



(11)

EP 1 992 583 B2

(12)

## NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:  
**22.11.2023 Patentblatt 2023/47**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B66C 13/08** (2006.01)      **B66C 13/46** (2006.01)  
**B66C 13/06** (2006.01)

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:  
**28.01.2015 Patentblatt 2015/05**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B66C 13/46; B66C 13/063; B66C 13/085**

(21) Anmeldenummer: **08008276.1**

(22) Anmeldetag: **30.04.2008**

### (54) Kran mit Kransteuerung

Crane control, crane and method

Commande de grue, grue et procédé

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

- **Sawodny, Oliver, Prof.Dr.-Ing.**  
70186 Stuttgart (DE)
- **Neupert, Jörg, Dipl.-Ing.**  
70825 Korntal-Münchingen (DE)

(30) Priorität: **16.05.2007 DE 102007023027  
21.08.2007 DE 102007039408**

(74) Vertreter: **Laufhütte, Dieter et al**  
**Lorenz Seidler Gossel**  
**Rechtsanwälte Patentanwälte**  
**Partnerschaft mbB**  
**Widenmayerstraße 23**  
**80538 München (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**19.11.2008 Patentblatt 2008/47**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2006/024701 DE-A1- 10 029 579**  
**FR-A1- 2 445 291 US-A- 5 730 305**

(60) Teilanmeldung:  
**12004726.1 / 2 502 871**

#### Bemerkungen:

Die Akte enthält technische Angaben, die nach dem Eingang der Anmeldung eingereicht wurden und die nicht in dieser Patentschrift enthalten sind.

(73) Patentinhaber: **Liebherr-Werk Nenzing GmbH**  
**6710 Nenzing (AT)**

(72) Erfinder:  
• **Schneider, Klaus, Dr.Dipl.-Ing.**  
**88145 Hergatz (DE)**

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Kran gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein solcher Kran wird z.B. durch FR 2445291 offenbart. Insbesondere handelt es sich bei dem Kran um einen Auslegerkran, welcher einen um eine horizontale Achse schwenkbaren Ausleger aufweist, der an einem um eine vertikale Achse drehbaren Turm angelenkt ist. Hierzu sind als Stellwerke ein Wippwerk und ein Drehwerk vorgesehen. Das Seil zum Heben der Last läuft dabei über die Spitze des Auslegers, insbesondere über eine oder mehrere dort angeordnete Umlenkrollen, so dass die Last durch ein Drehen des Turms in tangentialer Richtung und durch ein Aufwippen des Auslegers in radialer Richtung bewegt werden kann. Bei der Ausführung der Erfindung mit mindestens einem ersten und einem zweiten Seilstrang verlaufen beide Seilstränge von der Spitze des Auslegers zu einem Aufnahmeelement wie z.B. einem Hacken. Die Länge des Seils ist dabei durch einen entsprechenden Antrieb einstellbar, um die Last in vertikaler Richtung zu bewegen. Insbesondere betrifft die erfindungsgemäße Kransteuerung dabei allgemein Drehkrane, sowie Hafenmobilkranen, Schiffskrane, Off-Shore-Krane, Autokrane und Raupenkrane.

**[0002]** Aus DE100 64 182 und DE 103 24 692, deren gesamter Inhalt einen Teil der vorliegenden Anmeldung darstellt, sind dabei Kransteuerungen bekannt, deren Steuer- und Automatisierungskonzepte die Pendelbewegung der Last am Seil bei einer Bewegung des Krans verhindern.

**[0003]** Aus DE 100 29 579 und DE 10 2006 033 277, deren Inhalt ebenfalls einen Teil der folgenden Anmeldung bildet, sind weiterhin Kransteuerungen bekannt, welche eine Drehschwingung der Last am Seil verhindern.

**[0004]** Bei den oben genannten Kransteuerungen werden dabei zur Bestimmung der Lastschwingung Gyroskopeneinheiten eingesetzt, welche im Kranhaken angeordnet sind und die Winkelgeschwindigkeit des Seils bestimmen. Der Seilwinkel wird dabei über eine Beobachterschaltung, welche die Bewegung des Seils aufintegriert, bestimmt. Um den dabei entstehenden Offset ausgleichen zu können, wird von einem frei schwingenden Pendel ausgegangen, dessen Ruhestellung einem lotrechten Seilwinkel entspricht. Ein solches Vorgehen ist zwar für die Seilpendeldämpfung gut geeignet, da hierzu vor allem die Bewegungen des Seils bei freiem Schwingen der Last am Seil überwacht werden müssen. Eine Bestimmung der absoluten Ausrichtung des Seils, insbesondere bevor die Last frei schwingen kann, ist bei den bekannten Kransteuerungen jedoch weder vorgesehen noch möglich. Weiterhin hatten bekannte Sensoranordnungen und Kransteuerungen den Nachteil, dass Störeinflüsse wie die Seilfeldverdrehung bei der Lastpendeldämpfung zur Dämpfung der sphärischen Pendelschwingungen der Last unberücksichtigt blieben.

**[0005]** Bekannte Systeme, wie sie z. B. bei Kränen mit einer lediglich in horizontaler Richtung bewegbaren Laufkatze zum Einsatz kommen und welche Meßkamerasyteme einsetzen, um den absoluten Seilwinkel zu bestimmen, sind aber insbesondere bei Auslegerkränen nicht einsetzbar. Meßkamerasyteme müssen immer direkt hinter dem Seifixpunkt angeordnet seien, um den Seilwinkel bestimmen zu können. Bei Auslegerkränen, bei welchen das Seil beweglich über eine am Auslegerkopf angeordnete Umlenkrolle geführt ist, ist jedoch kein Seifixpunkt gegeben, da sich der Seilaustrittspunkt mit dem Seilwinkel ebenfalls ändert. Meßwertgeber, welche den Seilwinkel relativ zum Ausleger mechanisch bestimmen, sind zur Messung des absoluten Seilwinkels ebenso wenig geeignet, da diese erstens ungenau arbeiten und außerdem bei einer Verformung des Krans zu falschen Ergebnissen führen. Außerdem bestimmen all diese Systeme immer nur den Seilwinkel relativ zum Ausleger, und wären damit nur indirekt zur Bestimmung des absoluten Seilwinkels geeignet, so dass auf solche Lösungen bisher ganz verzichtet wurde.

**[0006]** Der Kranführer muss deshalb vor dem Hub bzw. zu Beginn des Hubes den Kran weiterhin per Hand und auf Sicht so ausrichten, dass das Seil im wesentlichen lotrecht ausgerichtet ist. Gerade bei der großen Entfernung von der Last ist dies aber oftmals nur äußerst schwierig möglich, so dass sich Abweichungen des Seilwinkels von der Lotrechten ergeben, welche bei einem Anheben der Last zu ungewünschten Schwingungen führen. Die gleiche Problematik ergibt sich, wenn durch ein Ungleichgewicht der Last das Seil zwar vor dem Hub lotrecht ausgerichtet ist, der Seilwinkel beim Anheben der Last aber durch die Bewegung des Schwerpunkts der Last unter den Lastaufnahmepunkt verändert wird. Auch das Nachgeben der Kranstruktur unter der Belastung beim Anheben der Last kann den Seilwinkel ungewollt verändern. Bei Off-Shore-Kränen entsteht zusätzlich das Problem, dass durch eine Relativbewegung eines die Last tragenden Schiffs zum Off-Shore-Kran der Seilwinkel verändert werden kann.

**[0007]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Kransteuerung zur Verfügung zu stellen, durch welche eine leichtere und sichere Ausrichtung des Krans insbesondere vor und während des Anhebens der Last ermöglicht. Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Dämpfung der sphärischen Pendelschwingungen der Last zu ermöglichen.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe von einer Kransteuerung gemäß Anspruch 1 gelöst. Diese weist erfindungsgemäß eine Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung auf. Durch diese Sensoreinheit kann der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung direkt bestimmt werden, so dass die lotrechte Ausrichtung des Seils erheblich vereinfacht wird. Hierdurch wird zudem die Sicherheit beim Hub erhöht.

**[0009]** Die Sensoreinheit weisen dabei üblicherweise ein Element auf, welches sich unter Einfluss der Gravitationskraft ausrichtet und durch welches der Winkel des Seils relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt werden kann. Insbesondere kann dabei jede Art von elektrischer Libelle zum Einsatz kommen. In der einfachsten Ausführung kann die

Sensoreinheit dabei lediglich bestimmen, ob das Seil lotrecht ausgerichtet ist oder nicht. In aufwendigeren Ausführungen kann zudem die Richtung der Abweichung von der Lotrechten und in weiteren Ausführungen den Wert der Abweichung von der Lotrechten bestimmt werden.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird durch die Sensoreinheit der Seilwinkel in mindestens einer Richtung relativ zur Gravitationsrichtung bestimmt, z.B. in radialer oder in tangentialer Richtung, um eine Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten in diese Richtung bestimmen und gegebenenfalls ausgleichen zu können. Vorteilhafterweise wird der Seilwinkel dabei sowohl in tangentialer als auch in radialer Richtung bestimmt, da nur so eine tatsächlich lotrechte Ausrichtung des Seils möglich ist. Hierfür weist die Sensoreinheit vorteilhafterweise mindestens zwei Sensoren auf, welche jeweils der Bestimmung des radialen bzw. des tangentialem Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung dienen.

**[0011]** Durch eine solche Sensoreinheit wird eine genaue Ausrichtung des Kranes beim Anheben der Last möglich, so dass das Seil lotrecht ausgerichtet ist. Ebenso lässt sich die Sensoreinheit für Überwachungs- und Sicherungsfunktionen einsetzen.

**[0012]** Weiterhin vorteilhafterweise ist neben der Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung weiterhin mindestens eine Gyroskopeinheit zur Messung einer Seilwinkelgeschwindigkeit vorgesehen. Insbesondere kann diese Gyroskopeinheit weiterhin zur Schwingungsdämpfung bei frei schwingender Last eingesetzt werden, wozu die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung üblicherweise nicht ausreichend genaue Daten liefern kann. Die Ausrichtung des Krans kann dann zunächst auf Grundlage der Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung erfolgen, bis die Last frei am Seil hängt. Daraufhin kann die automatische Seilpendeldämpfung, welche auf Grundlage der Gyroskopeinheit arbeitet, zugeschaltet werden.

**[0013]** Die Gyroskopeinheit misst die Seilwinkelgeschwindigkeit dabei in mindestens einer Richtung, z.B. in radialer oder in tangentialer Richtung. Vorteilhafterweise werden aber sowohl die tangentiale als auch die radiale Seilwinkelgeschwindigkeit bestimmt, wofür die Gyroskopeinheit vorteilhafterweise mindestens zwei entsprechend angeordnete Gyroskope aufweist.

**[0014]** Weist der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last auf, umfasst die Kransteuerung vorteilhafterweise mindestens zwei Sensoreinheiten zur Bestimmung der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind. Hierdurch kann eine Seifeldverdrehung, welche einer Rotation der Last entspricht, berücksichtigt werden. Würde hier bei mehreren Seilsträngen lediglich eine Sensoreinheit eingesetzt, würde eine Seifeldverdrehung dagegen zu verfälschten Meßwerten führen.

**[0015]** Insbesondere kann durch die mindestens zwei Sensoreinheiten die Seifeldverdrehung, und damit die Verdrehung der Last, bestimmt werden. Dies ermöglicht es, vor Beginn des Hubs auch die Seifeldverdrehung z. B. durch eine Drehung des Lastaufnahmemittels relativ zur Last auszugleichen.

**[0016]** Weist der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last auf, sind weiterhin vorteilhafterweise mindestens auch zwei Gyroskopeinheiten zur Messung der Seilwinkelgeschwindigkeiten vorgesehen, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind. So kann die Seifeldverdrehung z. B. auch bei der Schwingungsdämpfungssteuerung berücksichtigt werden.

**[0017]** Weiterhin vorteilhafterweise kann dabei die Gyroskopeinheit an einem Seifolgeelement angeordnet werden, welches insbesondere über eine kardanische Verbindung mit einem Ausleger des Krans verbunden ist und welches am Seil geführt wird. Das Seifolgeelement ist dabei bevorzugt durch die kardanische Verbindung mit dem Auslegerkopf des Krans verbunden und folgt den Bewegungen des Seils, an dem es durch Rollen geführt ist. Durch Messen der Bewegung des Seifolgeelementes können so die Bewegungen des Seils ermittelt werden.

**[0018]** Weist der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last auf, sind weiterhin vorteilhafterweise mindestens zwei Seifolgeelemente vorgesehen, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind. Da der Haken des Krans meist an mehreren Seilsträngen hängt, können so auch Seifeldverdrehungen berücksichtigt werden.

**[0019]** Weiterhin vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße Kransteuerung eine Anzeigeeinheit zur Anzeige einer sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebenden Abweichung auf, insbesondere zur Anzeige eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung und/oder einer daraus resultierenden horizontalen Abweichung der Last. Durch diese Anzeige wird dem Kranführer das Ausrichten des Seils in lotrechter Position erheblich erleichtert.

**[0020]** Vorteilhafterweise zeigt die Anzeige dabei eine lotrechte Seilstellung optisch und/oder akustisch an. Hierdurch ist es dem Kranführer möglich, das Seil entsprechend auszurichten.

**[0021]** Weiterhin vorteilhafterweise zeigt die Anzeige weiterhin die Richtung an, in welcher das Seil von der Lotrechten abweicht. Weiterhin vorteilhafterweise zeigt die Anzeige zudem den Absolutwert der Abweichung an. Denkbar ist hier z. B. eine graphische Anzeige, in welcher der Winkel des Seils relativ zur Gravitationskraftrichtung sowie weiterhin vorteilhafterweise die maximal zulässigen Seilwinkel angezeigt werden. Alternativ oder zusätzlich kann auch die horizontale Abweichung der Last von der Position, an welcher sich die Last bei lotrechter Seilstellung befinden würde, angezeigt werden, vorteilhafterweise zusammen mit der maximal zulässigen horizontalen Abweichung. So kann der Kranführer mit ihm gut vertrauten Abstandsangaben arbeiten und den Kran leichter ausrichten.

**[0022]** Weiterhin vorteilhafterweise ist eine Warneinrichtung vorgesehen, welche den Kranführer bei Überschreiten

eines zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung und/oder für die horizontale Abweichung der Last warnt, insbesondere durch ein optisches und/oder akustisches Signal. So kann der Kranführer bei einem solchen Überschreiten des zulässigen Wertebereichs reagieren und Schäden von der Kranstruktur bzw. Unfälle vermeiden. Z. B. kann der Kranführer

5 bei einem Überschreiten des zulässigen Winkelbereichs die Bewegung des Krans stoppen, oder, wenn es sich um einen Off-Shore-Kran handelt, bei welchem die z. B. auf einem Schiff befindliche Last durch eine Relativbewegung des Schiffes relativ zum Kran vom Off-Shore-Kran weg bewegt wird, durch ein teilweises Freigeben des Seils oder der Drehwerke des Krans eine Überlast vermeiden.

10 [0023] Erfindungsgemäß ist eine Überlastsicherung vorgesehen, welche bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung, und/oder für die horizontale Abweichung der Last automatisch in die Steuerung des Kranes eingreift, um eine Überlast des Kranes zu verhindern. Insbesondere kann so der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung in die automatische Lastmomentbegrenzung des Kranes einbezogen werden. Dies erhöht die Sicherheit des Betriebs beträchtlich, da bekannte Lastmomentbegrenzungen diesen Parameter nicht berücksichtigen konnten 15 und die durch eine übermäßige Schrägstellung des Seils auftretenden Belastungen allein über die sonstigen Meßwertgeber berücksichtigt werden müssten.

15 [0024] Erfindungsgemäß gibt die Überlastsicherung die Bewegung des Kranes und/oder des Seils zumindest teilweise frei, insbesondere wenn es sich um einen Off-Shore Kran handelt. Die Freigabe erfolgt hierbei vorteilhafterweise kontrolliert mit einer gewissen Gegenkraft. Verhakt sich z. B. der Haken des Kranes an einem Schiff, welches von dem Off-Shore-Kran weggetrieben wird, kann so z. B. das Seil oder die Drehbewegung des Kranes kontrolliert freigegeben werden, um eine Überlastung des Kranes zu verhindern. Die Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ 20 zur Gravitationskraftrichtung ergibt hier eine sehr zuverlässige Überlastsicherung, während bekannte Überlastsicherungen hier allein auf einen Seilkraftsensor angewiesen waren, durch welchen ein Überlastfall aber nur schwer von einem Lastfall unterschieden werden kann.

25 [0025] Weiterhin vorteilhafterweise wertet die erfindungsgemäße Kranssteuerung, insbesondere die Warneinrichtung und/oder die Überlastsicherung, jedoch zusätzlich Daten eines Seilkraftsensors aus. Hierdurch können die Daten von der Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung überprüft werden, so dass insbesondere bei einem automatischen Eingreifen der Kranssteuerung in die Bewegung des Kranes eine zusätzliche Sicherheit durch eine Redundanz gegeben ist.

30 [0026] Weist der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last auf, wird vorteilhafterweise deren Seifeldverdrehung bestimmt. Da bei einer reinen Verdrehung der Last die äußeren Seile jeweils in entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt sind, ohne dass die Last aus der Lotrechten ausgelenkt wäre, wird diese Seifeldverdrehung vorteilhafterweise bei der Bestimmung des tatsächlichen Seilwinkels berücksichtigt. Der Seilwinkel, welcher bei der Anzeige, der Warneinrichtung und/oder der Überlastsicherung zum Einsatz kommt, entspricht hierdurch der tatsächlichen Auslenkung der 35 Last relativ zur Gravitationskraftrichtung, so dass ein Pendeln der Last effektiv verhindert werden kann und eventuelle Seifeldverdrehungen nicht zu falschen Werten führen.

35 [0027] Vorteilhafterweise umfasst die erfindungsgemäße Kranssteuerung dabei eine Anzeigeeinheit zur Anzeige der Seifeldverdrehung. So kann die Seifeldverdrehung selbst ebenfalls auf der Anzeige angezeigt werden, so dass sie durch Ansteuerung einer entsprechenden Rotoreinheit an der Lastaufnahmeverrichtung ausgeglichen werden kann. 40 Ebenso kann die Seifeldverdrehung vorteilhafterweise in die Ansteuerung der Warneinrichtung sowie der Überlastsicherung eingehen.

45 [0028] In der erfindungsgemäßen Kranssteuerung ist daher vorteilhafterweise eine Warneinrichtung vorgesehen, welche den Kranführer bei Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seifeldverdrehung warnt, insbesondere durch ein optisches und/oder akustisches Signal. So wird der Kranführer vor einem Drehpendeln der Last beim Anheben mit einem verdrehten Seifeld gewarnt.

50 [0029] In der erfindungsgemäßen Kranssteuerung ist ebenso vorteilhafterweise eine Sicherungseinrichtung, insbesondere eine Verdrehungssicherung, vorgesehen, welche bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seifeldverdrehung automatisch in die Steuerung des Kranes eingreift. Zum Beispiel kann dabei ein Anheben der Last bei zu starker Verdrehung des Seifeldes automatisch verhindert werden.

55 [0030] Weiterhin vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße Kranssteuerung eine automatische Lastpendeldämpfung auf. Insbesondere kann hierdurch die Bewegung des Kranes so angesteuert werden, dass bei einer Bewegung des Krans ein Pendeln der frei schwingenden Last verhindert wird. Die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung kann dabei zu Beginn des Hubes zur lotrechten Ausrichtung des Seiles verwendet werden, während die Lastpendeldämpfung dann einsetzt, wenn die Last frei am Seil hängt. So kann durch die richtige Ausrichtung des Seils ein Pendeln der Last beim Anheben verhindert werden, durch die Lastpendeldämpfung ein Pendeln der Last bei deren Bewegung in horizontaler Richtung.

[0031] Vorteilhafterweise beruht die Lastpendeldämpfung dabei auf den Daten mindestens einer Gyroskopeneinheit. Da mit einem Gyroskop die Seilwinkelgeschwindigkeit bestimmt werden kann, eignet es sich besonders gut zur Verwendung

in einer Lastpendeldämpfung.

[0032] Vorteilhafterweise wird dabei die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung zur Überwachung und/oder Kalibrierung der Gyroskopeinheit verwendet. Insbesondere wenn der Hub bei schräger Seilstellung und abgestützter Last begonnen wird, würde die Lastpendeldämpfung, welche üblicherweise von einer freischwingenden Last ausgeht, sonst mit falschen Werten starten. Auch können die Sensoreinheiten bzw. Gyroskopeinheiten zur jeweils wechselseitigen Überwachung eingesetzt werden, um Fehlfunktionen zu detektieren.

[0033] Vorteilhafterweise ist weiterhin eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen, durch welche das Seil lotrecht über der Last ausgerichtet wird. Der Kranführer muss damit den Kran nicht mehr manuell z. B. anhand der Anzeige ausrichten, sondern dies geschieht automatisch bei einer entsprechenden Anforderung des Kranfahrers über eine Bedieneinheit. Vorteilhafterweise ist hierbei eine Sicherheitsfunktion vorgesehen, welche z. B. mit einem Seilkraftsensor zusammenwirkt, um bei einer Fehlfunktion der Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung eine unkontrollierte Bewegung des Kranes zu verhindern.

[0034] Weiterhin vorteilhaft ist auch eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen, durch welche eine Seilfeldverdrehung ausgeglichen wird. Diese steuert vorteilhaft eine Rotoreinheit an der Lastaufnahmeverrichtung, z.B. am Spreader, an, durch welche der mit den Seilen verbundene Teil der Lastaufnahmeverrichtung relativ zur Last verdreht werden kann.

[0035] Weiterhin vorteilhaft ist die erfindungsgemäße Kransteuerung einen Speicher zur Speicherung von Lastdaten auf Grundlage des Seilwinkels auf, welche der Lebensdauerberechnung und/oder der Dokumentation z. B. von unsachgemäßer Verwendung dienen. Eine solche Maschinendatenerfassung der Seilstellung zur Lastkollektiv-Ermittlung und zur Dokumentation ermöglicht so eine genauere Lebensdauerberechnung und damit eine erhöhte Sicherheit bei eingesparten Kosten.

[0036] Die vorliegende Beschreibung offenbart weiterhin ein Verfahren zur Ansteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist. Das Verfahren ist dabei erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass ein Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt wird. Durch eine solche Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung ergeben sich die bereits bezüglich der Kransteuerung näher beschriebenen Vorteile. Vorteilhaft ist dabei die radialen und/oder tangentialen Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt.

[0037] Insbesondere wird hierdurch die Ausrichtung des Kranes vor und beim Anheben der Last erheblich vereinfacht. Vorteilhaft ist dabei neben einem Seilwinkel, welcher der tatsächlichen Auslenkung der Last gegen die Lotrechte entspricht, zusätzlich die Seilfeldverdrehung bestimmt, wenn mehrere Seilstränge zum Heben der Last verwendet werden. Hierzu werden die Seilwinkel mindestens zweier Seilstränge relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt. Aus diesen Daten kann dann sowohl der Seilwinkel, welcher der Auslenkung der Last, als auch die Seilfeldverdrehung, welche der Verdrehung der Last entspricht, bestimmt werden.

[0038] Vorteilhaft ist dabei vor dem Anheben der Last das Seil in eine lotrechte Ausrichtung gebracht. Hierdurch kann verhindert werden, dass durch eine Schrägstellung des Seiles beim Anheben der Last diese seitlich verrutscht, durch ungleiches Aufliegen auf der Unterlage unkontrolliert verdreht oder bereits beim Anheben eine Pendelbewegung durchgeführt. Die lotrechte Ausrichtung der Last kann dabei z. B. durch den Kranführer anhand der erfindungsgemäßen Anzeige des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung erfolgen. Ebenso ist es denkbar, dass diese Ausrichtung wie bereits beschrieben automatisch durch die Kransteuerung erfolgt.

[0039] Weiterhin vorteilhaft ist vor dem Anheben der Last die Seilfeldverdrehung auf Null gebracht, um eine Rotation der Last beim Anheben zu vermeiden. Dies erfolgt z. B. durch entsprechendes Rotieren der Last am Lastaufnahmemittel mittels einer Rotoranordnung.

[0040] Auch während des Hubvorgangs können sich durch unterschiedliche Effekte Abweichungen des Seilwinkels von der Lotrechten ergeben. Vorteilhaft ist deshalb auch während dem Anheben der Last eine Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten ausgeglichen. Vorteilhaft ist hierzu während des Anhebens der Last der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt, so dass eventuell auftretende Abweichungen während dem Hubvorgang ausgeglichen werden können.

[0041] Vorteilhaft ist dabei beim Anheben der Last durch das Bestimmen der auftretenden Abweichung eines Seilwinkels von der Lotrechten ein Ungleichgewicht der Last bestimmt. Weist die Last ein Ungleichgewicht auf, d.h. befindet sich der Schwerpunkt der Last nicht unter dem Lastaufnahmepunkt, bewegt sich der Lastaufnahmepunkt beim Anheben der Last zunächst über dem Schwerpunkt, so dass sich der Seilwinkel verändert. Durch diese Veränderung des Seilwinkels kann das Ungleichgewicht der Last bestimmt und gegebenenfalls ausgeglichen werden. Ein solches Ungleichgewicht der Last kann dabei ebenfalls zur Anzeige gebracht werden, so dass es vom Kranführer ausgeglichen werden kann. Ebenso ist es denkbar, ein solches Ungleichgewicht automatisch auszugleichen.

[0042] Vorteilhaft ist dabei auf Grundlage der Abweichung eines Seilwinkels von der Lotrechten durch eine Bewegung der Last am Lastaufnahmemittel, insbesondere am Spreader, ausgeglichen wird. Der Spreader dient dabei der Aufnahme von Containern und weist eine Längsverstellung auf, durch welche der Lastaufnahmepunkt relativ zum Container eingestellt werden kann. Der Kranführer kann nun z. B. auf Grundlage der

Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten, welche bei einem Anheben der Last durch das Ungleichgewicht entsteht und über die erfindungsgemäße Anzeige angezeigt wird, den Lastaufnahmepunkt am Lastaufnahmemittel bewegen und so das Ungleichgewicht ausgleichen. Wird zudem das Ungleichgewicht der Last bestimmt und angezeigt, erleichtert dies die Arbeit des Kranführers. Ebenso ist denkbar, dass ein automatischer Ausgleich des Ungleichgewichts erfolgt.

5 [0043] Ein solcher Ausgleich des Ungleichgewichts der Last, durch welchen der Schwerpunkt der Last bei unveränderter Ausrichtung der Last unter den Lastaufnahmepunkt gebracht wird, ermöglicht so ein Bewegen der Container innerhalb der Führungen im Schiff, ohne dass diese durch eine Verkippung verkanten.

10 [0044] Alternativ kann, wenn ein solcher Ausgleich des Ungleichgewichts der Last nicht möglich ist, oder wenn eine Verkantung der Last unproblematisch ist, die beim Anheben der Last durch das Ungleichgewicht der Last bedingte Schrägstellung des Seils auch durch eine Bewegung des Krans ausgeglichen werden. Auch dies kann entweder manuell über den Kranführer z. B. anhand einer Anzeige erfolgen oder automatisch.

15 [0045] Durch die Belastung der Kranstruktur beim Anheben der Last kann sich diese verformen, so dass sich der Seilwinkel verändert, auch ohne dass sich die Last bewegen würde. Vorteilhafterweise wird deshalb erfindungsgemäß beim Anheben der Last durch Bestimmen einer Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten das Nachgeben der Kranstruktur unter der Belastung bestimmt und/oder die durch das Nachgeben der Kranstruktur bedingte Schrägstellung des Seils durch eine Bewegung des Krans ausgeglichen. Hierbei kann das Bestimmen der Abweichung bzw. das Ausgleichen dieser Abweichung wiederum über den Kranführer z. B. anhand einer Anzeige erfolgen, oder automatisch.

20 [0046] Weiterhin vorteilhafterweise wird bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung und/oder für die horizontale Abweichung der Last, die Kranstruktur durch Gegenmaßnahmen geschützt. Insbesondere kann hierbei die Bewegung des Krans gestoppt werden, um eine Überlast zu vermeiden.

25 [0047] Insbesondere bei der Ansteuerung eines Off-Shore-Kranks umfassen die Gegenmaßnahmen dagegen vorteilhafterweise ein zumindest teilweises Freigeben der Kranbewegungen und/oder des Seils, um z. B. bei einem Verhaken des Lastaufnahmemittels mit einem Schiff, welches sich vom Off-Shore-Kran weg bewegt, eine Überlastung des Krans zu verhindern.

30 [0048] Die Gegenmaßnahmen können dabei entweder vom Kranfahrer eingeleitet werden, welcher hierzu vorteilhafterweise durch eine Warnfunktion gewarnt wird, oder aber automatisch durch eine entsprechende automatische Überlastsicherung.

35 [0049] Die vorliegende Beschreibung offenbart weiterhin eine Kransteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist, zur Durchführung eines der oben beschriebenen Verfahren. Insbesondere ist die Kransteuerung dabei vorteilhafterweise so ausgelegt, dass die oben beschriebenen Verfahren zumindest teilweise automatisch durchgeführt werden.

40 [0050] Weiterhin vorteilhafterweise umfasst die vorliegende Erfindung einen Kran, insbesondere einen Hafenmobilkran, einen Schiffskran oder einen Off-Shore-Kran, welcher ein Seil zum Heben einer Last aufweist und mit einer Kransteuerung, wie sie oben beschrieben wurde, ausgerüstet ist. Ebenso umfasst die Erfindung entsprechende Ausleger- und/oder Drehkrane, sowie Autokrane und Raupenkrane. Offensichtlich ergeben sich für einen solchen Kran die gleichen, bereits bei der Kransteuerung beschriebenen Vorteile.

45 [0051] Neben der bisher beschriebenen Ausführung der vorliegenden Erfindung mit einer Sensorenheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung offenbart die vorliegende Beschreibung weiterhin eine Kransteuerung, welche auch ohne eine solche Sensorenheit bei Kranen, welche mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben der Last aufweisen, vorteilhaft zum Einsatz kommen kann. Eine solche Kransteuerung ist kein Teil der vorliegenden Erfindung.

50 [0052] Eine solche Kransteuerung ist dabei in Anspruch 37 gezeigt. Die erfindungsgemäße Kransteuerung dient dabei zur Ansteuerung der Stellwerke eines Kranes, welcher mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben einer Last aufweist, wobei die Kransteuerung eine Lastpendeldämpfung zur Dämpfung von sphärischen Pendelschwingungen der Last aufweist. In dieser Kransteuerung sind nun eine erste und eine zweite Sensorenheit vorgesehen, welche dem ersten und dem zweiten Seilstrang zugeordnet sind, um die jeweiligen Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten des ersten und des zweiten Seilstrangs zu bestimmen. Weiterhin weist die Lastpendeldämpfung eine Regelung auf, in welche die von der ersten und der zweiten Sensorenheit bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten eingehen.

55 [0053] Im Vergleich zu bekannten Anordnungen, bei welchen eine Sensorenheit am Haken des Kranes oder nur an einem Seil angebracht ist, ergeben sich hierdurch zahlreiche Vorteile: einerseits ergibt sich eine Redundanz dieses sicherheitskritischen Elementes, so dass bei einem Ausfall einer Sensorenheit weiterhin eine Messung des Seilwinkels über die zweite Sensorenheit möglich bleibt. Ebenso ergibt sich die Möglichkeit, Sensorfehler zu erkennen. Weiterhin ist es möglich, durch Differenzbildung der Meßwerte eine Rauschreduzierung zu erreichen, sowie durch Auswertealgorithmen eine Torsionskompensation, das heißt die Berücksichtigung einer Seilfeldverdrehung bei der Bestimmung des tatsächlichen Auslenkwinkels der Last, zu implementieren.

[0054] Die von der Kransteuerung angesteuerten Stellwerke sind dabei vorteilhafterweise das Drehwerk zum Drehen

des Kranes und/oder das Wippwerk zum Aufwippen des Auslegers. Durch die entsprechende Regelung dieser Ansteuerung über die Lastpendeldämpfung können so sphärische Schwingungen der Last am Seil verhindert werden.

**[0055]** Vorteilhafterweise umfasst die erste und die zweite Sensoreinheit dabei jeweils eine Gyroskopeinheit. Die Gyroskope messen dabei die Seilwinkelgeschwindigkeit, wobei vorteilhafterweise zwei Gyroskope vorgesehen sind, um die Seilwinkelgeschwindigkeit sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung zu messen. Gyroskope sind dabei für die Anforderungen der Regelung der Lastpendeldämpfung besonders gut geeignet.

**[0056]** Weiterhin vorteilhaftenweise sind die erste und die zweite Sensoreinheit dabei jeweils in einem Seilfolgeelement angeordnet. Das Seilfolgeelement folgt dabei der Bewegung desjenigen Seilstrangs, welchem es zugeordnet ist. Die Sensoreinheit misst dann wiederum die Bewegung des Seilfolgeelementes, aus welcher die Bewegung des Seilstrangs bestimmt werden kann. Durch die Seilfolgeelemente ergibt sich eine besonders genaue und zuverlässige Seilwinkelmessung.

**[0057]** Vorteilhafterweise sind die Seilfolgeelemente dabei jeweils über ein kardanisches Gelenk mit dem Ausleger des Kranes verbunden und folgen der Bewegung des Seilstranges, welchem sie zugeordnet sind. Die Verbindung der Seilfolgeelemente über ein kardanisches Gelenk dient dabei jedoch vorteilhafterweise lediglich der mechanischen Verbindung sowie der Führung des Seilfolgeelementes, während die Sensoreinheiten die Bewegung der Seilfolgeelemente über die Gyroskopeinheiten bestimmen.

**[0058]** Vorteilhafterweise werden die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten von einer ersten und einer zweiten Beobachterschaltung ausgewertet. Solche Beobachterschaltungen werden dabei eingesetzt, um Offsets und Störeinflüsse, wie z. B. Seiloberschwingungen, zu unterdrücken. Die Beobachterschaltungen dienen dabei der Integration der von den Gyroskopen gemessenen Seilwinkelgeschwindigkeiten und ermöglichen eine zuverlässige Bestimmung der Seilwinkel.

**[0059]** Weiterhin vorteilhafterweise erfolgt eine Kompensation der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten bezüglich des Einbauwinkels der Sensoreinheiten und des Drehwinkels des Kranes. Hierdurch können Störeinflüsse, welche durch eine falsche Montage hervorgerufen werden, softwaretechnisch kompensiert werden. Beide finden sich die Empfindlichkeitsebenen der verwendeten Gyroskope nicht exakt in tangentialer und radialer Richtung, sondern sind durch falsche Montage verkippt, messen die Sensoren die Drehgeschwindigkeit des Kranes anteilig mit. Dies wird durch die Kompensation berücksichtigt.

**[0060]** Weiterhin vorteilhafterweise werden bei der Kransteuerung durch einen Vergleich der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten Sensorfehler erkannt. Fällt eine der Sensoreinheiten aus, wird die Winkelgeschwindigkeit immer noch von der anderen Sensoreinheit erfaßt. Damit kann die Grundfunktion der Kransteuerung weiterhin sichergestellt werden. Durch Differenzbildung der Winkelsignale beider Sensoreinheiten in die jeweiligen Richtungen lässt sich weiterhin bei Überschreiten eines Schwellwertes ein Sensorfehler detektieren. Dabei kann der Kran bei Auftreten eines Sensorfehlers sofort in einen sicheren Zustand gebracht werden.

**[0061]** Weiterhin vorteilhafterweise werden in der Lastpendeldämpfung durch eine Mittelwertbildung aus den von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkeln und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten die Torsionsschwingung des Seifeldes berücksichtigt. Eine solche Seifeldverdrehung würde bei Verwendung nur einer Sensoreinheit die zur Dämpfung der sphärischen Pendelschwingung der Last verwendete Regelung beeinflussen. Tritt nun bei der Kransteuerung eine Torsionsschwingung des Seifeldes auf, messen die Sensoreinheiten auf den beiden Seilfolgeelementen exakt eine entgegengesetzte Störschwingung sowohl in tangentialer als auch in radialer Richtung. Durch die Mittelwertbildung kann der Einfluss dieser Torsionsschwingung jedoch eliminiert werden.

**[0062]** Weiterhin vorteilhafterweise ist die Regelung der Kransteuerung nicht-linear. Eine solche nicht-lineare Regelung ist von besonderem Vorteil, da insbesondere bei Auslegerkranen das Gesamtsystem aus Kran, Stellwerken wie z. B. Hydrozylinern und Last nicht-linear ist und somit bei einer rein linearen Regelung erhebliche Fehler auftreten. Die gesamte Regelungsstrecke aus nicht-linearer Regelung und dem nicht-linearen Verhalten des Kranes ergibt dagegen wiederum eine lineare Strecke, so dass die Ansteuerung des Systems erheblich vereinfacht wird.

**[0063]** Weiterhin vorteilhafterweise beruht die Regelung dabei auf der Inversion eines physikalischen Modells der Bewegung der Last in Abhängigkeit von den Bewegungen der Stellwerke. Vorteilhafterweise handelt es sich bei diesem physikalischen Modell dabei um ein nicht-lineares Modell, so dass sich aus seiner Inversion die nicht-lineare Regelung ergibt. Die Kombination aus dem invertierten physikalischen Modell und der tatsächlichen Bewegung der Last in Abhängigkeit von den Bewegungen der Stellwerke ergibt dann wieder die oben beschriebene lineare Strecke. Eingangsgrößen des physikalischen Modells sind dabei der Zustandsvektor des Kranes. Auf Grundlage dieser Eingangsgrößen gibt das nicht-lineare Modell dann die Bewegung der Last als Ausgangsgröße an. Durch die Invertierung eines solchen Systems dient die Bewegung der Last als eine Eingangsgröße, um die Stellwerke des Kranes anzusteuern.

**[0064]** Weiterhin vorteilhafterweise weist die Lastpendeldämpfung dabei ein Bahnplanungsmodul auf, welches der Regelung Soll-Trajektorien vorgibt. Diese Soll-Trajektorien geben die Bewegungen vor, welche die Last vollführen soll, und dienen dann insbesondere bei der Verwendung eines invertierten Modells als Eingangsgrößen der Regelung. Durch die nicht-lineare Regelung ergibt sich dabei eine besonders einfache Umsetzung des Bahnplanungsmoduls, da dieses lediglich Soll-Trajektorien für das lineare System aus nicht linearer Regelung und nicht linearem Kranverhalten

vorgeben muss. Hierdurch lässt sich eine extrem schnelle Kransteuerung mit einem hervorragendem Ansprechverhalten gegenüber den von dem Kranführer mittels Eingabeelementen eingegebenen Vorgaben erreichen.

**[0065]** Vorteilhafterweise geht dabei der aktuelle Systemzustand des Krans, insbesondere die Position des Auslegers und/oder die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten als Eingangsgröße in den Bahnplanungsmodul ein. Insbesondere ist die Position des Auslegers hierbei von Bedeutung, da z. B. die maximal zu erreichende Radialgeschwindigkeit von dieser abhängt. Vorteilhafterweise gehen zudem die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten aus Eingangsgrößen in den Bahnplanungsmodul ein. Dieser zusätzliche Regelkreis ermöglicht somit eine nochmals genauere Bahnplanung unter Berücksichtigung des tatsächlichen Seilwinkels und/oder der tatsächlichen Seilwinkelgeschwindigkeit.

**[0066]** Weiterhin vorteilhafterweise werden bei dem Bahnplanungsmodul Beschränkungen des Systems bei der Erzeugung der Soll-Trajektorien berücksichtigt. Hierdurch wird verhindert, dass die aus den Vorgaben des Kranführers berechneten Führungsgrößen die Stellgrößenbeschränkungen des Systems wie z. B. die maximale Geschwindigkeit verletzen. Insbesondere wenn auch der aktuelle Systemzustand des Krans als Eingangsgröße in den Bahnplanungsmodul eingeht, können so auch Beschränkungen des Systems berücksichtigt werden, welche von diesem Systemzustand abhängen. Beispielsweise hängt dabei die maximal mögliche radiale Geschwindigkeit von der Position des Auslegers ab.

**[0067]** Weiterhin vorteilhafterweise beruht die Trajektoriengenerierung dabei auf einer Optimalsteuerung. Eine solche Optimalsteuerung lässt sich besonders gut in Echtzeit umsetzen, da die nicht-lineare Regelung eine besonders einfache Umsetzung des Bahnplanungsmoduls erlaubt.

**[0068]** Weiterhin vorteilhafterweise arbeitet das Bahnplanungsmodul bei der Prädiktion innerhalb des Zeithorizonts mit einer ansteigenden Länge des Berechnungsintervalle. Durch solche nicht äquidistanten Stützpunkte für die Prädiktion ist es ebenfalls möglich, die Rechenzeit erheblich zu verkürzen. Dabei werden für die nahe Zukunft kurze Intervalle zwischen den Stützpunkten gewählt, während für die fernere Zukunft größere Intervalle gewählt werden, so dass sich insgesamt eine erheblich reduzierte Anzahl von Berechnungsschritten ergibt.

**[0069]** Weiterhin vorteilhafterweise geht auch die Position und die Geschwindigkeit des Auslegerkopfes in die Regelung der Lastpendeldämpfung ein. Hierdurch ergeben sich bei der Kransteuerung Regelkreise sowohl für die Position und die Geschwindigkeit des Auslegerkopfes, als auch für den Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeit des Seiles.

**[0070]** Die zweite Ausführung der vorliegenden offenbarung mit der Verwendung zweier Sensoreinheiten, welche jeweils unterschiedlichen Seilsträngen des Kranes zugeordnet sind, wurde bisher unabhängig von der ersten Ausführung mit einer Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung beschrieben. Offenbarungsgemäß wird dabei für beide Ausführungen unabhängig voneinander Schutz beansprucht.

**[0071]** In einem besonders vorteilhaften Ausführungsbeispiel sind jedoch beide Ausführungen der vorliegenden offenbarung kombiniert. Weiterhin vorteilhafterweise weist das System mit zwei Sensoreinheiten dabei eines oder mehrere der Merkmale auf, welche vorher im Bezug auf die Ausführung der Erfindung beschrieben wurden.

**[0072]** Die vorliegende Beschreibung offenbart weiterhin einen Kran zum Anheben einer Last, mit Stellwerken zum Bewegen des Krans und der Last und mit einer Kransteuerung zur Ansteuerung der Stellwerke, wobei die Kransteuerung eine Lastpendeldämpfung zur Dämpfung von sphärischen Pendelschwingungen der Last aufweist und wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last aufweist. Eine solche Ausführung ist kein Teil der vorliegenden Erfindung. Beschreibungsgemäß sind dabei zwei Sensoreinheiten, welche den zwei Seilsträngen zugeordnet sind, vorgesehen, um die jeweiligen Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten zu bestimmen. Weiterhin weist die Lastpendeldämpfung dabei eine Regelung auf, in welche die von den zwei Sensoreinheiten bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten eingehen. Durch einen solchen Kran ergeben sich die gleichen Vorteile, wie sie bereits weiter oben bezüglich der Kransteuerung beschrieben wurden.

**[0073]** Weiterhin weist dieser Kran dabei eine Kransteuerung auf, wie sie weiter oben beschrieben wurde.

**[0074]** Weiterhin vorteilhafterweise weist der Kran als Stellwerke dabei ein Drehwerk zum Drehen des Krans und/oder ein Wippwerk zum Aufwippen eines Auslegers auf, welche von der Kransteuerung angesteuert werden. Durch die entsprechende Regelung dieser Ansteuerung über die Lastpendeldämpfung können so sphärische Schwingungen der Last am Seil verhindert werden.

**[0075]** Die vorliegende Beschreibung offenbart weiterhin ein Verfahren zum Ansteuern der Stellwerke eines Krans, welcher mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben der Last aufweist, wobei sphärische Pendelschwingungen der Last durch eine Lastpendeldämpfung gedämpft werden. Eine solche Ausführung ist kein Teil der vorliegenden Erfindung. Beschreibungsgemäß werden dabei die Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten des ersten und des zweiten Seilstranges über eine erste und eine zweite Sensoreinheit, welche dem ersten und dem zweiten Seilstrang zugeordnet sind, bestimmt und gehen in die Regelung der Lastpendeldämpfung ein. Durch dieses Verfahren ergeben sich die gleichen Vorteile, wie sie weiter oben im Bezug auf die Kransteuerung beschrieben wurden.

**[0076]** Vorteilhafterweise erfolgt dabei eine Kompensation der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten bezüglich des Einbauwinkels der Sensoreinheiten und des Drehwinkels des Krans. Hierdurch können Abweichungen des Einbauwinkels der Sensoreinheiten von einer exakten radialen bzw. tangentialen Ausrichtung kom-

pensiert werden.

[0077] Weiterhin vorteilhafterweise wird durch einen Vergleich der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten Sensorfehler erkannt. Dabei kann durch den Einsatz zweier Sensoreinheiten, welche den jeweiligen Seilsträngen zugeordnet sind, die hierdurch gewonnene Redundanz ausgenutzt werden.

5 [0078] Weiterhin vorteilhafterweise wird in der Lastpendeldämpfung weiterhin durch eine Mittelwertbildung aus den von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkeln und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten die Torsionsschwingung des Seifeldes berücksichtigt. So kann Lastpendeldämpfung berücksichtigt werden, dass auch Torsionsschwingungen des Seifeldes auftreten, welche die Daten der Sensoreinheiten beeinflussen.

[0079] Vorteilhafterweise erfolgt das Verfahren dabei mit einer Kransteuerung, wie sie weiter oben beschrieben wurde.

10 [0080] Die vorliegende Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher dargestellt. Dabei zeigen:

Figur 0a: ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Hafenmobilkrans,

15 Figur 0b: ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Seilfolgeelements der erfindungsgemäßen Kransteuerung,

Figuren 1a, 1b: die Schwingung der Last, wenn das Seil vor dem Anheben der Last nicht lotrecht ausgerichtet wurde,

20 Figuren 2a - 2c: ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welchem ein Ungleichgewicht der Last ausgeglichen wird,

25 Figuren 3a - 3c: ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welchem das Nachgeben der Kranstruktur bei Belastung ausgeglichen wird,

Figur 4a: ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Off-Shore-Kranks mit entsprechender Auslenkung des Seiles aus der Lotrechten durch eine Bewegung eines Schiffs und

30 Figur 4b: die grafische Darstellung eines zulässigen Seilwinkelbereiches.

Figur 5: ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei welchem zwei Seilstränge mit jeweils zugeordneten Sensorseinheiten vorgesehen sind,

35 Figur 6: eine Torsionsschwingung des Seifeldes aus erstem und zweitem Seilstrang,

Figur 7: ein Prinzipschaubild der bei einer Torsionsschwingung des Seifeldes gemessenen Seilgeschwindigkeiten,

40 Figur 8: eine Prinzipdarstellung des erfindungsgemäßen Krans,

Figur 9: eine Prinzipdarstellung des Wippwerkes des erfindungsgemäßen Krans,

Figur 10: eine Prinzipdarstellung einer nicht erfindungsgemäßen Kransteuerung,

45 Figur 11: einen Vergleich der Vorgaben des Kranführers mit einer Soll-Trajektorie, welche von einem nicht erfindungsgemäßen Bahnplanungsmodul generiert wird,

Figur 12a: einen Vergleich einer Soll-Trajektorie mit der tatsächlichen Bewegung der Last bezüglich der Lastgeschwindigkeit,

50 Figur 12b: einen Vergleich einer Soll-Trajektorie mit der tatsächlichen Bewegung der Last bezüglich der Lastposition,

Figur 13: die Geschwindigkeit des Auslegerkopfes im Vergleich mit der Sollgeschwindigkeit der Last sowie dem durch die Bewegung entstehenden radialen Seilwinkel und

55 Figur 14: die Zeit, welche zur Berechnung der Soll-Trajektorien benötigt wird.

**[0081]** In Figur 0a ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Auslegerkrans gezeigt, hier eines Hafenmobilkrans, wie sie häufig zum Abwickeln von Frachtumschlagvorgängen in Häfen eingesetzt werden. Solche Auslegerkrane können Lastkapazitäten von bis zu 140t und eine Seillänge von bis zu 80m aufweisen. Das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Krans umfasst dabei einen Ausleger 1, der um eine horizontale Achse 2, mit welcher er an dem Turm 3 angelenkt ist, auf und ab geschwenkt werden kann. Der Turm 3 kann wiederum um eine vertikale Achse gedreht werden, wodurch auch der Ausleger 1 mitgedreht wird. Der Turm 3 ist hierzu drehbar an einem Unterwagen 6 angeordnet, welcher über Räder 7 verfahrbar ist. Zum Verdrehen des Turmes 3 sind dabei nicht gezeigte Stellwerke vorhanden, zum Aufwippen des Auslegers 1 das Stellglied 4. Das Seil 20 zum Heben der Last 10 ist dabei über eine Umlenkrolle am Auslegerkopf geführt, wobei die Länge des Seiles 20 über Winden eingestellt werden kann. Am Seil 20 ist an einem Lastaufnahmepunkt 25 eine Lastaufnahmeverrichtung angeordnet, z. B. ein Manipulator oder Spreader, über welchen die Last 10 aufgenommen werden kann. Die Lastaufnahmeverrichtung weist dabei in dem Ausführungsbeispiel zusätzlich eine Rotatoreinrichtung auf, über welche die Last 10 an der Lastaufnahmeverrichtung gedreht werden kann. In einer weiteren Ausführung der Erfindung weist der Kran weiterhin mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben der Last auf, wobei alle Seilstränge von der Auslegerspitze zur Lastaufnahmeverrichtung verlaufen.

**[0082]** Wie insbesondere in der Draufsicht dargestellt, kann die Last durch Drehen des Turmes 3 in tangentialer Richtung und durch Aufwippen des Auslegers 1 in radialer Richtung bewegt werden. In vertikaler Richtung wird die Last 10 dabei durch das Aufwippen des Auslegers 1 und die Veränderung der Länge des Seils 20 bewegt. Zu dem kann die Last 10 durch die Rotatoreinheit an der Lastaufnahmeverrichtung rotiert werden.

**[0083]** Ein erstes Ausführungsbeispiel des in Figur 0a gezeigten Mobilkrans ist nun mit der erfindungsgemäßen Kransteuerung ausgerüstet, welche eine Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung aufweist. Die Sensoreinheit weist in dem Ausführungsbeispiel dabei zwei Sensoren auf, durch welche jeweils der radiale bzw. der tangentiale Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt werden kann. Durch diese Sensoreinheit wird die Ausrichtung des Krans beim Anheben der Last erheblich vereinfacht, da durch diese Sensoreinheit das Seil problemlos in der Lotrechten über der Last 10 ausgerichtet werden kann.

**[0084]** Die erfindungsgemäße Kransteuerung kann dabei jedoch nicht nur bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel, also einem Hafenmobilkran, zum Einsatz kommen, sondern ebenso vorteilhafterweise bei anderen Kränen, wie z. B. bei Schiffskrallen, Off-Shore-Kränen, Autokränen und Raupenkränen.

**[0085]** Die erfindungsgemäße Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung ist dabei insbesondere bei Auslegerkränen von besonderem Vorteil, da bei diesen bekannte Systeme, wie sie z. B. bei Kränen mit einer lediglich in horizontaler Richtung bewegbaren Laufkatze zum Einsatz kommen und welche über Meßkamerasysteme arbeiten, nicht einsetzbar sind. Bei Auslegerkränen würden solche Meßkamerasysteme nämlich zusammen mit dem Ausleger mitbewegt und damit lediglich den Winkel des Seils gegenüber dem Ausleger, nicht aber gegenüber der Lotrechten bestimmen. Zudem müßten solche Systeme immer direkt hinter dem Seifixpunkt am Auslegerkopf angeordnet sein, was bei einem über eine Umlenkrolle am Auslegerkopf geführten beweglichen Seil jedoch kaum möglich ist.

**[0086]** Die erfindungsgemäße Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung wird dagegen in einem Seilvergelelement 35, wie es in Figur 0b dargestellt ist, angeordnet und bestimmt direkt den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung in tangentialer und radialer Richtung. Auf eine Bestimmung des Seilwinkels relativ zum Ausleger 1 kann dabei vollkommen verzichtet werden. Ist dieser Winkel des Seils relativ zum Ausleger 1 jedoch von Interesse, könnte auch am Ausleger 1 eine weitere Sensoreinheit zur Bestimmung des Winkels des Auslegers relativ zur Gravitationskraftrichtung angeordnet werden, um über die Differenz der jeweiligen Winkel von Seil und Ausleger zur Gravitationskraftrichtung den Winkel zwischen Seil und Ausleger zu bestimmen.

**[0087]** Das in Figur 0b gezeigte Seilvergelelement 35, an welchem die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung angeordnet ist, ist dabei am Auslegerkopf 30 des Auslegers 1 durch kardanische Verbindungen 32 und 33 unter der Hauptseilrolle 31 angebracht. Das Seilvergelelement 35 weist dabei Rollen 36 auf, durch welche das Seil 20 geführt wird, so dass das Seilvergelelement 35 den Bewegungen des Seils 20 folgt. Die kardanischen Verbindungen 32 und 33 erlauben dem Seilvergelelement dabei, sich frei um eine horizontale und eine vertikale Achse zu bewegen, unterbinden jedoch Drehbewegungen. Die Ausrichtung des Seilvergelementes 35 und damit des Seils 20 relativ zur Gravitationskraftrichtung kann somit über die am Seilvergelelement 35 angeordnete Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung bestimmt werden.

**[0088]** Weiterhin vorteilhafterweise ist in dem Ausführungsbeispiel am Seilvergelelement 35 zudem eine Gyroskopeinheit angeordnet, über welche die Seilwinkelgeschwindigkeit in radialer und tangentialer Richtung gemessen werden kann, wofür mindestens zwei entsprechend ausgerichtete Gyroskope verwendet werden. Die Daten der Gyroskope stehen dabei vorteilhafterweise einer Lastpendeldämpfung zur Verfügung, welche das Pendeln der Last bei einer Bewegung des Krans verhindert.

**[0089]** Sind mehrere Seilstränge vorgesehen, über welche das Lastaufnahmeelement am Ausleger aufgehängt ist, sind vorteilhafterweise mindestens zweien dieser Seilstränge entsprechende Seilvergelemente 35 zugeordnet, um auch die Seifeldverdrehung, welche aus einer Verdrehung des Lastaufnahmeelements aus der Seifeldebene resultiert, be-

rücksichtigen zu können. Vorteilhafterweise sind die Seilfolgeelemente dabei auf den jeweils außen angeordneten Seilsträngen angeordnet, so dass sich eine Seilfeldverdrehung maximal in der Differenz der Seilwinkel ausdrückt. Der tatsächliche Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung, welcher eine Auslenkung der Last aus der Lotrechten entspricht, kann dabei durch eine Mittelung der Werte aus den Sensoreinheiten an den jeweiligen Seilfolgeelementen bestimmt werden, die Verdrehung der Last aus der Differenz der Werte.

**[0090]** Das Kardangelenk 32 und 33 dient dabei lediglich der mechanischen Verbindung des Seilfolgeelements 35 mit dem Auslegerkopf 30, die Messung des Seilwinkels erfolgt allein über die in den Seilfolgeelementen 35 integrierten Sensoreinheiten, nicht aber durch eine Bestimmung des Winkels zwischen dem Seilfolgelement 35 und dem Ausleger 30. Hierdurch könnte nämlich lediglich die relative Ausrichtung des Seils bezüglich des Auslegers 30 bestimmt werden, nicht jedoch der Seilwinkel des Seils 20 relativ zur Gravitationskraftrichtung.

**[0091]** In einem weiteren Ausführungsbeispiel, bei welchem mindestens ein erster und ein zweiter Seilstrang vorgesehen sind, über welche das Lastaufnahmeelement am Ausleger aufgehängt ist, sind diesen ebenfalls entsprechende Seilfolgeelemente 35 zugeordnet, welche mit Gyroskopeinheiten ausgestattet sind und so die Seilgeschwindigkeit dieser Seilstränge bestimmen. Die Bestimmung der Seilgeschwindigkeiten des ersten und des zweiten Seilstranges ermöglicht es, bei der Lastpendeldämpfung zur Dämpfung sphärischer Pendelschwingungen der Last die Seilfeldverdrehung zu berücksichtigen sowie Messfehler zu korrigieren. Bei diesem Ausführungsbeispiel kann auch auf die Sensoreinheiten zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung verzichtet werden und die Seilfolgeelemente 35 lediglich mit Gyroskopeinheiten ausgestattet werden.

**[0092]** Alternativ zur Anordnung der erfindungsgemäßen Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung an einem Seilfolgelement 35 könnte diese ebenso z. B. am Seilaufnahmemittel angeordnet werden, wobei die Seilfolgeelemente jedoch insbesondere bei mehreren Seilsträngen eine verbesserte Möglichkeit zur Bestimmung der Verdrehung der Last bieten. Eine solche Ausführung ist Kein Teil der vorliegenden Erfindung.

**[0093]** Da die Lastpendeldämpfungen, welche in DE 100 64 182, DE 103 24 692, DE 100 29 579 und DE 10 2006 033 277 gezeigt sind, und mit welchen der Kran des erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels vorteilhafterweise ebenfalls ausgestattet ist, von einer frei am Seil hängenden Last ausgehen und auf Gyroskopdaten beruhen, welche zur Bestimmung absoluter Seilwinkel nicht geeignet sind, können diese Lastpendelsysteme lediglich ein Pendeln der zunächst frei und unbewegt am Seil hängenden Last bei einer Bewegung des Kranes verhindern.

**[0094]** Um das Seil nun vor dem Anheben der Last bzw. beim Anheben lotrecht auszurichten, so dass die Last ohne ein Ausschwingen angehoben werden kann, ist nunmehr der erfindungsgemäße Kran mit der erfindungsgemäßen Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung vorgesehen.

**[0095]** Figur 1a zeigt dabei das Grundproblem bei einer nicht lotrechten Ausrichtung des Seiles 20. Das Seil 20, welches bereits mit der noch aufliegenden Last 10 über ein Lastaufnahmemittel verbunden ist, weist durch die falsche Ausrichtung des Auslegers 1 dabei einen Winkel  $\varphi_{Sr}$  relativ zur gestrichelt dargestellten Gravitationskraftrichtung auf. Wird die Last 10 nun aus dieser Position durch Verkürzung der Länge des Seils 20 angehoben, ergibt sich die in Figur 1b gezeigte Schwingung um die Lotrechte, wenn die Last 10 freikommt. Eine solche Schwingung beim Anheben der Last 10 ist dabei besonders gefährlich, da sie in Bodennähe erfolgt und Objekte in der Umgebung der Last 10 leicht beschädigt werden können.

**[0096]** Zudem kann die Last 10, bevor sie freikommt, unkontrolliert verrutschen oder durch ein ungleichmäßiges freikommen unkontrolliert verdreht werden. In Figuren 1a und 1b ist dabei beispielhaft die Auslenkung  $\varphi_{Sr}$  in radialer Richtung dargestellt. Die gleiche Problematik ergibt sich ebenfalls für eine Auslenkung des Seils 20 in tangentialer Richtung, welche durch eine fehlerhafte Stellung des Turmes 3 hervorgerufen wird.

**[0097]** Um eine solche Auslenkung des Seiles 20 aus der Lotrechten zu Beginn des Hubes zu vermeiden, weist das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Krans deshalb eine Anzeige auf, welche den Seilwinkel  $\varphi$  des Seils 20 relativ zur Gravitationskraftrichtung, das heißt zur Lotrechten, anzeigt. Die Anzeige kann dabei z. B. zum einen eine lotrechte Seilstellung optisch und/oder akustisch anzeigen und zudem die Richtung angeben, in welche das Seil 20 von der Lotrechten ausgelenkt ist.

**[0098]** Eine solche Anzeige kann damit z. B. Anzeigeelemente für eine Auslenkung nach vorne bzw. hinten und Anzeigeelemente für eine Auslenkung nach links oder rechts aufweisen, welche eine Auslenkung in radialer bzw. in tangentialer Richtung anzeigen.

**[0099]** Alternativ kann auch die horizontale Abweichung der Last aus einer Nullstellung, welcher einer lotrechten Ausrichtung des Seils entspricht, angezeigt werden. Insbesondere ist hierbei eine graphische Anzeige der Nullstellung und der Abweichung der Last denkbar, so dass dem Kranführer die absolute Auslenkung der Last direkt angezeigt wird.

**[0100]** Durch eine solche Anzeige kann der Kranführer den Kran zu Beginn des Hubes problemlos so ausrichten, dass das Seil 20 lotrecht über der Last 10 angeordnet ist. Die korrekte lotrechte Seilstellung kann dann z. B. akustisch durch einen Signalton angezeigt werden.

**[0101]** In einer alternativen Ausführungsform ist dabei, gegebenenfalls zusätzlich zur Anzeige, eine Funktion zur automatischen Ausrichtung des Seils in lotrechter Richtung vorgesehen. Durch Betätigen dieser Funktion richtet sich der Kran nach Befestigung des Lastaufnahmemittels an der Last automatisch so aus, dass das Seil sich in der Lotrechten

befindet. Um bei einer Fehlfunktion der erfindungsgemäßen Sensoreinheit ein unkontrolliertes Bewegen des Kranes zu vermeiden, ist diese automatische Funktion vorteilhafterweise z. B. mit einer Seilkraftmeßeinrichtung verbunden, welche bei Fehlern den automatischen Betrieb ausschaltet.

**[0102]** Bei Verwendung mehrerer Seilstränge zwischen Auslegerkopf und Lastaufnahmemittel kann zudem die Seilfeldverdrehung über mehrere Sensoreinheiten bestimmt werden. Diese Seilfeldverdrehung entspricht der Verdrehung des Lastaufnahmemittels, z. B. eines Spreaders, und würde beim Anheben der Last zu einer Rotation der Last führen. Um dies zu verhindern, wird vorteilhafterweise, gegebenenfalls neben dem Seiwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung bzw. der horizontalen Abweichung der Last, auch die Verdrehung des Seifeldes angezeigt. Weist das Lastaufnahmemittel eine Rotoreinrichtung auf, kann hierdurch vor dem Hub die Seilfeldverdrehung auf 0 gestellt werden, um eine Rotation der Last 10 beim Anheben zu verhindern. Auch hierzu kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel vorteilhafterweise eine Funktion zur automatischen Ausrichtung der Rotoreinrichtung vorgesehen sein.

**[0103]** Weiterhin weist das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Krans neben der Anzeige eine Warneinrichtung auf, welche den Kranführer bei Überschreiten zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seiwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seiwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung, für die horizontale Abweichung der Last und/oder die Seilfeldverdrehung durch ein optisches und/oder akustisches Signal warnt. Hierdurch hat der Kranführer die Möglichkeit, eine zu starke Auslenkung des Seils zu verhindern und so den Kran z. B. vor Überlastung zu schützen. Ebenso kann so ein zu starkes Pendeln der Last beim Anheben vermieden werden.

**[0104]** In einem alternativen Ausführungsbeispiel kann, gegebenenfalls zusätzlich zur Warneinrichtung, eine automatische Sicherungseinrichtung, z.B. in Form einer Überlastsicherung vorgesehen sein, welche beim Überschreiten des zulässigen Wertebereichs automatisch in die Steuerung des Krans eingreift. Insbesondere stoppt die automatische Überlastsicherung dabei die Bewegung des Krans, um eine Überlast zu verhindern. Die Überlastsicherung kann dabei in die Lastmomentbegrenzung des Krans integriert sein, welche den Kran so gegen Belastung durch einen zu großen Seiwinkel schützt.

**[0105]** Weiterhin ist in einem weiteren Ausführungsbeispiel vorgesehen, dass das Anheben der Last 10 nicht möglich ist, so lange sich der Seiwinkel bzw. die Seilfeldverdrehung nicht im zulässigen Bereich befindet. Hierdurch wird ein ungewolltes Pendeln der Last 10 beim Anheben effektiv verhindert.

**[0106]** In Figuren 2 und 3 sind nun zwei Situationen dargestellt, in welchen das Seil 20 zunächst lotrecht ausgerichtet ist, beim Anheben der Last 10 jedoch aus der Lotrechten wegbewegt wird.

**[0107]** In Figuren 2a bis 2c geschieht dies dadurch, dass der Schwerpunkt 26 der Last 10 sich zu Beginn des Hubvorgangs nicht unterhalb des Lastaufnahmepunkts 25 befindet. Wird die Last 10 nun, wie in Figur 2b dargestellt, angehoben, stellt sich diese schräg, bis der Schwerpunkt 26 der Last unter dem Lastaufnahmepunkt 25 angeordnet ist. Durch diese Verkantung der Last 10 wird der Lastaufnahmepunkt 25, an welchem das Seil 20 z. B. am Lastaufnahmemittel befestigt ist, jedoch in horizontaler Richtung bewegt, im hier gezeigten Fall in radialer Richtung nach innen. Hierdurch verändert sich der Seiwinkel relativ zur Lotrechten, was bei einem kompletten Freikommen der Last 10 zu einer ungewünschten Schwingung der Last führen würde.

**[0108]** Deshalb wird in einem Ausführungsbeispiel eines Verfahrens während des Anhebens der Last 10 die Abweichung des Seiwinkels von der Lotrechten bestimmt. Im einfachsten Ausführungsbeispiel überprüft der Kranführer dabei auf der Anzeige den Seiwinkel bzw. die horizontale Abweichung und stellt den Kran während dem Hub nach, um die Abweichung des Seiwinkels von der Lotrechten durch das Ungleichgewicht der Last wieder auszugleichen. Bei einem verbesserten Ausführungsbeispiel wird das Ungleichgewicht der Last aus der Abweichung des Seiwinkels von der Lotrechten bestimmt und angezeigt, so dass der Kranführer besser reagieren kann.

**[0109]** In der in Figur 2c gezeigten Stellung wurde der Kran nun so bewegt, dass die durch das Ungleichgewicht der Last bedingte Schräglage, bei welcher der Schwerpunkt 26 unterhalb des Lastaufnahmepunkts 25 angeordnet ist, ausgeglichen wurde. Beim kompletten Freikommen der Last 10 wird hierdurch eine ungewollte Schwingung der Last aufgrund des Ungleichgewichts der Last vermieden.

**[0110]** In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel weist das Lastaufnahmemittel eine Vorrichtung zur insbesondere linearen Bewegung der Last 10 relativ zum Lastaufnahmepunkt 25 auf, über welche der Schwerpunkt 26 der Last ohne ein Verkippen der Last 10 unterhalb des Lastaufnahmepunkts 25 angeordnet werden kann. Hierzu weist das Lastaufnahmemittel, z. B. ein Spreader, z. B. eine Längsverschiebung des Lastaufnahmepunkts 25 relativ zur Last, z. B. einem Container, auf.

**[0111]** Wird nun beim Anheben der Last eine Abweichung des Seiwinkels von der Lotrechten festgestellt, kann der Kranführer den Lastaufnahmepunkt so lange relativ zur Last verfahren, bis das Seil wieder lotrecht ausgerichtet ist. Ebenso kann anhand der Abweichung des Seiwinkels von der Lotrechten das Ungleichgewicht der Last bestimmt und angezeigt werden, so dass der Kranfahrer die Ansteuerung der Längsverstellung des Spreaders anhand dieser Anzeige vornehmen kann. Ebenso ist eine automatische Verstellung des Spreaders denkbar.

**[0112]** Eine solche Verstellung des Spreaders anhand der Abweichung des Seiwinkels von der Lotrechten ist von besonderem Vorteil, da ein Verkippen der Container insbesondere beim Verladen in ein Schiff zu einem Verklemmen der Container führen kann, durch welches das Verladen erheblich behindert werden kann.

**[0113]** In Figuren 3a bis 3c ist nun ein weiterer Effekt zu sehen, durch welchen eine Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten beim Anheben der Last hervorgerufen werden kann. In Figur 3a ist vor Beginn des Hubs das Seil 20 noch lotrecht ausgerichtet. Da sich der Schwerpunkt 26 der Last unter dem Lastaufnahmepunkt 25 befindet, die Last also kein Ungleichgewicht aufweist, verschiebt sich der Lastaufnahmepunkt 25 beim Anheben der Last 10 in diesem

5 Fall nicht. Wie in Figur 3b gezeigt, gibt jedoch die Kranstruktur durch die Belastung beim Anheben der Last nach, wobei in diesem Fall Turm 3 und Ausleger 1 leicht nach vorne gebeugt werden. Hierdurch wird die Auslegerspitze 30, über welche das Seil 20 läuft, relativ zum Lastaufnahmepunkt 25 bewegt, so dass sich eine Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten durch das Nachgeben der Kranstruktur ergibt.

**[0114]** Erfindungsgemäß wird diese Abweichung in einem ersten Ausführungsbeispiel des Verfahrens vom Kranführer 10 anhand der Anzeige des Seilwinkels beim Anheben der Last ausgeglichen. Ebenso kann die Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten durch das Nachgeben der Kranstruktur unter der Belastung bestimmt werden, welche dann angezeigt werden kann, um die Arbeit des Kranführers zu erleichtern. In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist auch eine automatische Nachführung des Krans zur lotrechten Ausrichtung auf Grundlage der Daten der Sensoreinheit zur Bestimmung 15 eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung möglich. Ist der Seilwinkel wieder in der lotrechten ausgerichtet, kann die Last, wie in Figur 3c gezeigt, ohne Schwingungen angehoben werden.

**[0115]** In Figur 4a ist ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Krans zu sehen. Hierbei handelt es sich um einen Off-Shore-Kran, welcher auf einer Off-Shore-Plattform 50 angeordnet ist und z. B. zum Verladen einer Last 10 von einem Schiff 60 auf die Plattform 50 dient. Da das Schiff 60 sich relativ zur Plattform 50 bewegen kann, kann auch der Seilwinkel des Seils 20 relativ zur Lotrechten ohne eine Bewegung des Krans durch eine Bewegung des 20 Schiffes verändert werden.

**[0116]** Um dieser Situation Rechnung zu tragen, ist in einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Krans eine Überlastfunktion vorgesehen, welche gegebenenfalls neben den oben beschriebenen Warn- und Sicherheitsfunktionen eingesetzt werden kann. Um z. B. eine Zerstörung des Krans zu verhindern, wenn sich das Seil 20 am Schiff 60 verhakt und die Bewegung des Schiffes 60 den Kran zu überlasten droht, werden Gegenmaßnahmen eingeleitet, wenn der 25 Seilwinkel einen maximal zulässigen Bereich überschreitet. Insbesondere kann hierbei die Bewegung des Krans teilweise freigegeben werden, z. B. indem das Seil 20 freigegeben wird oder die Drehbewegung des Turmes 3. Diese Freigabe erfolgt dabei kontrolliert mit einer gewissen Gegenkraft, um plötzliche Kraftstöße zu vermeiden.

**[0117]** Hierdurch kann auf Grundlage des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung eine einfach auszuführende Überlastsicherung realisiert werden, welche nur anhand eines Seilschaftsensors nur schwierig zu realisieren ist. Durch 30 eine solche Überlastsicherung, welche eine teilweise Freigabe der Kranbewegung bewirkt, kann zudem ein unkontrolliertes Schleifen der Last 10 über das Schiff 60 verhindert werden.

**[0118]** Der zulässige Bereich 70 für den Seilwinkel in X- und Y-Richtung ist z.B. in Figur 4b schraffiert gezeigt. Überschreitet der Seilwinkel diesen zulässigen Bereich 70, wird entweder die Warnfunktion oder eine der Überlastfunktionen ausgelöst.

**[0119]** Figur 4b zeigt dabei ein Anzeigeelement zur Anzeige einer Abweichung von einer lotrechten Stellung des Seils, mit einem zulässigen Bereich 70 für den Seilwinkel bzw. für die horizontale Abweichung in X- und Y-Richtung, das heißt in radialer und tangentialer Richtung. Die Anzeige des Seilwinkels erfolgt hierdurch graphisch, z.B. indem der Seilwinkel in dem in Figur 4b gezeigten Diagramm als Punkt dargestellt wird. Anstelle des Seilwinkels kann auch die horizontale 40 Abweichung der Last aus der in der Mitte liegenden Nullstellung dargestellt werden, das heißt der Abstand der Last von der Position, in welcher sie sich bei gleicher Kranstellung, aber lotrechtem Seil befände. Der Kranfahrer kann so die absolute Auslenkung der Last direkt erkennen und so leichter abschätzen, wie weit der Kran zur korrekten Ausrichtung des Seils verfahren werden muss.

**[0120]** Durch die erfindungsgemäße Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Lotrechten durch eine Sensoreinheit zur 45 Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung und die entsprechenden Kransteuerungen und Kransteuerungsverfahren ist neben einer einfacheren Bedienung und Ausrichtung des Kranes auch eine erheblich erhöhte Sicherheit beim Hub von Lasten möglich.

**[0121]** In einem weiteren Ausführungsbeispiel, der kein Teil der vorliegenden Erfindung ist weist der Kran mindestens 50 einen ersten und einen zweiten Seilstrang auf, welche das Lastaufnahmemittel mit der Auslegerspitze verbinden. Insbesondere ist dabei eine verbesserte Dämpfung der sphärischen Schwingungen der Last durch die Kransteuerung gegeben.

**[0122]** Regelungs- und Automatisierungskonzepte für Kräne, die die Pendelbewegung der Last am Seil bei einer Kranbewegung verhindern, sind auf die genaue Messung der Seilwinkel angewiesen. Insbesondere bei Auslegerkränen ist es dabei vorteilhaft, nicht direkt die Seilwinkel über beispielsweise Bildverarbeitende Methoden zu bestimmen, sondern die Winkelgeschwindigkeiten mittels Gyroskopen zu messen.

**[0123]** Da die Gyroskopsignale allerdings Offsetbehaftet sind und auch Störeinflüsse, wie Seiloberschwingungen, erfassen, werden Beobachterschaltungen für die Integration der Geschwindigkeiten zu den Seilwinkeln eingesetzt.

**[0124]** Um die Winkelgeschwindigkeiten der pendelnden Last zu erfassen, werden die Gyroskope mittels einer mechanischen Konstruktion am Seil unter der Auslegerspitze befestigt. Notwendig für die Erfassung der sphärischen Last-

schwingung sind zwei Gyroskope, die in tangentialer und radialer Richtung angeordnet sind.

[0125] Wie in Abbildung 5 dargestellt, wird zur verbesserten Lastpendeldämpfung nun vorgeschlagen, sowohl dem ersten als auch dem zweiten Seilstrang ein Seilfolgeelement, wie es in Fig. 0b gezeigt ist, zuzuordnen. Anstelle der Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung sind die Seilfolgeelemente jedoch mit Gyroskopeinheiten ausgestattet, welche zur Lastpendeldämpfung besser geeignet sind. Über diese erfolgt eine Winkelgeschwindigkeitserfassung der pendelnden Kranlast.

[0126] Figur 0b zeigt dabei ein erstes Seilfolgeelement 35, an welchem im hier gezeigten Ausführungsbeispiel die dem ersten Seilstrang zugeordnete erste Sensoreinheit angeordnet ist. Das erste Seilfolgeelement ist dabei am Auslegerkopf 30 des Auslegers 1 durch kardanische Verbindungen 32 und 33 unter einer ersten Seilrolle 31 angebracht, über welche der erste Seilstrang 20 geführt ist. Das Seilfolgeelement 35 weist dabei Rollen 36 auf, durch welche der erste Seilstrang 20 geführt ist, so dass das Seilfolgeelement 35 den Bewegungen des Seilstrangs 20 folgt. Die kardanischen Verbindungen 32 und 33 erlauben dem Seilfolgeelement dabei, sich frei um eine horizontale und eine vertikale Achse zu bewegen, unterbinden jedoch Drehbewegungen. Die radiale und tangentiale Winkelgeschwindigkeit des ersten Seilfolgeelementes 35 und damit des ersten Seilsstrangs 20 kann somit über die am Seilfolgeelement 35 angeordnete erste Sensoreinheit, welche als Gyroskopeinheit ausgeführt ist, bestimmt werden. Ein zweites Seilfolgeelement mit einer zweiten Sensoreinheit, welches einem zweiten Seilstrang zugeordnet ist, ist analog zum ersten Seilfolgeelement aufgebaut und mit der Auslegerspitze verbunden. Das zweite Seilfolgeelement misst dementsprechend die Winkelgeschwindigkeit des zweiten Seilstranges.

[0127] Die Gyroskopsignale (Winkelgeschwindigkeiten in tangentialer und radialer Richtung) beider Seilfolgeelemente werden mit identischen Algorithmen aufbereitet und verarbeitet. Zunächst werden Störeinflüsse, die durch falsche Montage hervorgerufen werden, softwaretechnisch kompensiert (siehe Gleichung 0.1). Sind die Empfindlichkeitsebenen der Gyroskopsensoren nicht exakt in tangentialer und radialer Richtung sondern durch falsche Montage verkippt, messen die Sensoren die Drehgeschwindigkeit des Kranes anteilig mit.

$$\dot{\varphi}_{t/rkomp} = \dot{\varphi}_{t/rmess} - \sin(\varphi_{einbau}) \dot{\varphi}_D \quad (0.1)$$

[0128] Der Einbau- oder Montagewinkel für jeden Gyroskopsensor auf beiden Seilfolgeelementen ist jeweils  $\varphi_{einbau}$ ,  $\varphi_D$  ist die Drehgeschwindigkeit des Kranes,  $\varphi_{t/rmess}$  ist die tangentiale oder radiale Winkelgeschwindigkeit und  $\dot{\varphi}_{t/rkomp}$  ist das resultierende kompensierte Gyroskopsignal.

[0129] Weiterhin werden die kompensierten Messsignale mit einer Beobachterschaltung offsetfrei zu den Seilwinkel integriert. Nach dieser Aufbereitung stehen nun die Seilwinkel für beide Seilfolgeelemente in tangentialer und radialer Richtung zur Verfügung.

[0130] Die Erweiterung des Messkonzeptes um das zweite Seilfolgeelement führt zu zwei wesentlichen Vorteilen gegenüber der Variante mit nur einem Seilfolgeelement oder der Variante mit den Gyroskopsensoren im Haken.

[0131] Der erste Vorteil ist die Redundanz der Messung des Lastpendelns. Fällt ein Sensor auf einer der beiden Seilfolgeelemente aus, wird die Winkelgeschwindigkeit immer noch von dem Sensor der anderen Halterung erfasst. Damit kann die Grundfunktion der Kransteuerung (die Pendeldämpfung und Trajektorienfolge) sichergestellt werden.

[0132] Durch Differenzbildung der Winkel signale beider Seilfolgeelemente in die jeweiligen Richtungen lässt sich weiterhin bei Überschreiten eines Schwellwertes ein Sensorfehler detektieren. Somit kann der Kran bei Auftreten eines Sensorfehlers sofort in einen sicheren Zustand gebracht werden.

[0133] Der zweite Vorteil ist die Möglichkeit der Kompensation der Torsionsschwingung der Last. Dabei wird, wie Gleichung 0.2 zeigt, der Mittelwert der Winkel signale der beiden Seilfolgeelemente in die entsprechende Richtung berechnet.

$$\begin{aligned} \varphi_t &= \frac{\varphi_{t/beobH1} + \varphi_{t/beobH2}}{2} \\ \varphi_r &= \frac{\varphi_{r/beobH1} + \varphi_{r/beobH2}}{2} \end{aligned} \quad (0.2)$$

[0133] Der Seilwinkel in tangentiale Richtung  $\varphi_t$  berechnet sich also aus dem Mittelwert der beobachteten Winkel signale der Halterung 41  $\varphi_{t/beobH1}$  und Halterung 42  $\varphi_{t/beobH2}$ . Gleicher gilt für den Seilwinkel in radiale Richtung symbolisiert durch den Indize  $r$ . Tritt eine Torsion der Last mit der Winkelgeschwindigkeit  $\varphi_{Torsion}$  auf, messen die Gyroskope auf den Seilfolgeelementen 41 und 42 exakt eine entgegen gesetzte Störschwingung sowohl in tangentialer als auch in

radialer Richtung. Damit kann durch die Mittelwertbildung der Einfluss der Torsionsschwingung eliminiert werden. Die Regelung der Lastpendeldämpfung, in welche die von den zwei Gyroskopeneinheiten erzeugten Daten eingehen, wird nun im folgenden näher dargestellt.

[0134] In dem betrachteten Fall ist die Dynamik der Auslegerbewegung durch einige vorherrschende nichtlineare Wirkungen gekennzeichnet. Die Verwendung eines linearen Steuergerät würde daher große Fehler bei der Trajektoriennachführung und ungenügende Dämpfung der Lastpendelung bewirken. Um diese Probleme zu überwinden, nutzt die vorliegende Erfindung ein nichtlineares Steuerungsvorgehen, das auf der Umkehr eines vereinfachten nichtlinearen Modells beruht. Dieses Steuerungsvorgehen für die Wippbewegung eines Auslegerkrans erlaubt eine schwenkfreie Lastbewegung in radialer Richtung. Durch Verwenden einer zusätzlichen stabilisierenden Regelungsschleife zeigt die sich ergebende erfindungsgemäße Kransteuerung eine hohe Genauigkeit der Trajektoriennachführung und eine gute Dämpfung der Lastpendelung. Messergebnisse werden vorgelegt, um die gute Leistung des nichtlinearen Trajektorien-nachführungssteuergeräts zu validieren.

[0135] Auslegerkrane wie der LIEBHERR Hafenmobilkran LHM (siehe Fig. 1) werden zum effizienten Handhaben von Umschlagprozessen in Häfen verwendet. Diese Art von Auslegerkranen ist durch eine Lastkapazität von bis zu 140 Tonnen, eine maximale Ausladung von 48 Metern und eine Seillänge von bis zu 80 Metern gekennzeichnet. Während des Umsetzungsprozesses wird eine kugelförmige Lastschwingung angeregt. Diese Lastschwingung muss aus Sicherheits- und Leistungsgründen vermieden werden.

[0136] Wie in Fig. 1 gezeigt besteht ein solcher Hafenmobilkran aus einer mobilen Bühne 6, an der ein Turm 3 angebracht ist. Der Turm 3 kann um eine vertikale Achse gedreht werden, wobei seine Position durch den Winkel  $\varphi_D$  beschrieben wird. An dem Turm 3 ist ein Ausleger 1 schwenkbar angebracht, der durch den Aktor 4 gewippt werden kann, wobei seine Position durch den Winkel  $\varphi_A$  beschrieben wird. Die Last 10 ist an einem Seil der Länge  $l_s$  vom Kopf des Auslegers 1 abgehängt und kann bei dem Winkel  $\varphi_{Sr}$  pendeln.

[0137] Im Allgemeinen sind Krane unteraktivierte Systeme, die Schwingverhalten zeigen. Daher wurden in der Literatur viele ungeregelte und geregelte Steuerlösungen vorgeschlagen. Diese Ansätze beruhen aber auf dem linearisierten dynamischen Modell des Krans. Die meisten dieser Beiträge berücksichtigen nicht die Aktordynamik und -kinematik. Bei einem Auslegerkran, der durch Hydraulikaktoren angetrieben wird, sind die Dynamik und Kinematik der Hydraulikaktoren nicht vernachlässigbar. Insbesondere bei dem Auslegeraktor (Hydraulikzylinder) muss die Kinematik berücksichtigt werden.

[0138] Die folgende Ausführung nutzt einen auf Flachheit basierenden Steuerungsansatz für die radiale Richtung eines Auslegerkrans. Der Ansatz beruht auf einem vereinfachten nichtlinearen Modell des Krans. Somit kann das Gesetz der linearisierenden Steuerung formuliert werden. Ferner wird gezeigt, dass die Nulldynamik der nicht vereinfachten nichtlinearen Steuerschleife eine ausreichende Dämpfungseigenschaft garantiert.

## 1. NICHTLINEARES MODELL DES KRANS

[0139] Unter Berücksichtigen der Steuerungsziele der Verhinderung der Lastpendelung und des Nachverfolgens einer Bezugstrajektorie in radialer Richtung muss das nichtlineare dynamische Modell für die Wippbewegung abgeleitet werden. Der erste Teil des Modells wird erhalten durch

- Vernachlässigen der Masse und der Elastizität des Seils
- Annahme, dass Last eine Punktmasse ist
- Vernachlässigen der Zentripetal- und Coriolis-Terme

[0140] Das Verwenden des Newton/Eulerschen Verfahrens und das Berücksichtigen der vorgegebenen Annahmen führt zu der folgenden Differentialgleichung der Bewegung für die Lastpendelung in radialer Richtung:

$$\ddot{\varphi}_{Sr} + \frac{g}{l_s} \sin(\varphi_{Sr}) = \frac{\cos(\varphi_{Sr})}{l_s} \ddot{r}_A \quad (1)$$

[0141] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung der Wippbewegung, wobei  $\varphi_{Sr}$  der radiale Seilwinkel,  $\ddot{\varphi}_{Sr}$  die radiale Winkelbeschleunigung,  $l_s$  die Seillänge,  $\ddot{r}_A$  die Beschleunigung des Auslegerendes und  $g$  die Gravitationskonstante ist.

[0142] Der zweite Teil des dynamischen Modells beschreibt die Kinematik und Dynamik des Aktors für die radiale Richtung. Unter der Annahme, dass der Hydraulikzylinder Verhalten erster Ordnung aufweist, wird die Differentialgleichung der Bewegung wie folgt erhalten:

$$\ddot{z}_{zyl} = -\frac{1}{T_w} \dot{z}_{zyl} + \frac{K_{vw}}{T_w A_{zyl}} u_i \quad (2)$$

5 [0143] Wobei  $\ddot{z}_{zyl}$  und  $\dot{z}_{zyl}$  die Zylinderbeschleunigung und Geschwindigkeit,  $T_w$  die Zeitkonstante,  $A_{zyl}$  die Querschnittsfläche des Zylinders,  $u_i$  die Eingangsspannung des Servoventils und  $K_{vw}$  die proportionale Konstante von Strömrate zu  $u_i$  ist.

10 [0144] Fig. 9 zeigt eine schematische Darstellung der Kinematik des Aktors mit den geometrischen Konstanten  $d_a, d_b, \alpha_1, \alpha_2$ . Um eine Umwandlung von Zylinderkoordinaten ( $z_{zyl}$ ) zu Ausladungskoordinaten ( $r_A$ ) zu erhalten, wird die kinematische Gleichung

$$r_A(z_{zyl}) = l_A \cos(\alpha_{A0} - \arccos\left(\frac{d_a^2 + d_b^2 - z_{zyl}^2}{2d_a d_b}\right)) \quad (3)$$

15

differenziert.

$$20 \quad \begin{aligned} \dot{r}_A &= -l_A \sin(\varphi_A) K_{wz1}(\varphi_A) \dot{z}_{zyl} \\ \ddot{r}_A &= -l_A \sin(\varphi_A) K_{wz1}(\varphi_A) \ddot{z}_{zyl} - K_{wz3}(\varphi_A) \dot{z}_{zyl}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

25  $K_{wz1}$  und  $K_{wz3}$  beschreiben die Abhängigkeit von den geometrischen Konstanten  $d_a, d_b, \alpha_1, \alpha_2$  und dem Wippwinkel  $\varphi_A$ . (siehe Figur 9)  $l_A$  ist die Länge des Auslegers.

[0145] Das Formulieren des Verhaltens erster Ordnung des Aktors in Ausladungskoordinaten durch Verwenden der Gleichungen (4) führt zu einer nichtlinearen Differentialgleichung.

$$30 \quad \ddot{r}_A = -\underbrace{\frac{K_{wz3}}{l_A^2 \sin^2(\varphi_A) K_{wz1}^2} \dot{r}_A^2}_{a} - \underbrace{\frac{1}{T_w}}_{b} \dot{r}_A - \underbrace{\frac{K_{vw} l_A \sin(\varphi_A) K_{wz1}}{T_w A_{zyl}} u_i}_{m} \quad (5)$$

[0146] Zum Darstellen des nichtlinearen Modells in der Form

35

$$\begin{aligned} \dot{x}_I &= f_I(x_I) + g_I(x_I) \cdot u_i \\ y_I &= h_I(x_I) \end{aligned} \quad (6)$$

40 werden die Gleichungen (1) und (6) verwendet. Hierdurch führen der als Eingabe verwendete Zustand  $\underline{x} = [r_A \dot{r}_A \varphi_{Sr} \dot{\varphi}_{Sr}]^T$  und die als Ausgabe vorgesehene radiale Position der Last  $y = r_{LA}$  zu:

45

$$\begin{aligned} f_I(x_I) &= \begin{bmatrix} \dot{x}_{I,2} \\ -ax_{I,2}^2 - bx_{I,2} \\ x_{I,4} \\ -\frac{g}{l_s} \sin(x_{I,3}) + \frac{\cos(x_{I,3})}{l_s} (ax_{I,2}^2 + bx_{I,2}) \end{bmatrix} \\ g_I(x_I) &= \begin{bmatrix} 0 \\ -m \\ 0 \\ \frac{\cos(x_{I,3})m}{l_s} \end{bmatrix} \\ h_I(x_I) &= x_{I,1} + l_s \sin(x_{I,3}) \end{aligned} \quad (7, 8)$$

50

## 2. NICHT-LINEARER STEUERUNGSANSATZ

55 [0147] Die folgenden Überlegungen werden unter der Annahme getroffen, dass die rechte Seite der Differentialgleichung für die Lastpendelung linearisiert werden kann. Somit wird die Erregung des radialen Lastpendelung von dem radialen Seilwinkel  $\varphi_{Sr}$  entkoppelt.

$$\ddot{\phi}_{sr} + \frac{g}{l_s} \sin(\varphi_{sr}) = \frac{1}{l_s} \ddot{r}_s \quad (9)$$

5

**[0148]** Um eine flache Ausgabe für das vereinfachte nichtlineare System zu finden, muss der relative Grad bestimmt werden.

10

## 2.1 Relativer Grad

15

**[0149]** Der relative Grad wird durch die folgenden Bedingungen definiert:

15

$$\begin{aligned} L_{\underline{g}_t} L_{\underline{f}_t}^i h_t(\underline{x}_t) &= 0 \quad \forall i = 0, \dots r-2 \\ L_{\underline{g}_t} L_{\underline{f}_t}^{r-1} h_t(\underline{x}_t) &\neq 0 \quad \forall x \in R^n \end{aligned} \quad (10)$$

20

**[0150]** Der Operator  $L_{\underline{f}_t}$  stellt die Lie-Ableitung entlang des Vektorfelds  $\underline{f}_t$  bzw.  $L_{\underline{g}_t}$  entlang des Vektorfelds  $\underline{g}_t$  dar. Mit der realen Ausgabe

20

$$\dot{y}_t = h_t^*(\underline{x}_t) = x_{t,1} + l_s x_{t,3} \quad (11)$$

25

wird ein relativer Grad von  $r=2$  erhalten. Da die Ordnung des vereinfachten nichtlinearen Modells 4 ist, ist  $y_t$  eine nicht flache Ausgabe. Doch mit einer neuen Ausgabe

30

$$\dot{y}^* = h^*(\underline{x}) = x_1 + l_s x_3 \quad (12)$$

30

wird ein relativer Grad von  $r=4$  erhalten. Angenommen, dass nur kleine radiale Seilwinkel eintreten, kann die Differenz zwischen der realen Ausgabe  $y_t$  und der flachen Ausgabe  $\dot{y}^*$  vernachlässigt werden. Diese Vereinfachung wird gewählt, um die Rechenzeit für die in Kapitel 3 beschriebene Trajektoriengenerierung so gering wie möglich zu halten.

35

## 2.2 Exakte Linearisierung

40

**[0151]** Da die vereinfachte Systemdarstellung differentiell flach ist, kann eine exakte Linearisierung vorgenommen werden. Daher wird eine neue Eingabe definiert als

$$v = \dot{y}^*$$

45

und das linearisierende Steuersignal  $u_t$  wird berechnet durch

50

$$\begin{aligned} u_t &= \frac{-L'_{\underline{f}_t} h_t^*(\underline{x}_t) + v_t}{L_{\underline{g}_t} L_{\underline{f}_t}^{r-1} h_t^*(\underline{x}_t)}; \quad v_t \dots \text{new input} \\ &= \frac{g \sin(x_{t,3}) x_{t,4}^2 - g \cos(x_{t,3}) \left( -\frac{g}{l_s} \sin(x_{t,3}) + \frac{a}{l_s} x_{t,2}^2 + \frac{b}{l_s} x_{t,2} \right) + v_t}{\frac{gm}{l_s} \cos(x_{t,3})} \end{aligned} \quad (13)$$

55

**[0152]** Um das sich ergebende linearisierte System zu stabilisieren, wird eine Fehlerrückführung zwischen der Bezugstrajektorie und den Ableitungen der Ausgabe  $y^*$  abgeleitet.

5

$$u_i = \frac{-L'_{f_i} \dot{h}_i(x_i) + v_i - \sum_{i=0}^{r-1} k_{i,i} \left[ L'_{L_i} \dot{h}_i(x_i) - y_{i,ref}^{(i)} \right]}{L_{g_i} L_{f_i}^{-1} \dot{h}_i(x_i)} \quad (14)$$

[0153] Die Rückführungsverstärkungen  $k_{i,i}$  werden durch die Polplatzierungstechnik erhalten. Figur 10 zeigt den sich ergebenden Aufbau des linearisierten und stabilisierten Systems.

10 [0154] Das Nachführungssteuergerät beruht auf der vereinfachten Lastpendelung ODE (8) und nicht auf der Lastpendelung ODE (1). Ferner wird für die Steuergerätauslegung die fiktive Ausgabe  $y_i^*$  verwendet. Die resultierende interne Dynamik ist dabei in der noch nicht veröffentlichten DE 10 2006 048 988 gezeigt, deren Inhalt einen Bestandteil der vorliegenden Anmeldung darstellt.

15

### 3. Bahnplanung / Trajektoriengenerierung

#### A. Formulierung des Optimalsteuerungsproblems

20 [0155] Das Problem der Trajektoriengenerierung wird als beschränktes Optimalsteuerungsproblem der offenen Kette für das linearisierte System mit Zustandsrückführung formuliert. Aufgrund der relevanten Berechnungszeit für die Lösung des Optimalsteuerungsproblems wird die Modellprädiktive Trajektoriengenerierung mit einer nicht zu vernachlässigbaren Abtastzeit ausgeführt. Ebenfalls wird durch das numerische Lösungsverfahren selbst eine Diskretisierung der Zeitachse eingeführt. Der Einfachheit halber wird allerdings das Optimalsteuerungsproblem fortlaufend in kontinuierlicher Zeit dargestellt.

25 Die Modellgleichungen sind gegeben durch:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{lin} &= A_{lin}x_{lin} + b_{lin}u_{lin}, \quad x_{lin}(t_0) = x_{lin,0} \\ 30 \quad y_{lin} &= C_{lin}x_{lin} \end{aligned} \quad (15)$$

35 [0156] Die Zustandvariablen  $x_{lin}$  sind die Zustände der Integratorkette, welche sich aus dem linearisierten System, bestehend aus Flachheitsbasiertem Regler (Gleichung (14)) und nichtlinearem System (Gleichung (6)), ergibt, und den Zuständen der Integratorkette für die Referenztrajektorie. Zusätzliche Zustände werden eingeführt, um einen glatten Eingang  $v$  zu erhalten. Der Anfangszustand  $x_{lin,0}$  wird aus den Zuständen dieser Integratoren, dem aktuellen Systemausgang und dessen Ableitungen hergeleitet. Die Ausgänge  $y_{lin}$  des linearen Systems (Gleichung (15)) sind Variablen, die dem flachen Ausgang  $y^*$  (Gleichung (12)) und dessen erste und zweite Ableitung entsprechen. Diese Variablen sind die Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung der Last in radialer Richtung.

40 Das Gütefunktional

$$J_c = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \left( (y_{lin} - w)^T Q (y_{lin} - w) + r \dot{u}_{lin}^2 \right) dt \quad (16)$$

45 berücksichtigt zum einen die quadratische Abweichung der prognostizierten Ausgänge  $y_{lin}$  von deren Referenzprognose  $w(t)$  und zum anderen die quadratische Änderung der Eingangsgröße  $u_{lin}$ . Der Optimierungshorizont  $t_f - t_0$ , die symmetrische, positiv semi-definiten Wichtungsmatrix  $Q$  und der Wichtungskoeffizient  $r > 0$  sind wesentliche Einstellungsparameter für die Modellprädiktive Trajektoriengenerierung.

50 Der Optimierungshorizont  $t_f - t_0$  sollte das wesentliche dynamische Verhalten des Prozesses/Systems erfassen. Dieses ist definiert durch die Periodendauer des Lastpendelns (bis 18 Sekunden für den betrachteten Kran). Versuche zeigen, dass 10 Sekunden für den Optimierungshorizont ausreichen.

[0157] Die Referenzprognose  $w(t)$  für die Lastposition, -geschwindigkeit und -beschleunigung wird aus den Handhebelsignalen des Kranfahrers (Sollgeschwindigkeiten) generiert. Die Prädiktion berücksichtigt Geschwindigkeitsreduzierungen, wenn sich die Last den Grenzen des Arbeitsbereiches nähert.

55 Die Modellprädiktive Trajektoriengenerierung berücksichtigt Restriktionen für die Prozessvariablen als Beschränkungen des Optimalsteuerungsproblems.

$$\begin{aligned} u_{lin,min} &\leq u_{lin} \leq u_{lin,max} \\ y_{lin,min} &\leq y_{lin} \leq y_{lin,max} \end{aligned} \quad (17)$$

5

**[0158]** Beschränkungen der Änderung des Eingangs werden verwendet, um hochfrequente Anregungen des Systems zu vermeiden.

10

$$\dot{u}_{lin,min} \leq \dot{u}_{lin} \leq \dot{u}_{lin,max} \quad (18)$$

**[0159]** Damit müssen die Änderungsraten  $\dot{u}_{lin}$  als Stellgrößen bei der Formulierung des Optimalsteuerungsproblems berücksichtigt werden.

Die Generierung der Referenztrajektorien führt zu einem äußeren Regelkreis (Figur (10)). Somit sind die Ergebnisse der Stabilitätsbetrachtungen von Modellprädiktiven Regelungen anwendbar. Bedingungen für die gesuchte Stabilität des geschlossenen Regelkreises unter Nominalbedingungen benötigen im Normalfall stabilisierende Beschränkungen der Zustände am Ende des Optimierungshorizontes zusammen mit einer passenden Auswertung des Endzustandes.

Für eine "zero-state terminal constraint" müsste man feste Endwerte, die von den stationären Zuständen in Verbindung mit den Referenzeingängen abhängen, für die nicht zu integrierenden Zustände einführen.

$$x_{lin}(t_f) = x_{lin,f}(w(t_f)) \quad (19)$$

**[0160]** Beschränkungen von diesem Typ (Gleichung (19)) verursachen wahrscheinlich unlösbare Optimalsteuerungsprobleme unter nicht nominalen Bedingungen, wie Modellunsicherheiten oder Messrauschen, besonders für kurze Optimierungshorizonte. Somit wird die Gleichungsbeschränkung (19) als quadratischer Strafterm mit symmetrischer, positiv definiter Wichtungsmatrix  $\bar{Q}$  approximiert, was das ursprüngliche Gütefunktional folgendermaßen erweitert:

$$J = J_c + \frac{1}{2} (x_{lin}(t_f) - x_{lin,f})^T \bar{Q} (x_{lin}(t_f) - x_{lin,f}) \quad (20)$$

## B. Numerische Lösung des Optimalsteuerungsproblems

**[0161]** Das zeitkontinuierliche, beschränkte, linear-quadratische Optimalsteuerungsproblem (15)-(20) wird diskretisiert.

$$\begin{aligned} t_0 &= t^0 \leq t^1 \leq \dots \leq t^K = t_f \\ x_{lin}^{k+1} &= A^k x_{lin}^k + b^k u_{lin}^k, \quad k = 0, \dots, K-1 \\ x_{lin}^0 &= x_{lin,0} \\ y_{lin}^k &= C^k x_{lin}^k, \quad k = 0, \dots, K \end{aligned} \quad (21)$$

**[0162]** Wobei  $x_{lin}^k$ ,  $u^k$  und  $y_{lin}^k$  die Werte der entsprechenden Variablen in den Diskretisierungspunkten  $t^k$  bezeichnen. Die Matrizen und Vektoren  $A^k$ ,  $b^k$  und  $C^k$  erhält man durch Lösen der Transitionsgleichung in  $[t^k, t^{k+1}]$  aus  $A$ ,  $b$  und  $C$ . Das Gütefunktional (Gleichung (20)) und die Beschränkungen (Gleichungen (17)(18)) werden ebenfalls entsprechend diskretisiert.

Damit wird das zeitkontinuierliche Optimalsteuerungsproblem als eine Aufgabe der quadratischen Programmierung für

5 die Zustandvariablen und Stellgrößen  $\begin{bmatrix} x_{lin}^k, u_{lin}^k \end{bmatrix}$  des diskreten Problems approximiert und kann mit einem üblichen "Interior Point" Algorithmus gelöst werden. In dem Algorithmus wird die Struktur der diskreten Modellgleichungen in einem RICCATI-ähnlichen Ansatz genutzt, um eine Lösung der NEWTONSCHRITT-Gleichung mit  $O(K(m^3+n^3))$  Operationen zu erhalten. D.h. der Berechnungsaufwand steigt linear mit dem Optimierungszeitraum  $K$  und kubisch mit der Anzahl der Stellgrößen( $m$ ) und Zustandsvariablen( $n$ ).

10 Nicht äquidistante Diskretisierungsschritte  $\Delta T^k = t^{k+1} - t^k$  im Prädiktionszeitraum des MPC's helfen die Dimension des Optimalsteuerungsproblems zu begrenzen. Die Darstellung zeigt, dass die Anfangsschrittweite durch den Takt der Trajektoriengenerierung bestimmt wird und sich dann innerhalb des Prädiktionszeitraumes linear vergrößert.

15 [0163] Durch die Kransteuerung mit der entsprechenden Lastpendeldämpfung, in welche Daten von den beiden den jeweiligen Seilsträngen zugeordneten Sensoreinheiten eingehen und welche wie oben beschrieben aufgebaut ist, lässt sich eine schnelle und sichere Dämpfung der sphärischen Pendelschwingungen der Last mit nur minimalen Pendelaus-  
schlägen erreichen. Dies zeigen die folgenden Messergebnisse, welche mit einer Seillänge von 57 m und einer Last von 3,5 t durchgeführt wurden.

20 [0164] Figur 11 zeigt dabei die Geschwindigkeit der Last, einmal wie sie vom Kranführer mittels eines Eingabeelementes vorgegeben wird, und einmal wie sie über das Bahnplanungsmodul mittels Optimalsteuerung als Soll-Trajektorie vorgegeben wird. Hierbei werden die Beschränkungen des Systems berücksichtigt, so dass die obere Grenze für die Geschwindigkeit der Last von der radialen Lastposition abhängt, da die Geometrie des Auslegers sowie des Wippzyllinders bei unterschiedlichen Auslegerstellungen unterschiedliche Maximalgeschwindigkeiten zulassen. Für die Maximal-Beschleunigung ist dagegen eine konstante Beschränkung vorgegeben.

25 [0165] Figur 12a vergleicht nun diese Soll-Trajektorie mit der gemessenen Geschwindigkeit der Last. Die Regelung folgt dabei der Soll-Trajektorie, wobei das Bahnplanungsmodul Unsicherheiten im Modell durch eine modellbasierte Bahnplanung kompensiert. Hieraus ergibt sich eine schnelle und gedämpfte Bewegung der Last ohne nennenswerte Überschwingungen. Figur 12b zeigt dann die entsprechende Trajektorie der Lastposition.

30 [0166] Die Regelung dämpft die sphärischen Schwingungen der Last durch entsprechende kompensierende Bewegungen des Auslegers während und am Ende jedes Manövers. Dies ist in Figur 13 gezeigt, aus welcher sich die von der Auslegerspitze ausgeführten Gegenbewegungen ergeben, welche der Schwingung der Last entgegenwirken. Hierdurch kann der Seilwinkel auf weniger als 3° begrenzt werden.

35 [0167] Die für die Online-Berechnung des Optimallösungsproblems in dem Bahnplanungsmodul benötigte Rechenzeit ist dabei in Figur 14 gezeigt. Hierbei ergeben sich Rechenzeiten zwischen 54 msec und 66 msec. Entscheidend für dieses extrem kurze Ansprechen der Bahnplanung auf Vorgaben des Kranführers ist dabei zum einen die schnelle Lösbarkeit durch die nachgeschaltete lineare Strecke aus nicht-linearer Regelung und nicht-linearem Kransystem, sowie die innerhalb des Prädiktionszeitraums steigende Länge der Intervalle zwischen den Stützpunkten der Prädiktion.

## Patentansprüche

1. Kran mit einem Ausleger (1), einer Kransteuerung und mindestens einem Seil (20) zum Heben einer Last (10), wobei in der Kransteuerung mindestens eine Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung vorgesehen ist, wobei die mindestens eine Sensoreinheit an einem Seilvergelenk (35) angeordnet ist und am Seil (20) geführt wird,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass das Seilvergelenk (35) am Auslegerkopf (30) des Auslegers (1) durch kardanische Verbindungen (32) unter einer Hauptseilrolle (31) angebracht ist und am Seil geführt ist, wobei eine Überlastsicherung vorgesehen ist, welche bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs (70) für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung und/oder für die horizontale Abweichung der Last (10) automatisch in die Steuerung des Kranes eingreift, um eine Überlast des Kranes zu verhindern, wobei die Überlastsicherung die Bewegung des Kranes und/oder des Seils (20) zumindest teilweise freigibt.
2. Kran nach Anspruch 1, wobei neben der Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels (70) relativ zur Gravitationskraftrichtung mindestens eine Gyroskopeneinheit zur Messung einer Seilwinkelgeschwindigkeit vorgesehen ist.
3. Kran nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last (10) aufweist, und mindestens zwei Sensoreinheiten zur Bestimmung der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung vorgesehen sind, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind.
4. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der

Last (10) aufweist, und mindestens zwei Gyroskopeinheiten zur Messung der Seilwinkelgeschwindigkeiten vorgesehen sind, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind.

5. Kran nach Anspruch 4, wobei die Gyroskopeinheit an dem Seilverlegeelement angeordnet ist.
6. Kran nach Anspruch 5, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last (10) aufweist, und mindestens zwei Seilverlegeelemente vorgesehen sind, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind.
10. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Anzeigeeinheit zur Anzeige einer sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebenden Abweichung vorgesehen ist, insbesondere zur Anzeige eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung und/oder einer daraus resultierenden horizontalen Abweichung der Last (10).
15. Kran nach Anspruch 7, wobei die Anzeige eine lotrechte Seilstellung optisch und/oder akustisch anzeigt.
9. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Warneinrichtung vorgesehen ist, welche den Kranführer bei Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs (70) für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung und/oder für die horizontale Abweichung der Last (10), warnt, insbesondere durch ein optisches und/oder akustisches Signal.
20. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Kranssteuerung, insbesondere die Warneinrichtung und/oder die Überlastsicherung, zusätzlich Daten eines Seilkraftsensors auswertet
11. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last (10) aufweist, deren Seilfeldverdrehung bestimmt wird.
25. Kran nach Anspruch 11, wobei eine Anzeigeeinheit zur Anzeige der Seilfeldverdrehung vorgesehen ist.
13. Kran nach Anspruch 11, wobei eine Warneinrichtung vorgesehen ist, welche den Kranführer bei Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seilfeldverdrehung warnt, insbesondere durch ein optisches und/oder akustisches Signal.
30. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Verdrehungssicherung vorgesehen ist, welche bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seilfeldverdrehung automatisch in die Steuerung des Kranes eingreift.
35. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, welche eine automatische Lastpendeldämpfung aufweist.
16. Kran nach Anspruch 15, wobei die Lastpendeldämpfung auf den Daten mindestens einer Gyroskopeinheit beruht.
40. Kran nach Anspruch 15, wobei die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung zur Überwachung und/oder Kalibrierung der Gyroskopeinheit verwendet wird.
18. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen ist, durch welche das Seil (20) lotrecht über der Last (10) ausgerichtet wird.
45. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen ist, durch welche eine Seilfeldverdrehung ausgeglichen wird.
20. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, mit einem Speicher zur Speicherung von Lastdaten auf Grundlage des Seilwinkels zur Lebensdauerberechnung und/oder zur Dokumentation.
50. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten von einer ersten und einer zweiten Beobachterschaltung ausgewertet werden.
21. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Kompensation der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten bezüglich des Einbauwinkels der Sensoreinheiten und des Drehwinkels des Kranes erfolgt.

23. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei durch einen Vergleich der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten Sensorfehler erkannt werden.
- 5 24. Kran nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei in der Lastpendeldämpfung durch eine Mittelwertbildung aus den von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkeln und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten die Torsionsschwingung des Seilfeldes berücksichtigt wird.

**Claims**

- 10 1. A crane with a boom (1), a crane control and at least one cable (20) for lifting a load (10), wherein in the crane control at least one sensor unit is provided for determining a cable angle relative to the direction of gravitational force, wherein the at least one sensor unit is arranged on a cable follower (35) and is guided on the cable (20), characterized in that
- 15 the cable follower (35) is mounted on the boom head (30) of the boom (1) by cardan joints (32) below a first pulley (31) and guided on the cable, wherein an overload protection is provided, which automatically intervenes in the control of the crane when an admissible range of values (70) for a deviation resulting from the measured cable angle and/or for the horizontal deviation of the load (10) is exceeded, to prevent an overload of the crane, wherein the overload protection at least partly enables the movement of the crane and/or the cable (20).
- 20 2. The crane according to claim 1, wherein beside the sensor unit for determining a cable angle (70) relative to the direction of gravitational force at least one gyroscope unit is provided for measuring a cable angular velocity.
- 25 3. The crane according to claim 1 or 2, wherein the crane includes at least two strands of cables for lifting the load (10), and at least two sensor units are provided for determining the cable angles relative to the direction of gravitational force, which are associated to different strands of cables.
- 30 4. The crane according to any of the preceding claims, wherein the crane includes at least two strands of cables for lifting the load (10), and at least two gyroscope units are provided for measuring the cable angular velocities, which are associated to different strands of cables.
- 35 5. The crane according to claim 4, wherein the gyroscope unit is arranged on the cable follower.
6. The crane according to claim 5, wherein the crane includes at least two strands of cables for lifting the load (10), and at least two cable followers are provided, which are associated to different strands of cables.
- 40 7. The crane according to any of the preceding claims, wherein a display unit is provided for indicating a deviation resulting from the measured cable angle, in particular for indicating a cable angle relative to the direction of gravitational force and/or a horizontal deviation of the load (10) resulting therefrom.
8. The crane according to claim 7, wherein the display optically and/or acoustically indicates a perpendicular cable position.
- 45 9. The crane according to any of the preceding claims, wherein a warning means is provided, which warns the crane operator when an admissible range of values (70) for a deviation resulting from the measured cable angle, in particular for the cable angle relative to the direction of gravitational force and/or for the horizontal deviation of the load (10) is exceeded, in particular by an optical and/or acoustic signal.
10. The crane according to any of the preceding claims, wherein the crane control, in particular the warning means and/or the overload protection, additionally evaluates data of a cable force sensor.
- 50 11. The crane according to any of the preceding claims, wherein the crane includes at least two strands of cables for lifting the load (10), whose cable field twisting is determined.
- 55 12. The crane according to claim 11, wherein a display unit is provided for indicating the cable field twisting.
13. The crane according to claim 11, wherein a warning means is provided, which warns the crane operator when an admissible range of values for the cable field twisting is exceeded, in particular by an optical and/or acoustic signal.

14. The crane according to any of the preceding claims, wherein an antitwist protection is provided, which automatically intervenes in the control of the crane when an admissible range of values for the cable field twisting is exceeded.

5       15. The crane according to any of the preceding claims, which includes an automatic load oscillation damping.

16. The crane according to claim 15, wherein the load oscillation damping is based on the data of at least one gyroscope unit.

10      17. The crane according to claim 15, wherein the sensor unit for determining the cable angle relative to the direction of gravitational force is used for monitoring and/or calibrating the gyroscope unit.

18. The crane according to any of the preceding claims, wherein a function for automatically aligning the crane is provided, by means of which the cable (20) is perpendicularly aligned above the load (10).

15      19. The crane according to any of the preceding claims, wherein a function for automatically aligning the crane is provided, by means of which a cable field twisting is compensated.

20      20. The crane according to any of the preceding claims, comprising a memory for storing load data on the basis of the cable angle for service life calculation and/or for documentation.

21. The crane according to any of the preceding claims, wherein the data measured by the first and the second sensor unit are evaluated by a first and a second observer circuit.

25      22. The crane according to any of the preceding claims, wherein a compensation of the data measured by the first and the second sensor unit is effected with respect to the mounting angle of the sensor units and the slewing angle of the crane.

30      23. The crane according to any of the preceding claims, wherein sensor errors are detected by a comparison of the data measured by the first and the second sensor unit.

35      24. The crane according to any of the preceding claims, wherein the torsional oscillation of the cable field is considered in the load oscillation damping by forming an average from the cable angles and/or cable angular velocities determined by the first and the second sensor unit.

## Revendications

1. Grue comprenant une flèche (1), une commande de grue et au moins un câble (20) destiné au levage d'une charge (10), au moins une unité de capteur destinée à déterminer un angle de câble par rapport à la direction de la force gravitationnelle étant prévue dans la commande de grue et l'au moins une unité de capteur étant disposée sur un élément de suivi de câble (35) et guidée sur le câble (20),

### caractérisée en ce que

l'élément de suivi de câble (35) est relié avec la tête de flèche (30) du flèche (1) par le biais des liaisons de type Cardan (32) en dessous d'une poulie principale (31) et guidé sur le câble, une sûreté contre la surcharge étant prévue, laquelle intervient automatiquement dans la commande de la grue lors d'un dépassement d'une plage de valeurs (70) admissible pour un écart résultant de l'angle de câble mesuré et/ou pour l'écart horizontal de la charge (10), pour empêcher une surcharge de la grue, dans laquelle la sûreté contre la surcharge libère le mouvement de la grue et/ou du câble (20) au moins en partie.

50     2. Grue selon la revendication 1, dans laquelle, outre l'unité de capteur destinée à déterminer un angle de câble (70) par rapport à la direction de la force gravitationnelle, au moins une unité de gyroscope est prévue pour mesurer une vitesse angulaire de câble.

55     3. Grue selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la grue comporte au moins deux brins de câble destinés au levage de la charge (10), et au moins deux unités de capteur destinées à déterminer les angles de câble par rapport à la direction de la force gravitationnelle sont prévues, lesquelles sont associées à différents brins de câble.

4. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la grue comporte au moins deux brins de câble

destinés au levage de la charge (10), et au moins deux unités de gyroscope sont prévues pour mesurer les vitesses angulaires de câble, lesquelles sont associées à différents brins de câble.

- 5. Grue selon la revendication 4, dans laquelle l'unité de gyroscope est disposées sur l'élément de suivi de câble.
- 6. Grue selon la revendication 5, dans laquelle la grue comporte au moins deux brins de câble destinés au levage de la charge (10), et au moins deux éléments de suivi de câble sont prévus, lesquels sont associés à différents brins de câble.
- 10. 7. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle une unité d'indication est prévue pour indiquer un écart résultant de l'angle de câble mesuré, en particulier pour indiquer un angle de câble par rapport à la direction de la force gravitationnelle et/ou un écart horizontal de la charge (10) qui en résulte.
- 15. 8. Grue selon la revendication 7, dans laquelle l'indication indique une position de câble verticale de manière optique et/ou acoustique.
- 19. 9. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle un dispositif d'avertissement est prévu, lequel avertit le grutier lors du dépassement d'une plage de valeurs (70) admissible pour un écart résultant de l'angle de câble mesuré, en particulier pour l'angle de câble par rapport à la direction de la force gravitationnelle et/ou pour l'écart horizontal de la charge (10), en particulier par un signal optique et/ou acoustique.
- 25. 10. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la commande de grue, en particulier le dispositif d'avertissement et/ou la sûreté contre la surcharge, évalue en plus des données d'un capteur d'effort de câble.
- 30. 11. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la grue comporte au moins deux brins de câble destinés au levage de la charge (10), dont la torsion de portée de câble est déterminée.
- 35. 12. Grue selon la revendication 11, dans laquelle une unité d'indication est prévue et destinée à indiquer la torsion de portée de câble.
- 40. 13. Grue selon la revendication 11, dans laquelle est prévu un dispositif d'avertissement, qui avertit le grutier lors du dépassement d'un domaine de valeurs admissible pour la torsion de portée de câble, en particulier par un signal optique et/ou acoustique.
- 45. 14. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle une sûreté contre la torsion est prévue, qui intervient automatiquement dans la commande de la grue lors d'un dépassement d'un domaine de valeurs admissible pour la torsion de portée de câble.
- 50. 15. Grue selon l'une des revendications précédentes, qui comporte un amortissement automatique des oscillations de charge.
- 55. 16. Grue selon la revendication 15, dans laquelle l'amortissement des oscillations de charge se base sur les données d'au moins une unité de gyroscope.
- 17. Grue selon la revendication 19, dans laquelle l'unité de capteur destinée à déterminer l'angle de câble par rapport à la direction de la force gravitationnelle est utilisée pour la surveillance et/ou l'étalonnage de l'unité de gyroscope.
- 18. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle une fonction d'orientation automatique de la grue est prévue, permettant d'orienter le câble (20) verticalement au-dessus de la charge (10).
- 19. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle une fonction d'orientation automatique de la grue est prévue, permettant de compenser une torsion de portée de câble.
- 20. Grue selon l'une des revendications précédentes, comprenant une mémoire destinée à stocker des données de charge sur la base de l'angle de câble à des fins de calcul de la durée de vie et/ou à des fins de documentation.
- 21. Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les données mesurées par la première et la seconde unité de capteur sont évaluées par un premier et un second circuit d'observateur d'état.

**22.** Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle une compensation des données mesurées par la première et la seconde unité de capteur concernant l'angle d'installation des unités de capteur et l'angle de rotation de la grue est effectuée.

**5 23.** Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle des défauts de capteur sont détectés par une comparaison des données mesurées par la première et la seconde unité de capteur.

**10 24.** Grue selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'oscillation de torsion de la portée de câble est prise en compte dans l'amortissement des oscillations de charge par une formation d'une moyenne des angles de câble et/ou vitesses angulaires de câble déterminés par la première et la seconde unité de capteur.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

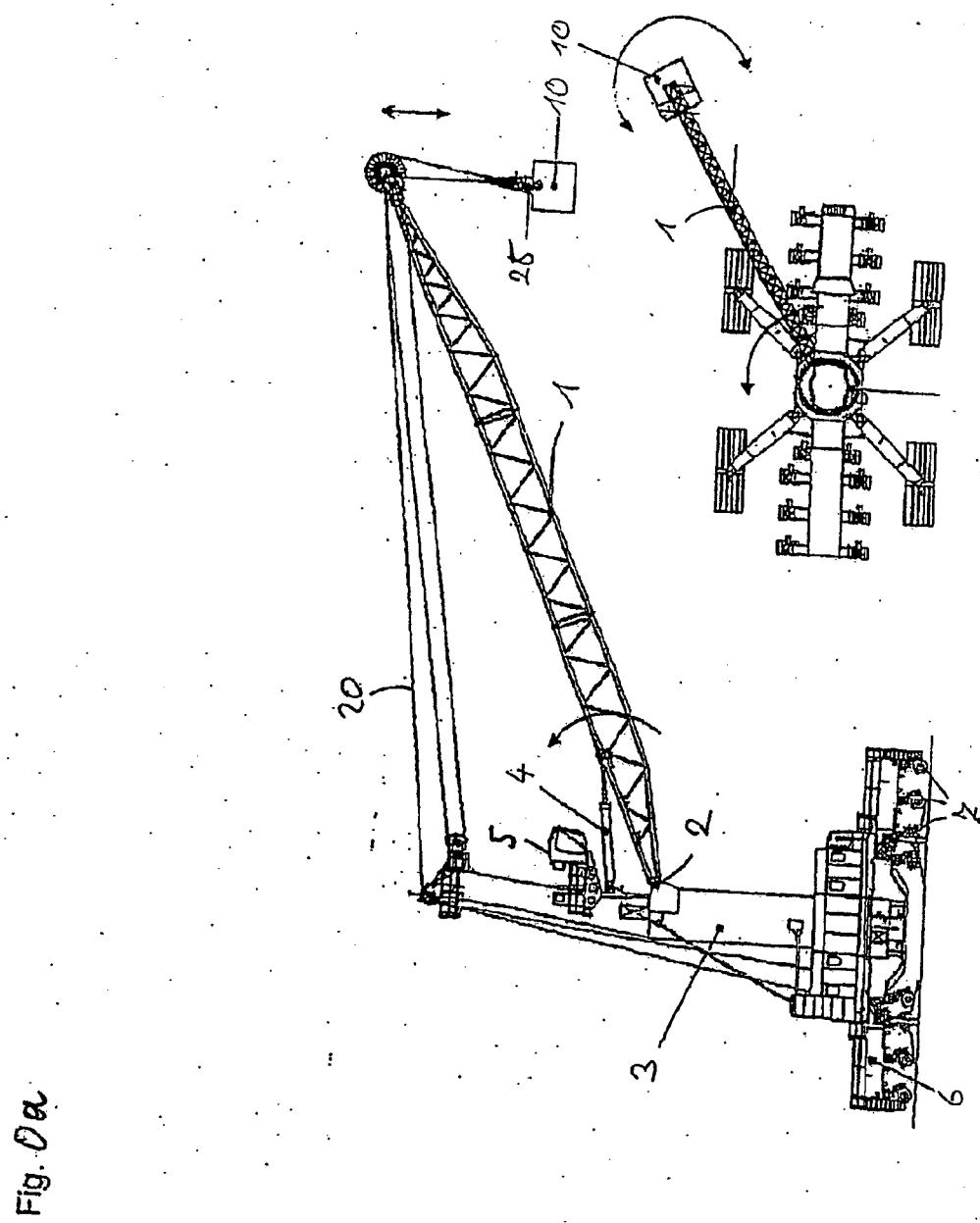
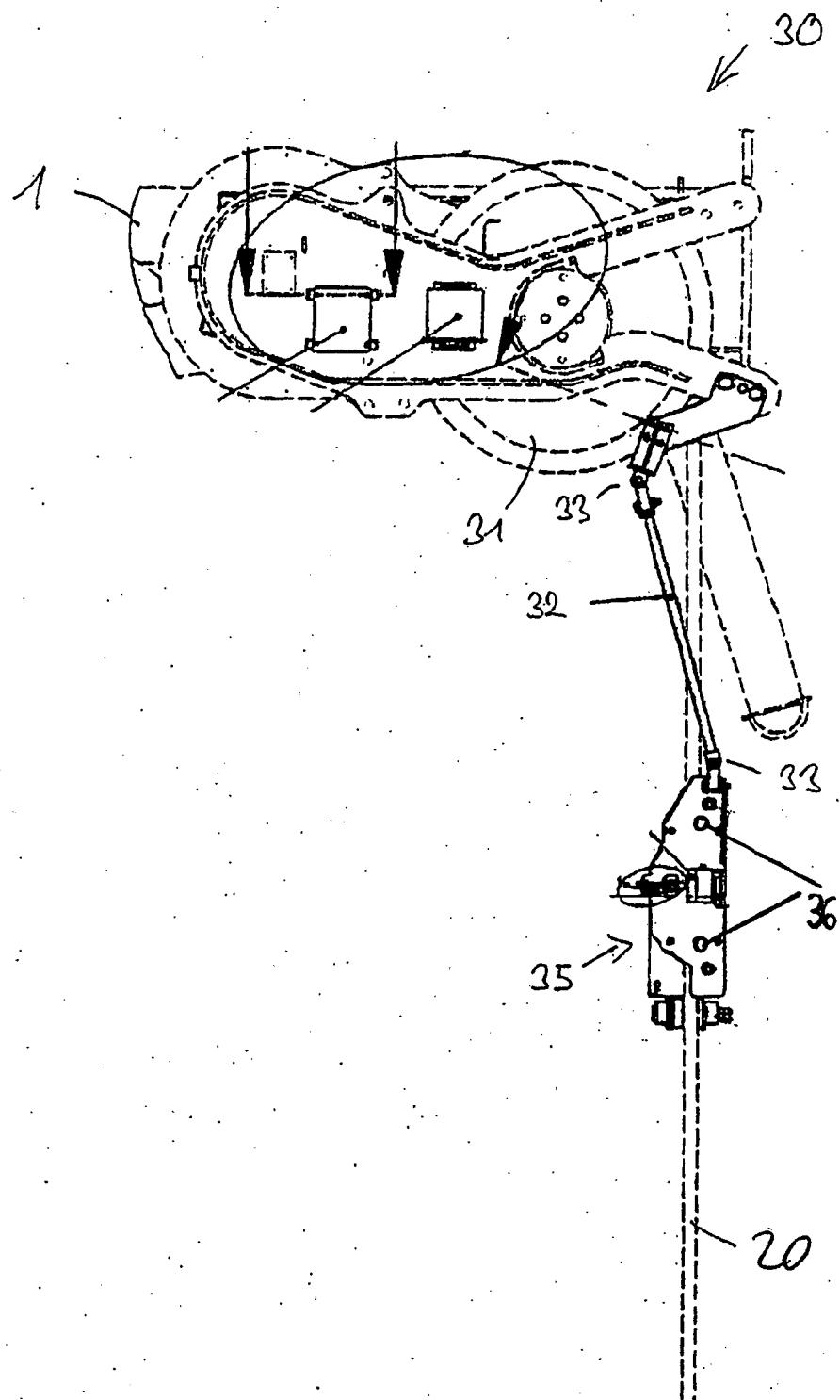


Fig. Dα

Fig. 06



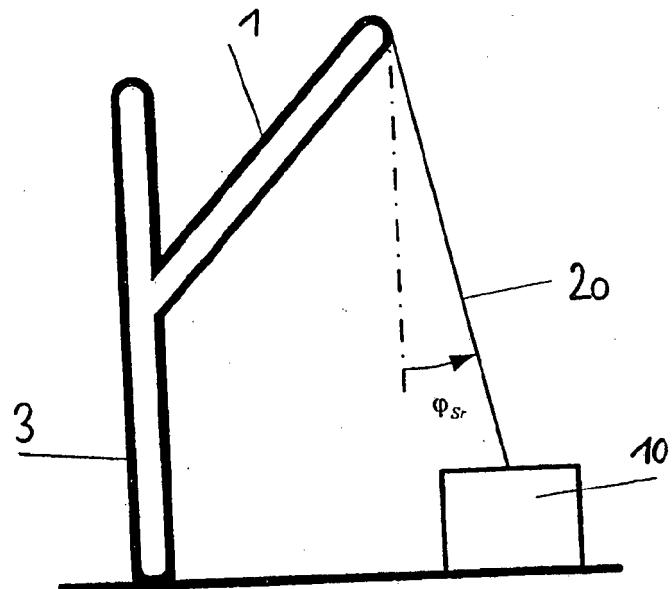


Fig. 1a

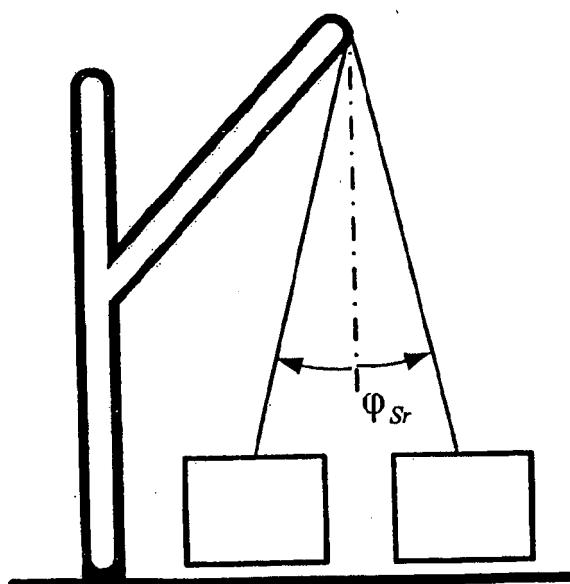


Fig. 1b

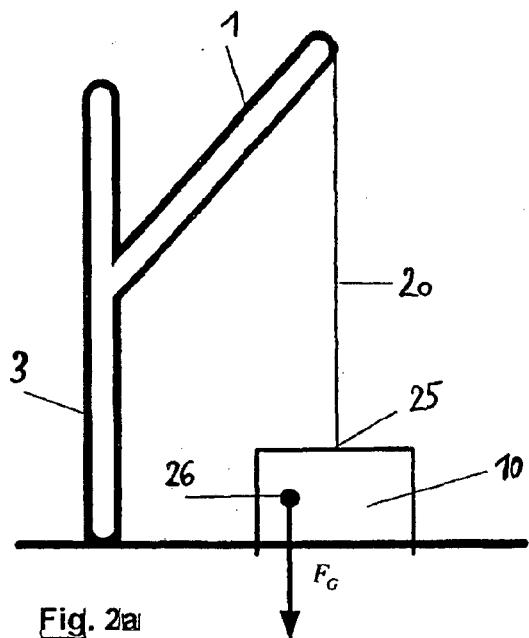


Fig. 2a

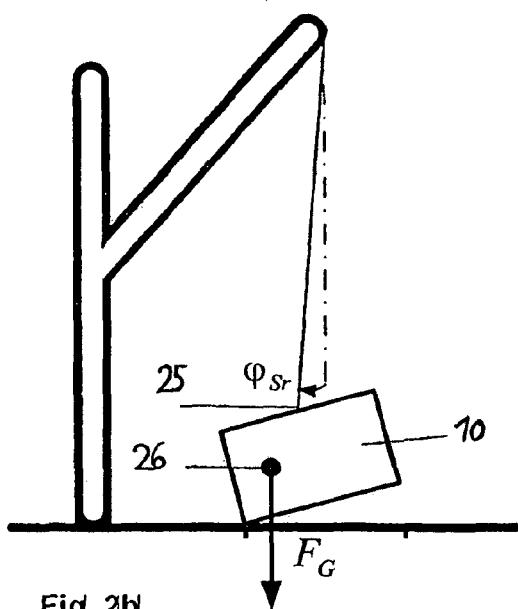


Fig. 2b

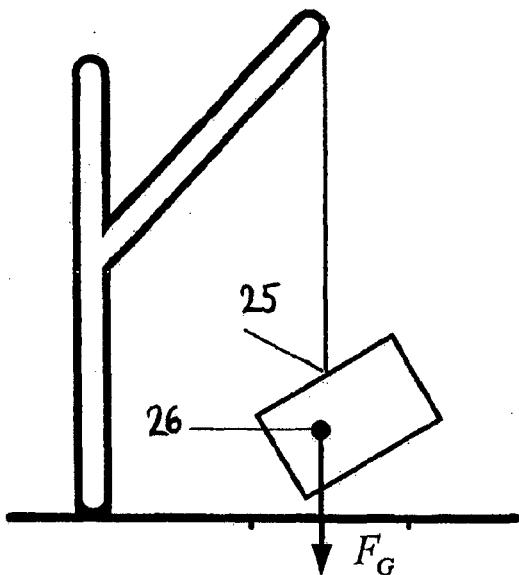


Fig. 2c

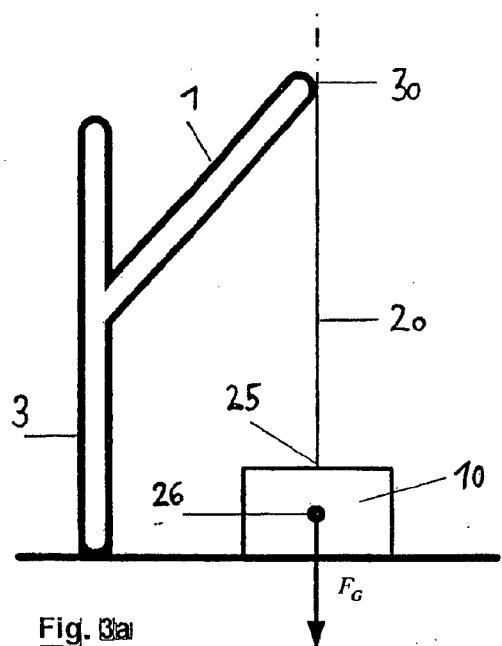


Fig. 3a

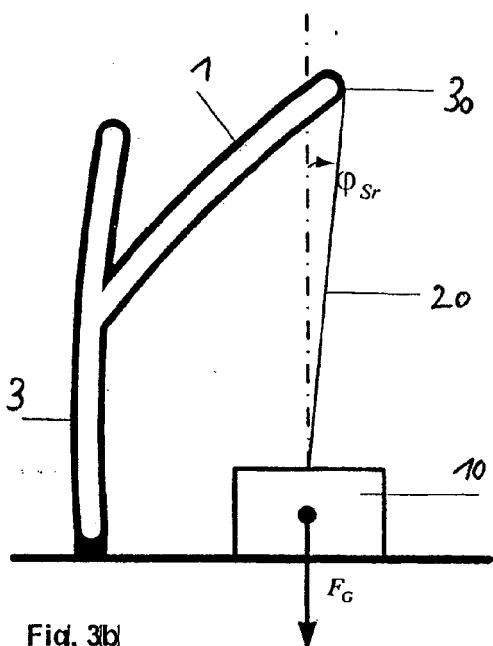


Fig. 3b

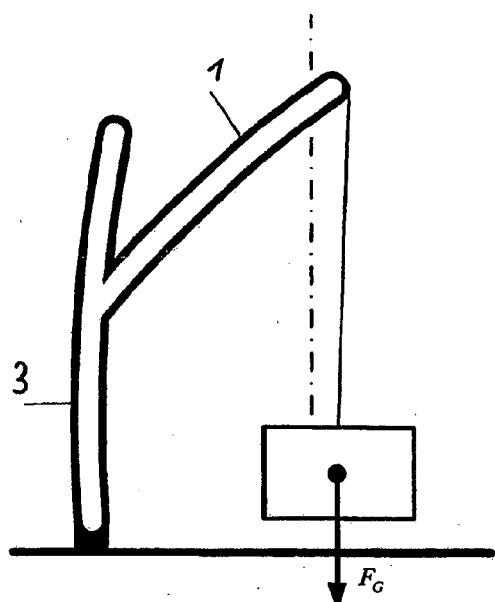


Fig. 3c

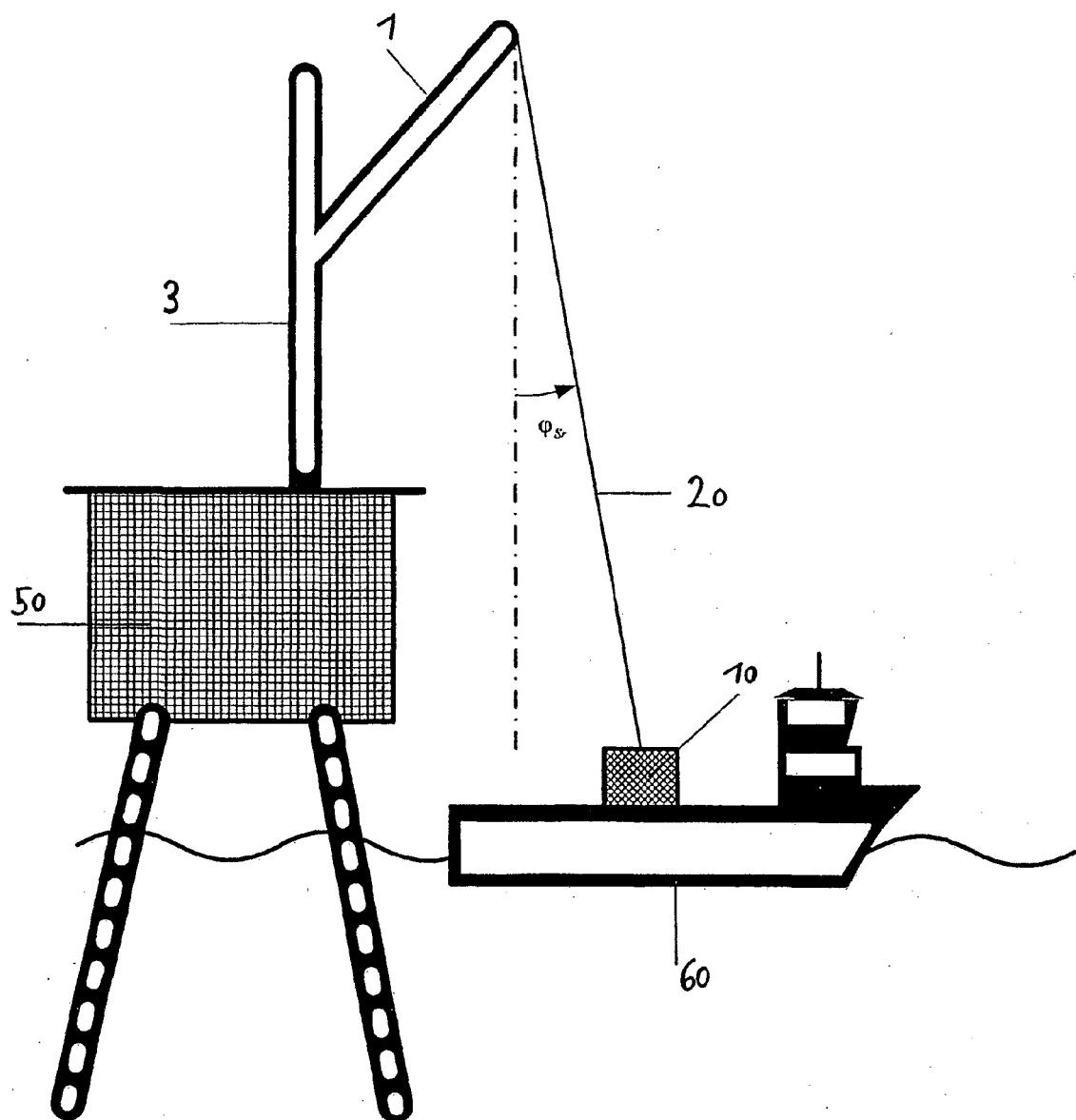


Fig. 4a

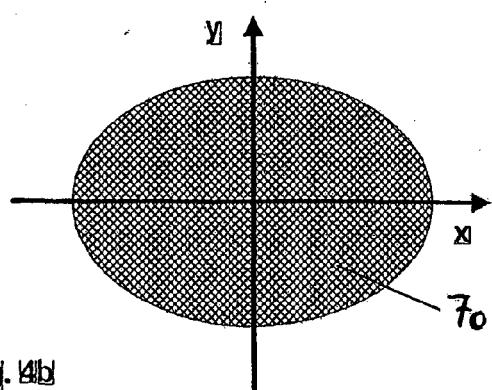


Fig. 4b

Fig. 5

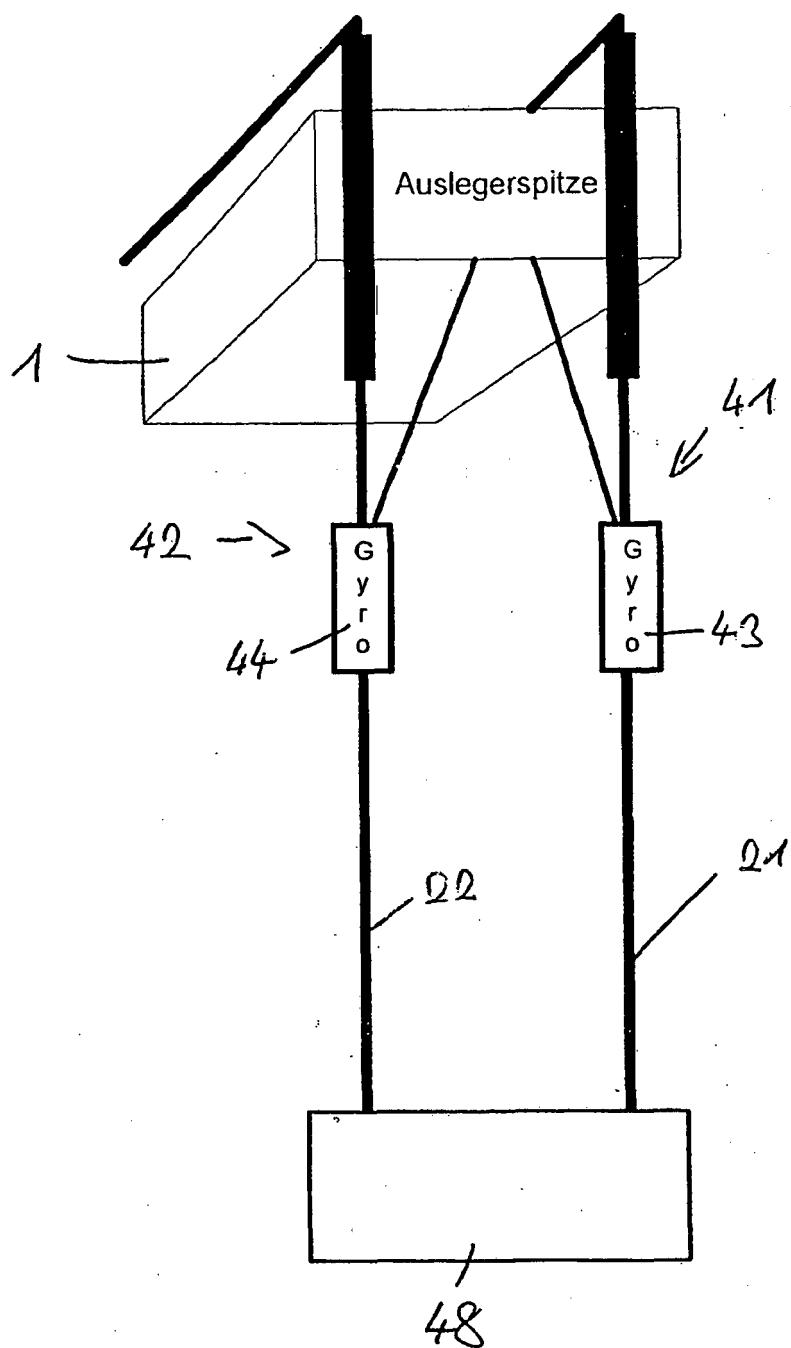


Fig. 6

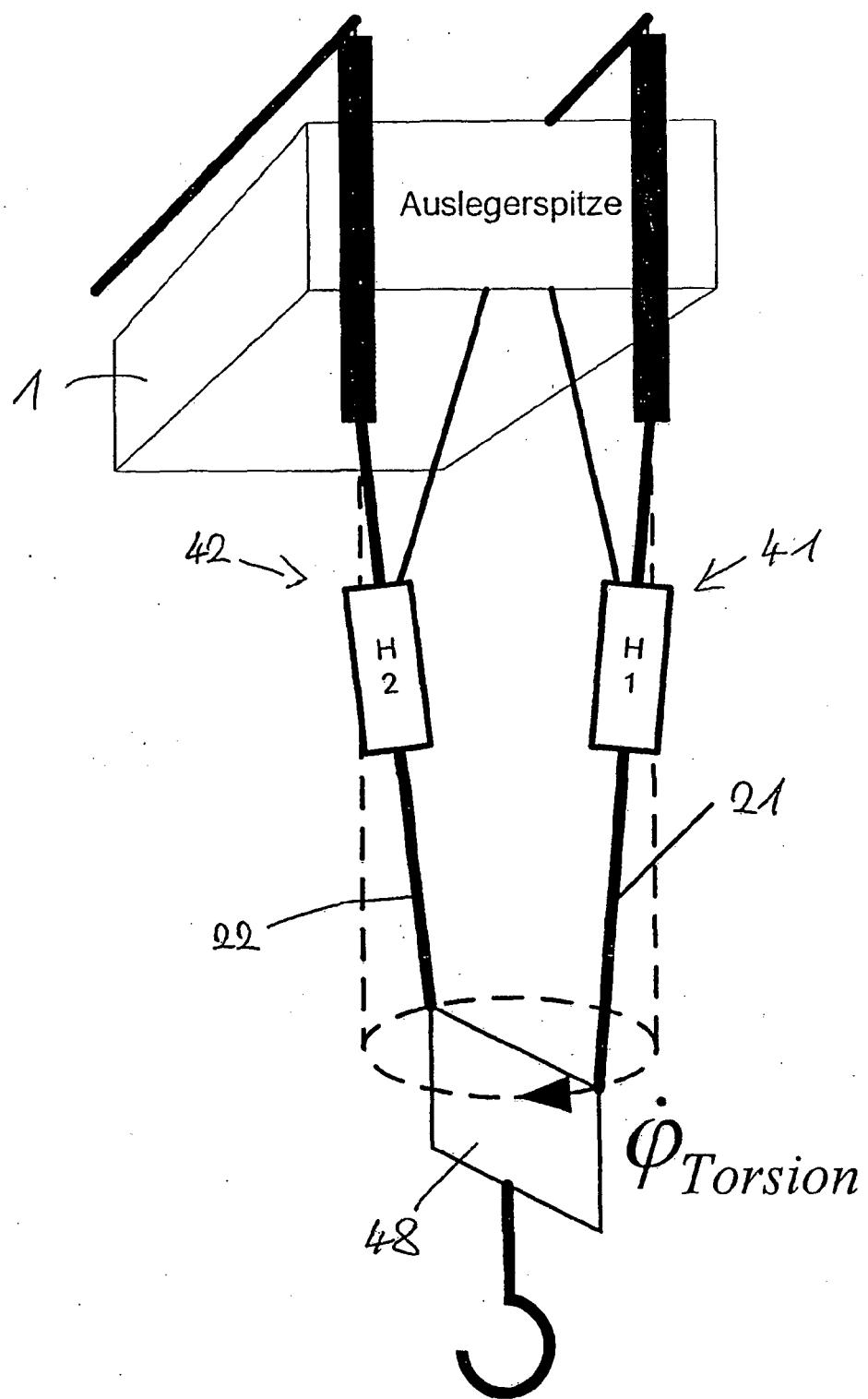


Fig. 7

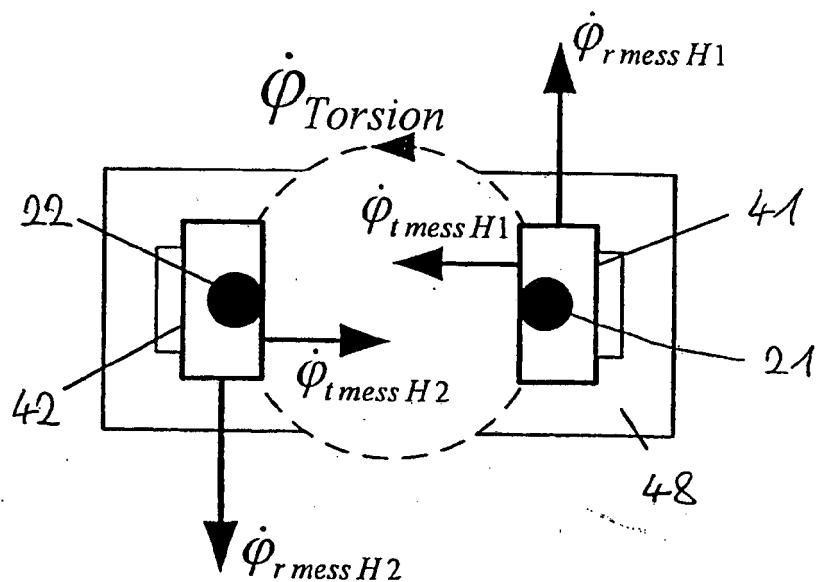


Fig. 8

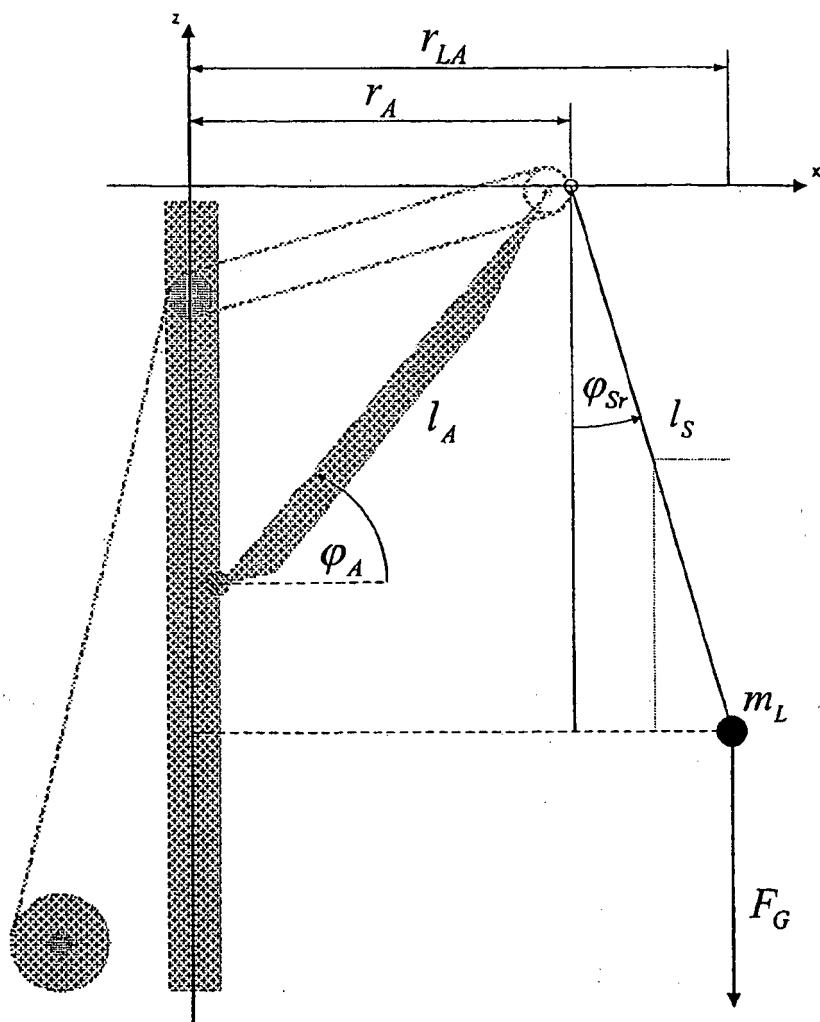


Fig. 9

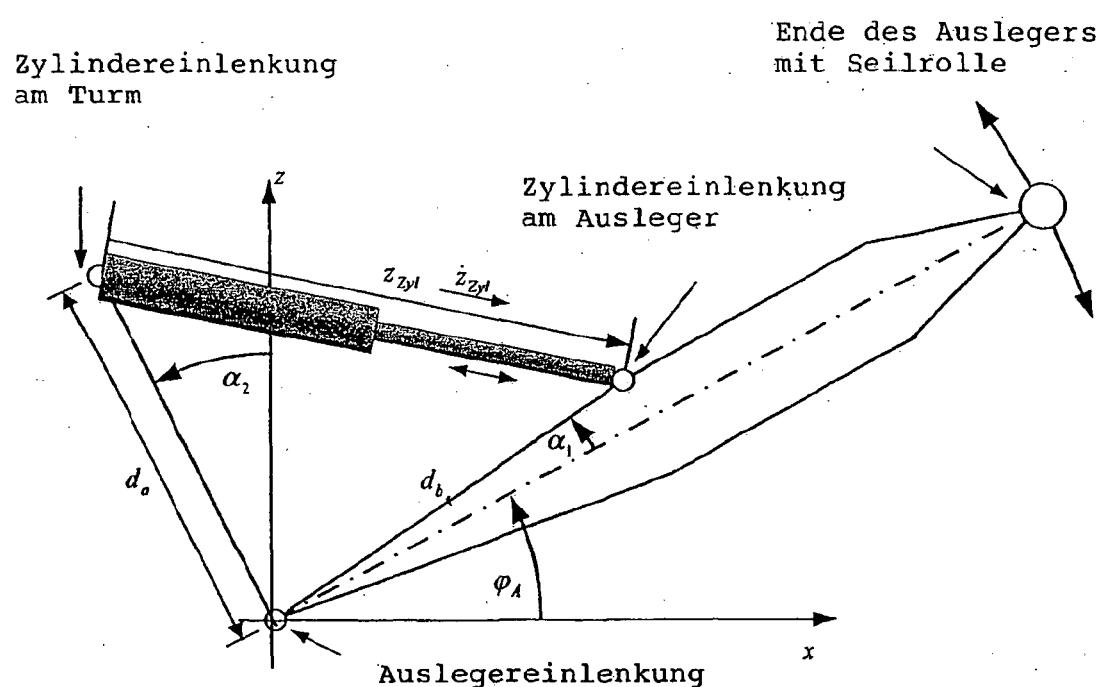


Fig. 10

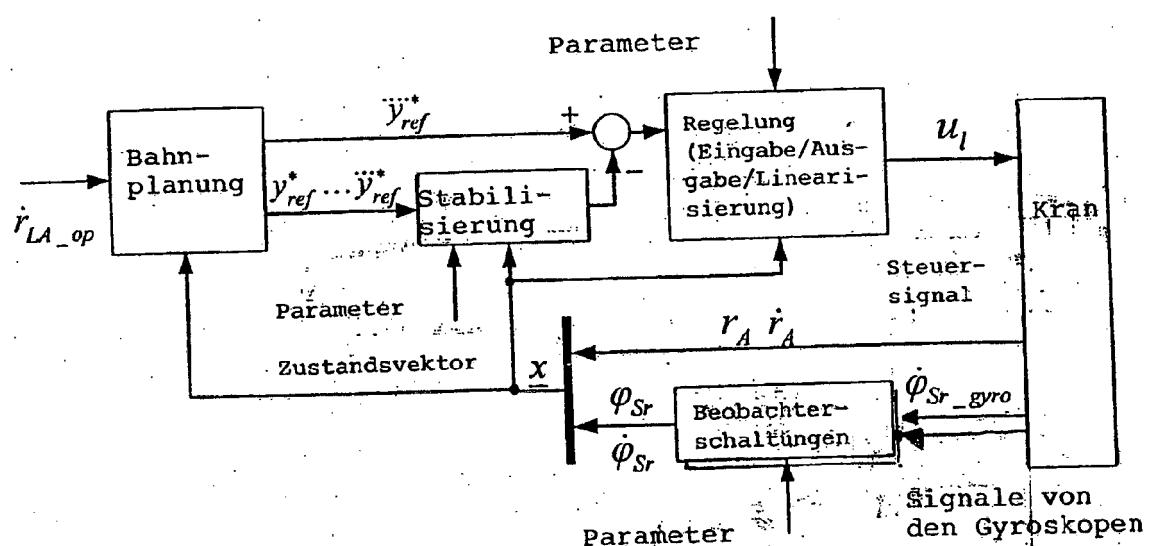
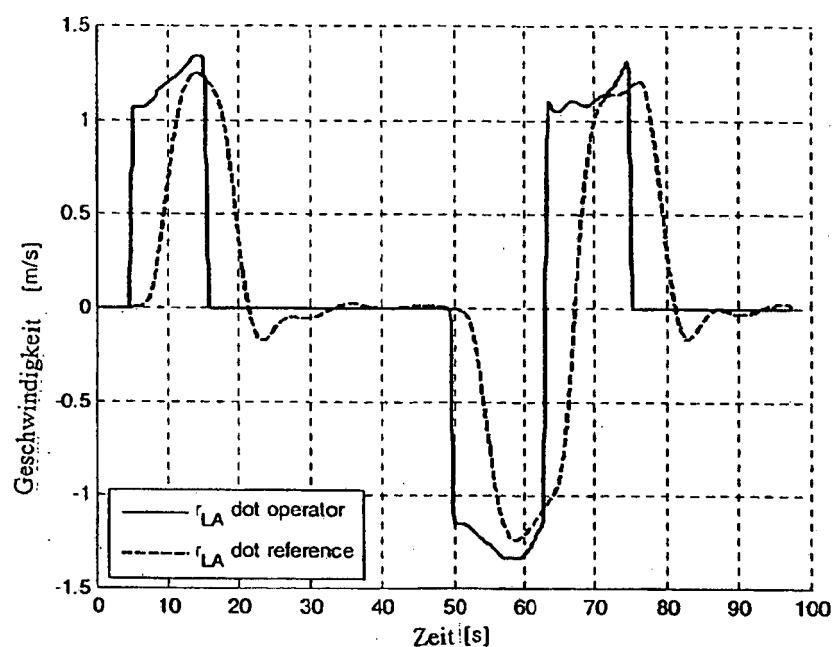


Fig. 11



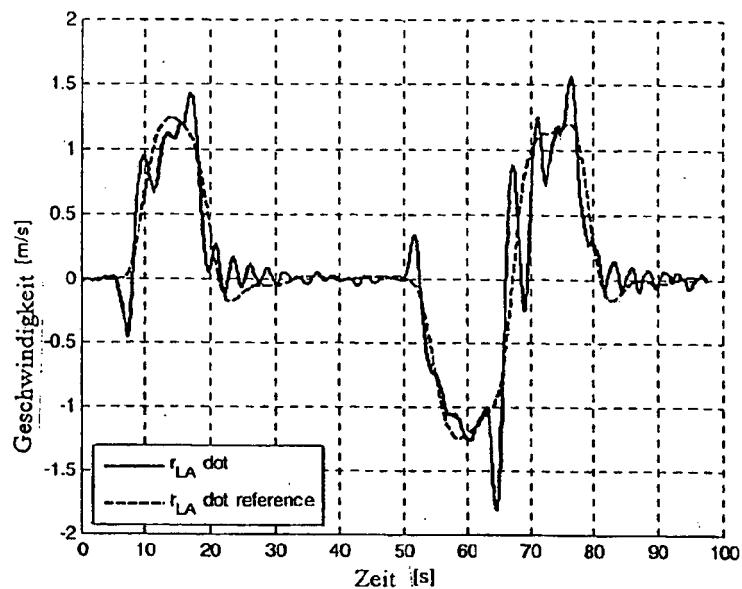
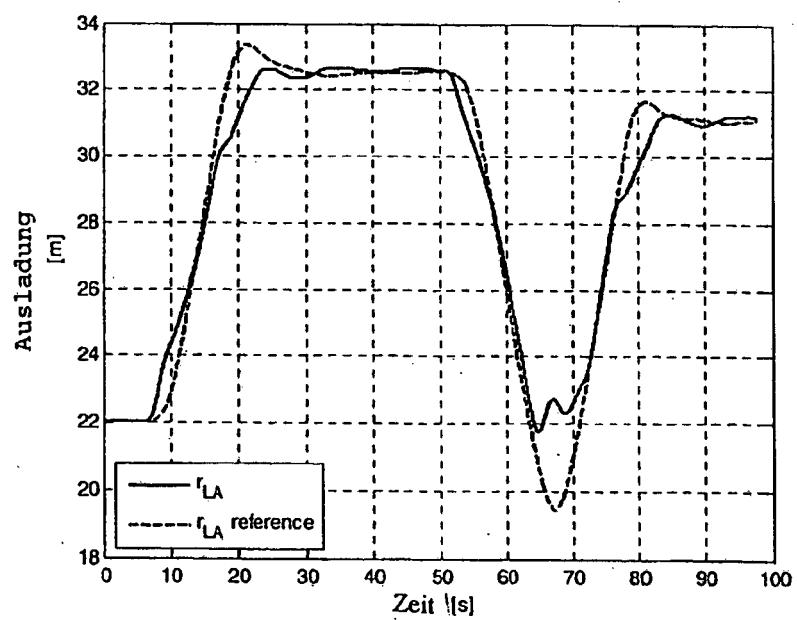
**Fig. 12a****Fig. 12 b**

Fig. 13

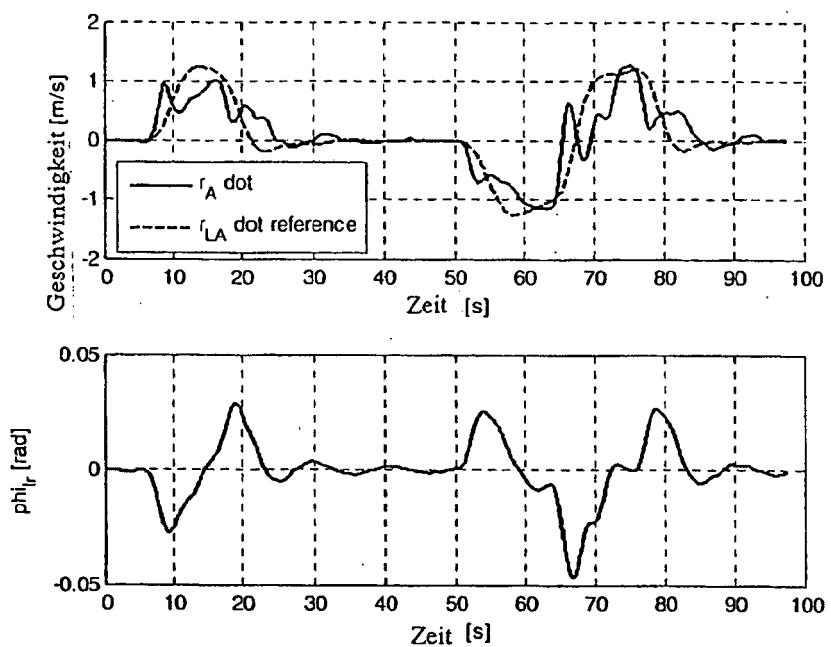
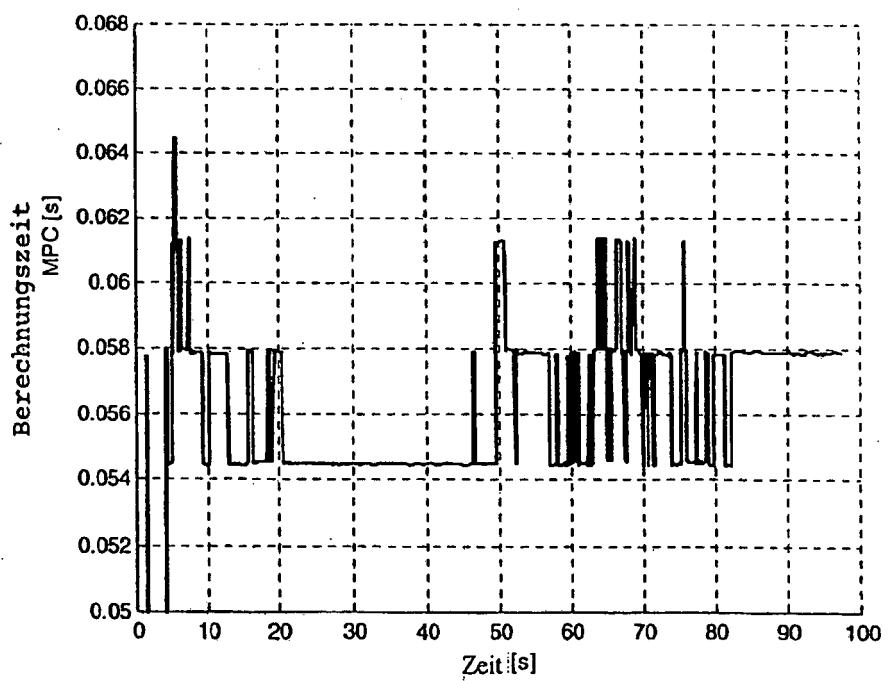


Fig. 14



**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**

- FR 2445291 [0001]
- DE 10064182 [0002] [0093]
- DE 10324692 [0002] [0093]
- DE 10029579 [0003] [0093]
- DE 102006033277 [0003] [0093]
- DE 102006048988 [0154]