpositionen  $T_{39}$  zwischen der Basis 9 und dem freien Ende realisieren. Entsprechend muss dem Regler der Bewegungskompensationseinrichtung 24 vorgegeben werden, wo das freie Ende 3 oder die Gangwayspitze relativ zum Andockbereich 4 oder der Andockstelle stehen soll, wobei dies als  $T_{34,Soll}$  bezeichnet ist, s. Figur 2. Soll das freie Ende 3 oder die Gangwayspitze exakt auf dem Andockbereich 4 positioniert werden, so ist der Sollwert für den Regler  $T_{39,Soll} = T_{49}$ . Eine Positionierung in einem beliebigen Abstand zum Andockbereich 4 ist aber auch möglich, wobei dann  $T_{39,Soll} = T_{34,Soll} * T_{49}$  gilt. Der Regler setzt dann aus den Relativpositionen  $T_{49}$  und  $T_{34,Soll}$  die Relativpositionsanforderung als Reglersollwert  $T_{39,Soll}$  um. Dies erfolgt dadurch, dass aus  $T_{39,Soll}$  über ein inverses Modell 34 Aktoranforderungen errechnet werden, die zum Erreichen der Sollfunktion benötigt werden. Als Aktoranforderungen sind beispielsweise bei Hydrozylindern Aus-

fahr- und Einfahrlängen einer jeweiligen Kolbenstange und Aus- und Einfahrgeschwindigkeiten der jeweiligen Kolbenstange vorgesehen. Gemäß Figur 2 sind beispielhaft drei Aktoren 36, 38 und 40 schematisch dargestellt.

**[0040]** Gemäß Figur 3 ist eine weitere Ausführungsform einer Regelung der Bewegungskompensationseinrichtung 24 aus Figur 1 gezeigt. Die Bestimmung der Relativpositionen  $T_{39}$  und  $T_{43}$  ist entsprechend Figur 2 ausgestaltet. Die Relativposition  $T_{49}$  wird allerdings alternativ berechnet. Unerwünschte Störungen  $\Delta T_{39}$  werden explizit berechnet als Differenz zwischen Relativpositionen  $T_{39, \text{Modell}}$  aus dem kinematischen Modell 42 des Arms 16 und der über die Sensorsignale des Messsensors 2 bestimmte Relativposition  $T_{39}$  zwischen der Basis 9 und dem freien Ende 3. Zum Berechnen des Modells 42 werden Sensorsignale der Sensoren 44, 46 und 48 verwendet, die einen jeweiligen Aktor 36, 38 und 40 zugeordnet sind. Die Sensoren 44 bis 48 ermitteln beispielsweise die aktuelle Aktorposition, womit ein Rückschluss auf die Position des Arms 16 ermöglicht ist. Im Anschluss werden die Störungen, insbesondere  $\Delta T_{39}$ , von der über den Sensor 8 bestimmten Relativposition zwischen dem freien Ende 3 und dem Andockbereich 4, die als  $T_{43}$  bezeichnet ist, abgezogen. Daraus wird eine störungsfreie Relativposition  $T_{43, \text{ohne Störung}}$  erhalten. Die Relativposition  $T_{49}$  ergibt sich dann aus der störungsfreien Relativposition  $T_{43, \text{ohne Störung}}$  und  $T_{39, \text{Modell}}$ . Die weitere Verarbeitung der Relativposition  $T_{49}$  ist entsprechend Figur 2 ausgestaltet.

#### Bezugszeichenliste

#### [0041]

|            |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| 1          | Markierung                        |
| 2          | Messsensor                        |
| 3          | freies Ende                       |
| 5          | Armteil                           |
| 4          | Andockbereich                     |
| 8          | Sensor                            |
| 9          | Basis                             |
| 10         | Turm                              |
| 12         | System                            |
| 14         | Körper                            |
| 16         | Arm                               |
| 18         | Hochachse                         |
| 20         | Drehrichtung                      |
| 22         | Wasseroberfläche                  |
| 24         | Bewegungskompensationseinrichtung |
| 26, 32     | Positionsbestimmungsalgorithmus   |
| 28, 30, 33 | Kalibrierungsalgorithmus          |
| 34         | Inverses Modell                   |
| 36, 38, 40 | Aktor                             |
| 42         | Modell                            |
| 44, 46, 48 | Sensor                            |

#### Patentansprüche

1. System mit einem schwimmenden Körper (14), der einen Arm (16) aufweist, wobei der Arm (16) über zumindest einen Aktor (36, 38, 40) bewegbar ist, wobei eine Bewegungskompensationseinrichtung (24) vorgesehen ist, mit der eine Bewegung des Arms (16) kompensierbar ist, wobei eine Sensoreinrichtung (1, 2) vorgesehen ist, die derart eingerichtet ist, dass eine Verformung des Arms (16) und/oder eine Schwingung des Arms (16) ermittelt wird, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) derart eingerichtet ist, dass die von der Sensoreinrichtung (1, 2) ermittelte Verformung und/oder Schwingung für die Bewegungskompensation eingesetzt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoreinrichtung (1, 2) derart eingerichtet ist, dass eine Relativposition ( $T_{39}$ ) zwischen zwei Bereichen des Arms (16) ermittelt wird, wobei ein Bereich an dem freien Ende (3) und ein Bereich näher an einer Basis (9) des Arms (16) vorgesehen ist.
2. System nach Anspruch 1, wobei die Sensoreinrichtung (1, 2) zumindest einen Messsensor (2) hat, der am Arm (16) angeordnet ist, wobei der Messsensor (2) in Wirkverbindung mit zumindest einer am Körper (14) angebrachten Markierung (1) steht, oder der am Körper (14) angeordnet ist, wobei der Messsensor (2) in Wirkverbindung mit zumindest einer am Arm (16) angebrachten Markierung (1) steht.
3. System nach Anspruch 2, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) derart eingerichtet ist, dass aus den erfassten Werten des Messsensors (2) eine Relativposition ( $T_{39}$ ) zwischen dem freien Ende (3) und der Basis (9) des Arms (16) ermittelbar ist.
4. System nach Anspruch 3, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) derart eingerichtet ist, dass eine Relativposition ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) zwischen dem freien Ende (3) des Arms (16) und der Basis (9) des Arms (16) über ein kinematisches Modell (42) ermittelt wird.
5. System nach Anspruch 4, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) derart eingerichtet ist, dass es die stationäre Abweichung zwischen der Relativposition ( $T_{39}$ ), die aus den Werten des Messsensors (2) ermittelt ist, und der Relativposition ( $T_{39, \text{Modell}}$ ), die aus dem kinematischen Modell (42) ermittelt ist, als Ergänzung zum kinematischen Modell (42) berücksichtigt, um die Position des Arms (16) zu regeln, und/oder dass es die dynamische Abweichung zwischen der Relativposition ( $T_{39}$ ), die aus den Werten des Messsensors (2) ermittelt ist, und der Relativposition ( $T_{39, \text{Modell}}$ ), die aus dem kinematischen Modell (42) ermittelt ist, bei der Rege-

lung der Position des Arms (16) derart berücksichtigt, dass die Stabilität der Regelung verbessert ist.

6. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) zumindest einen Sensor aufweist, der derart eingerichtet ist, um eine Bewegung des Körpers (14) zu erfassen. 5
7. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein weiterer Körper vorgesehen ist, der einen Andockbereich (4) für den Arm (16) aufweist, an den oder benachbart oder gegenüber zu diesem das freie Ende (3) des Arms (16) anordenbar ist. 10
8. System nach Anspruch 7, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) derart eingerichtet ist, dass die Relativposition ( $T_{43}$ ) zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) des Arms (16) erfassbar ist und eine relative Abweichung zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) minimierbar ist. 15 20
9. System nach Anspruch 7 oder 8, wobei zumindest ein Sensor (8) zum Erfassen des Andockbereichs (4) vorgesehen ist. 25
10. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Regelung des Arms (16) über die Bewegungskompensationseinrichtung (24) auf einem kinematischen Modell (42) des Arms (16) basiert. 30
11. Verfahren mit einem System gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mit der Bewegungskompensationseinrichtung (24) die Bewegung des Arms (16) kompensiert wird, wobei die Verformung und/oder die Schwingung des Arms (16) ermittelt wird und für die Bewegungskompensation des Arms (16) der Bewegungskompensationseinrichtung (24) verwendet wird. 35 40
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) aus der Relativposition ( $T_{43}$ ) zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) des Arms (16), die basierend auf den Messwerten des zumindest einen Sensors (8) ermittelt wird, und aus der Relativposition ( $T_{39}$ ) zwischen dem freien Ende (3) des Arms (16) und der Basis (9) des Arms (16), die basierend auf den Messwerten des zumindest einen Messsensors (2) ermittelt wird, die Relativposition ( $T_{49}$ ) zwischen dem Andockbereich (4) und der Basis (9) des Arms (16) ermittelt. 45 50
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) die Relativposition ( $T_{43}$ ) zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) des Arms (16) über Mittel (8) erfasst, und wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) 55

zung (24) zumindest einen Aktor (36, 38, 40) des Arms (16) basierend auf der Relativposition ( $T_{43}$ ) ansteuert, so dass ein Abstand zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) kleiner wird und/oder in Grenzen gehalten wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Bewegungskompensationseinrichtung (24) die Relativposition ( $T_{39}$ ) zwischen dem freien Ende (3) des Arms (16) und der Basis (9) des Arms (16), die basierend auf den Messwerten des zumindest einen Messsensors (2) ermittelt ist, erfasst, und die Relativposition ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) zwischen dem freien Ende des Arms (3) und der Basis (9) des Arms (16) aus dem kinematischen Modell (42) berechnet, wobei aus diesen Relativpositionen ( $T_{39}$ ,  $T_{39, \text{Modell}}$ ) Störungen ermittelbar sind, die bei der über den Sensor (8) ermittelten Relativposition ( $T_{43}$ ) zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) des Arms (16) berücksichtigt werden, so dass eine störungsfreie Relativposition ( $T_{43, \text{ohne Störung}}$ ) zwischen dem Andockbereich (4) und dem freien Ende (3) resultiert.

#### Claims

1. System comprising a floating body (14) that has an arm (16), the arm (16) being movable via at least one actuator (36, 38, 40), with a movement compensation device (24) being provided by means of which a movement of the arm (16) can be compensated, with a sensor device (1, 2) being provided which is designed in such a way that a deformation of the arm (16) and/or a vibration of the arm (16) is determined, the movement compensation device (24) being designed in such a way that the deformation and/or vibration determined by means of the sensor device (1, 2) is used for the movement compensation, **characterized in that** the sensor device (1, 2) is designed in such a way that a relative position ( $T_{39}$ ) between two regions of the arm (16) is determined, with one region being provided at the free end (3) and one region being provided closer to a base (9) of the arm (16).
2. System according to claim 1, wherein the sensor device (1, 2) has at least one measuring sensor (2) which is arranged on the arm (16), wherein the measuring sensor (2) is operatively connected to at least one marking (1) applied to the body (14), or which is arranged on the body (14), wherein the measuring sensor (2) is operatively connected to at least one marking (1) applied to the arm (16).
3. System according to claim 2, wherein the movement compensation device (24) is designed in such a way that a relative position ( $T_{39}$ ) between the free end

(3) and the base (9) of the arm (16) can be determined from the detected values of the measuring sensor (2).

4. System according to claim 3, wherein the movement compensation device (24) is designed in such a way that a relative position ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) between the free end (3) of the arm (16) and the base (9) of the arm (16) is determined via a kinematic model (42).
5. System according to claim 4, wherein the movement compensation device (24) is designed in such a way that it takes into account the stationary deviation between the relative position ( $T_{39}$ ) which is determined from the values of the measuring sensor (2), and the relative position ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) which is determined from the kinematic model (42), as a supplement to the kinematic model (42), in order to control the position of the arm (16), and/or that it takes into account the dynamic deviation between the relative position ( $T_{39}$ ) which is determined from the values of the measuring sensor (2), and the relative position ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) which is determined from the kinematic model (42), when controlling the position of the arm (16), in such a way that the stability of the control is improved.
6. System according to any of the preceding claims, wherein the movement compensation device (24) has at least one sensor which is designed so as to detect a movement of the body (14).
7. System according to any of the preceding claims, wherein a further body is provided which has a docking region (4) for the arm (16), on or adjacent to or opposite which the free end (3) of the arm (16) can be arranged.
8. System according to claim 7, wherein the movement compensation device (24) is designed in such a way that a relative position ( $T_{43}$ ) between the docking region (4) and the free end (3) of the arm (16) can be detected, and a relative deviation between the docking region (4) and the free end (3) can be minimized.
9. System according to either claim 7 or claim 8, wherein at least one sensor (8) is provided for detecting the docking region (4).
10. System according to any of the preceding claims, wherein the control of the arm (16) via the movement compensation device (24) is based on a kinematic model (42) of the arm (16).
11. Method using a system according to any of the preceding claims, wherein the movement of the arm (16) is compensated by means of the movement compensation device (24), wherein the deformation

and/or the vibration of the arm (16) is determined and used for the movement compensation of the arm (16) by the movement compensation device (24).

12. Method according to claim 11, wherein the movement compensation device (24) determines the relative position ( $T_{49}$ ) between the docking region (4) and the base (9) of the arm (16) from the relative position ( $T_{43}$ ) between the docking region (4) and the free end (3) of the arm (16) which is determined on the basis of the measured values of the at least one sensor (8), and from the relative position ( $T_{39}$ ) between the free end (3) of the arm (16) and the base (9) of the arm (16) which is determined on the basis of the measured values of the at least one measuring sensor (2).
13. Method according to claim 12, wherein the movement compensation device (24) detects the relative position ( $T_{43}$ ) between the docking region (4) and the free end (3) of the arm (16) via means (8), and wherein the movement compensation device (24) controls at least one actuator (36, 38, 40) of the arm (16) on the basis of the relative position ( $T_{43}$ ) such that a distance between the docking region (4) and the free end (3) becomes smaller and/or is kept within limits.
14. Method according to either claim 11 or claim 12, wherein the movement compensation device (24) determines the relative position ( $T_{39}$ ) between the free end (3) of the arm (16) and the base (9) of the arm (16) which is determined on the basis of the measured values of the at least one measuring sensor (2), and calculates the relative position ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) between the free end of the arm (3) and the base (9) of the arm (16) from the kinematic model (42), wherein, from these relative positions ( $T_{39}$ ,  $T_{39, \text{Modell}}$ ), disturbances can be determined which are taken into account in the relative position ( $T_{43}$ ) between the docking region (4) and the free end (3) of the arm (16) which is determined via the sensor (8), so as to result in a disturbance-free relative position ( $T_{43, \text{ohne Störung}}$ ) between the docking region (4) and the free end (3).

## Revendications

1. Système comportant un corps (14) flottant qui présente un bras (16), dans lequel le bras (16) peut être déplacé par l'intermédiaire d'au moins un actionneur (36, 38, 40), dans lequel un dispositif de compensation de déplacement (24) est prévu, avec lequel un déplacement du bras (16) peut être compensé, dans lequel un dispositif à capteur (1, 2) est prévu, lequel est configuré de telle sorte qu'une déformation du bras (16) et/ou une oscillation du bras (16) sont dé-

- terminées, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) est configuré de telle sorte que la déformation et/ou l'oscillation déterminées par le dispositif à capteur (1, 2) sont utilisées pour la compensation de déplacement, **caractérisé en ce que** le dispositif à capteur (1, 2) est configuré de telle sorte qu'une position relative ( $T_{39}$ ) entre deux zones du bras (16) est déterminée, dans lequel une zone est prévue au niveau de l'extrémité libre (3) et une zone plus proche est prévue au niveau d'une base (9) du bras (16).
2. Système selon la revendication 1, dans lequel le dispositif à capteur (1, 2) comprend au moins un capteur de mesure (2) qui est disposé sur le bras (16), dans lequel le capteur de mesure (2) est en liaison fonctionnelle avec au moins un repère (1) monté sur le corps (14), ou qui est disposé sur le corps (14), dans lequel le capteur de mesure (2) est en liaison fonctionnelle avec au moins un repère (1) monté sur le bras (16).
  3. Système selon la revendication 2, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) est configuré de telle sorte qu'une position relative ( $T_{39}$ ) entre l'extrémité libre (3) et la base (9) du bras (16) peut être déterminée à partir des valeurs détectées du capteur de mesure (2).
  4. Système selon la revendication 3, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) est configuré de telle sorte qu'une position relative ( $T_{39, \text{Modell}}$ ) entre l'extrémité libre (3) du bras (16) et la base (9) du bras (16) est déterminée par l'intermédiaire d'un modèle cinématique (42).
  5. Système selon la revendication 4, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) est configuré de telle sorte que le système prend en compte l'écart stationnaire entre la position relative ( $T_{39}$ ), laquelle est déterminée à partir des valeurs du capteur de mesure (2), et la position relative ( $T_{39, \text{Modell}}$ ), laquelle est déterminée à partir du modèle cinématique (42), en tant que complément du modèle cinématique (42), afin de régler la position du bras (16), et/ou de telle sorte que le système prend en compte l'écart dynamique entre la position relative ( $T_{39}$ ), laquelle est déterminée à partir des valeurs du capteur de mesure (2), et la position relative ( $T_{39, \text{Modell}}$ ), laquelle est déterminée à partir du modèle cinématique (42), lors du réglage de la position du bras (16) de telle sorte que la stabilité du réglage est améliorée.
  6. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) présente au moins un capteur qui est configuré afin de détecter un déplacement du corps (14).
  7. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel un autre corps est prévu, lequel présente une zone d'amarrage (4) pour le bras (16), sur laquelle ou à proximité ou en face de laquelle l'extrémité libre (3) du bras (16) peut être disposée.
  8. Système selon la revendication 7, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) est configuré de telle sorte que la position relative ( $T_{43}$ ) entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) du bras (16) peut être détectée et un écart relatif entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) peut être minimisé.
  9. Système selon la revendication 7 ou 8, dans lequel au moins un capteur (8) est prévu pour la détection de la zone d'amarrage (4).
  10. Système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le réglage du bras (16) par l'intermédiaire du dispositif de compensation de déplacement (24) est basée sur un modèle cinématique (42) du bras (16).
  11. Procédé comportant un système selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le déplacement du bras (16) est compensé au moyen du dispositif de compensation de déplacement (24), dans lequel la déformation et/ou l'oscillation du bras (16) sont déterminées et utilisées pour la compensation de déplacement du bras (16) du dispositif de compensation de déplacement (24).
  12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) détermine, à partir de la position relative ( $T_{43}$ ) entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) du bras (16), laquelle position relative est déterminée sur la base des valeurs de mesure de l'au moins un capteur (8), et à partir de la position relative ( $T_{39}$ ) entre l'extrémité libre (3) du bras (16) et la base (9) du bras (16), laquelle position relative est déterminée sur la base des valeurs de mesure de l'au moins un capteur de mesure (2), la position relative ( $T_{49}$ ) entre la zone d'amarrage (4) et la base (9) du bras (16).
  13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) détecte la position relative ( $T_{43}$ ) entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) du bras (16) par l'intermédiaire d'un moyen (8), et dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) commande au moins un actionneur (36, 38, 40) du bras (16) sur la base de la position relative ( $T_{43}$ ), de sorte qu'une distance entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) diminue et/ou est maîtrisée.

14. Procédé selon la revendication 11 ou 12, dans lequel le dispositif de compensation de déplacement (24) détecte la position relative ( $T_{39}$ ) entre l'extrémité libre (3) du bras (16) et la base (9) du bras (16), laquelle position relative est déterminée sur la base des valeurs de mesure de l'au moins un capteur de mesure (2), et calcule la position relative ( $T_{39,Modell}$ ) entre l'extrémité libre (3) du bras et la base (9) du bras (16) à partir du modèle cinématique (42), dans lequel des perturbations peuvent être déterminées à partir desdites positions relatives ( $T_{39}$ ,  $T_{39,Modell}$ ), lesquelles perturbations sont prises en compte pour la position relative ( $T_{43}$ ) entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) du bras (16), laquelle position relative est déterminée par l'intermédiaire du capteur (8), de sorte qu'une position relative ( $T_{43,ohne\ Störung}$ ) exempte de perturbations entre la zone d'amarrage (4) et l'extrémité libre (3) en résulte.

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

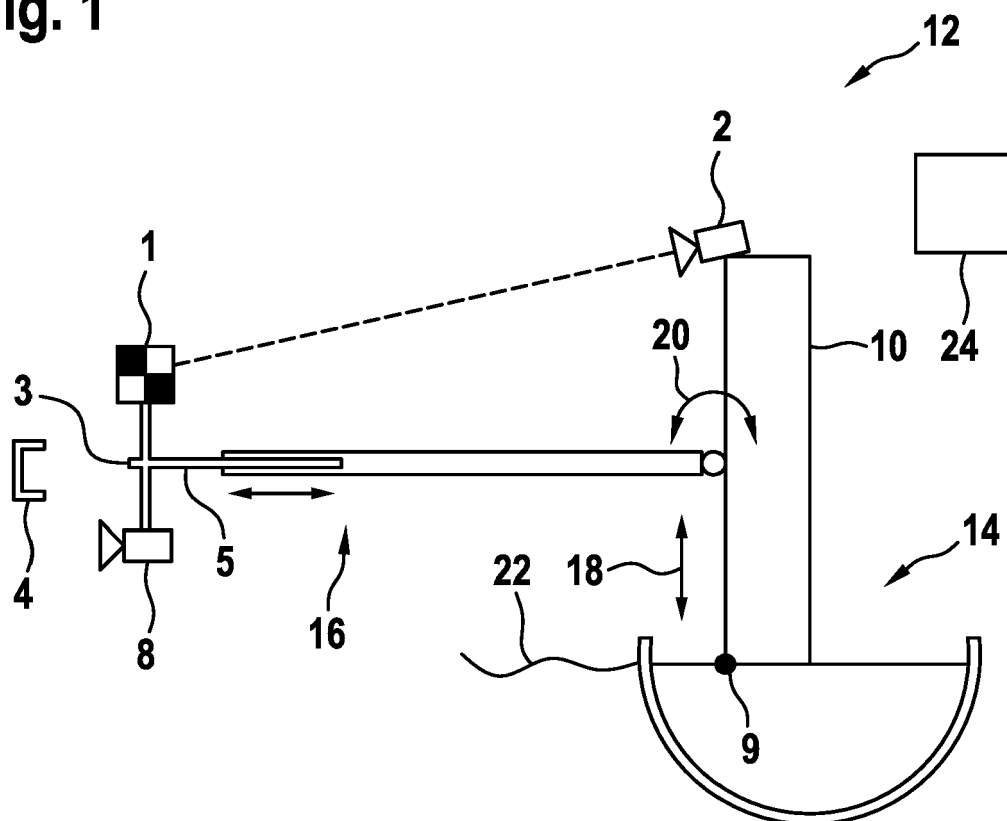


Fig. 2

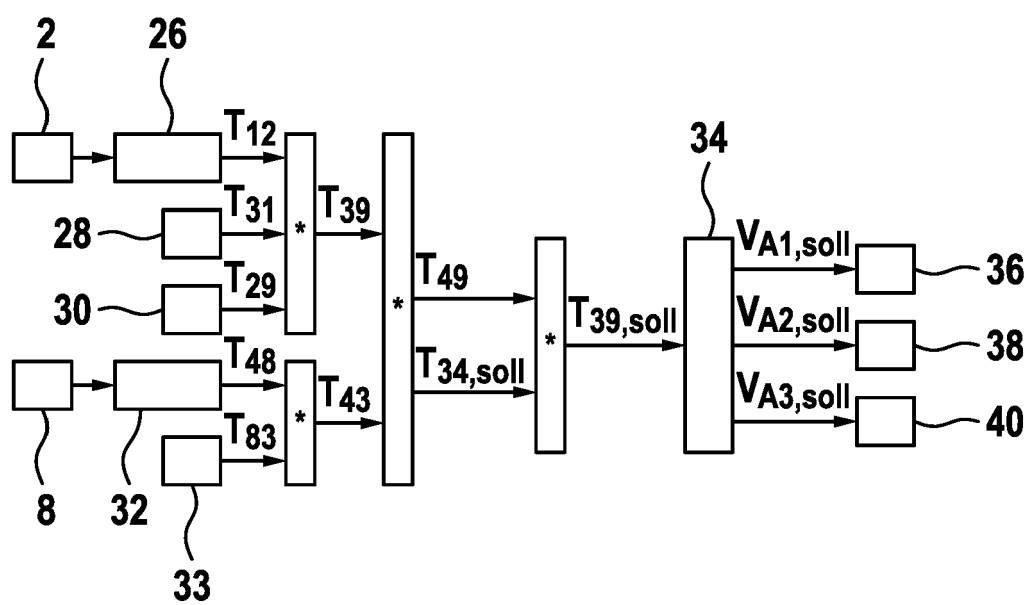
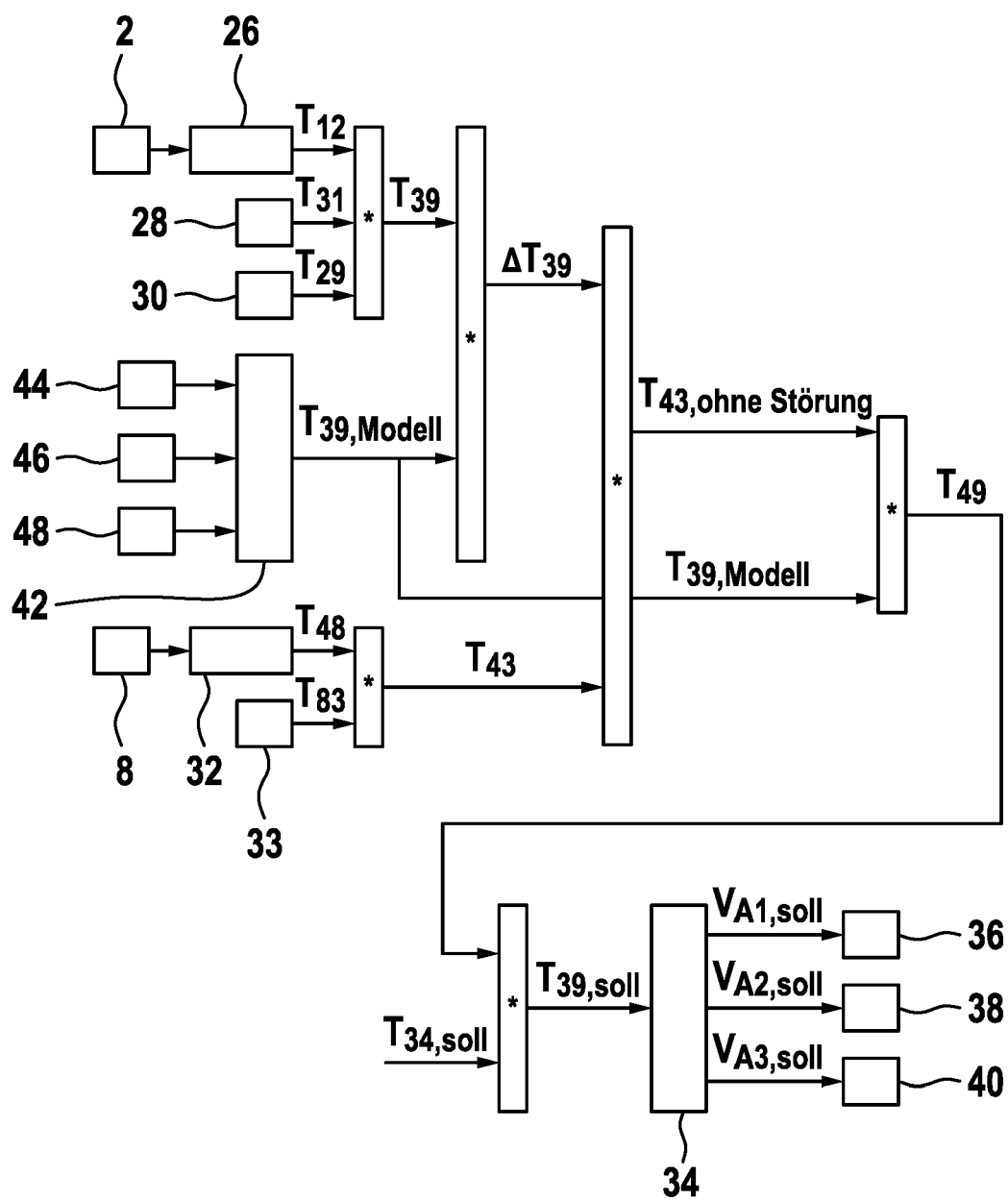


Fig. 3



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 3722197 A1 [0003]
- DE 102011050857 A1 [0003]
- US 20200299108 A1 [0003]