



(11) EP 1 992 583 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.11.2008 Patentblatt 2008/47

(51) Int Cl.:
B66C 13/08^(2006.01) B66C 13/46^(2006.01)
B66C 13/06^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08008276.1**

(22) Anmeldetag: **30.04.2008**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

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

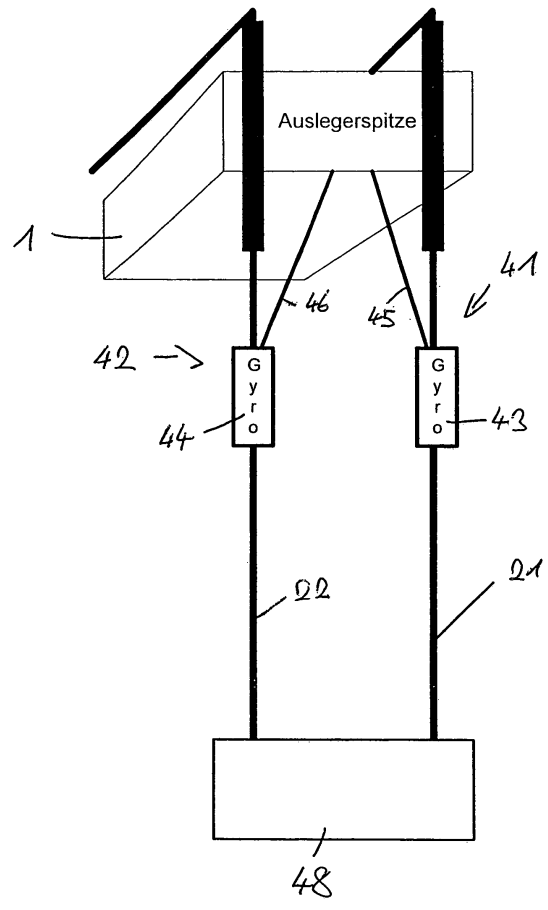
(74) Vertreter: **Laufhütte, Dieter et al Lorenz-Seidler-Gossel Widenmayerstrasse 23 80538 München (DE)**

(71) Anmelder: **Liebherr-Werk Nenzing GmbH 6710 Nenzing (AT)**

(54) **Kransteuerung, Kran und Verfahren**

(57) Die vorliegende Erfindung zeigt eine Kransteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil (20) zum Heben einer Last (10) aufweist, wobei mindestens eine Sensoreinheit (35,41-44) zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung vorgesehen ist. Weiterhin wird eine Kransteuerung zur Ansteuerung der Stellwerke eines Kranes, welcher mindestens einen ersten (21) und einen zweiten (22) Seilstrang zum Heben der Last aufweist, mit einer Lastpendeldämpfung zur Dämpfung von sphärischen Pendelschwingungen der Last gezeigt, wobei eine erste und eine zweite Sensoreinheit (43,44), welche dem ersten und dem zweiten Seilstrang zugeordnet sind, vorgesehen sind, um die jeweiligen Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten zu bestimmen, und die Lastpendeldämpfung eine Regelung aufweist, in welche die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten eingehen. Weiterhin sind ein entsprechender Kran und ein Verfahren gezeigt.

Fig. 5



EP 1 992 583 A2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kransteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung in einer weiteren Ausführung die Kransteuerung eines Kranes, welcher mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben einer Last aufweist. Die Kransteuerung steuert dabei die Stellwerke des Kranes an. 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 Hafenmobilkrane, Schiffskrane, Off-Shore-Krane, Autokrane und Raupenkrane.

[0002] Aus DE 100 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 Kranes 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 Gyroskopeinheiten 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 Meßkamarasysteme einsetzen, um den absoluten Seilwinkel zu bestimmen, sind aber insbesondere bei Auslegerkränen nicht einsetzbar. Meßkamarasysteme müssen immer direkt hinter dem Seilfixpunkt angeordnet sein, um den Seilwinkel bestimmen zu können. Bei Auslegerkränen, bei welchen das Seil beweglich über eine am Auslegerkopf angeordnete Umlenkrolle geführt ist, ist jedoch kein Seilfixpunkt 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 Kranes 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 Gravitationskrafttrichtung auf. Durch diese Sensoreinheit kann der Seilwinkel relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung 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] Vorteilhafterweise kann dabei durch die Sensoreinheit der Seilwinkel in mindestens einer Richtung relativ zur Gravitationsrichtung bestimmt werden, 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 tangentialen Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung üblicherweise nicht ausreichend genaue Daten liefern kann. Die Ausrichtung des Krans kann dann zunächst auf Grundlage der Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind. Hierdurch kann eine Seilfeldverdrehung, welche einer Rotation der Last entspricht, berücksichtigt werden. Würde hier bei mehreren Seilsträngen lediglich eine Sensoreinheit eingesetzt, würde eine Seilfeldverdrehung dagegen zu verfälschten Meßwerten führen.

[0015] Insbesondere kann durch die mindestens zwei Sensoreinheiten die Seilfeldverdrehung, und damit die Verdrehung der Last, bestimmt werden. Dies ermöglicht es, vor Beginn des Hubs auch die Seilfeldverdrehung 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 Seilfeldverdrehung z. B. auch bei der Schwingungsdämpfungssteuerung berücksichtigt werden.

[0017] Weiterhin vorteilhafterweise sind dabei die Sensoreinheit und/oder die Gyroskopeinheit an einem Seilfolgeelement angeordnet, welches insbesondere über eine kardanische Verbindung mit einem Ausleger des Krans verbunden ist und welches am Seil geführt wird. Das Seilfolgeelement 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 Seilfolgeelementes 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 Seilfolgeelemente vorgesehen, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind. Da der Haken des Krans meist an mehreren Seilsträngen hängt, können so auch Seilfeldverdrehungen 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 Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung 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 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 wegbewegt wird, durch ein teilweises Freigeben des Seils oder der Drehwerke des Krans eine Überlast vermeiden.

[0023] Weiterhin vorteilhafterweise ist eine Sicherungseinrichtung, insbesondere 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 Gravitationskrafttrichtung und/oder für die horizontale Abweichung der Last, automatisch in die Steuerung des Krans eingreift, insbesondere um eine Überlast des Krans zu verhindern. Insbesondere kann so der Seilwinkel relativ zur Gravitationskrafttrichtung in die automatische Lastmomentbegrenzung des Krans einbezogen werden. Dies erhöht die Sicherheit des Betriebs beträchtlich, da bekannte Lastmomentbegrenzungen diesen Parameter nicht berücksichtigen konnten und die durch eine übermäßige Schrägstellung des Seils auftretenden Belastungen allein über die sonstigen Meßwertgeber berücksichtigt werden mußten.

[0024] Vorteilhafterweise stoppt die Überlastsicherung dabei die Bewegung des Krans automatisch. Hierdurch wird verhindert, dass es durch eine übermäßige Schrägstellung des Seiles zu einer Überbelastung der Kranstruktur kommt. Ebenso können durch die Sicherungseinrichtung neben der Überlastung des Krans auch Unfälle vermieden werden, z.B. indem bei einem Überschreiten des zulässigen Wertebereichs ein Anheben der Last automatisch verhindert wird, um eine zu starkes Schwingen beim Freikommen der Last zu vermeiden.

[0025] Insbesondere wenn es sich um einen Off-Shore-Kran handelt, kann die Überlastsicherung die Bewegung des Krans und/oder des Seils auch zumindest teilweise freigeben, wobei die Freigabe hierbei vorteilhafterweise kontrolliert mit einer gewissen Gegenkraft erfolgt. Verhakt sich z. B. der Haken des Krans an einem Schiff, welches von dem Off-Shore-Kran weggetrieben wird, kann so z. B. das Seil oder die Drehbewegung des Krans kontrolliert freigegeben werden, um eine Überlastung des Krans zu verhindern. Die Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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.

[0026] 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 Gravitationskrafttrichtung überprüft werden, so dass insbesondere bei einem automatischen Eingreifen der Kransteuerung in die Bewegung des Krans eine zusätzliche Sicherheit durch eine Redundanz gegeben ist.

[0027] Weist der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last auf, wird vorteilhafterweise deren Seilfeldverdrehung 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 Seilfeldverdrehung 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 Last relativ zur Gravitationskrafttrichtung, so dass ein Pendeln der Last effektiv verhindert werden kann und eventuelle Seilfeldverdrehungen nicht zu falschen Werten führen.

[0028] Vorteilhafterweise umfasst die erfindungsgemäße Kransteuerung dabei eine Anzeigeeinheit zur Anzeige der Seilfeldverdrehung. So kann die Seilfeldverdrehung selbst ebenfalls auf der Anzeige angezeigt werden, so dass sie durch Ansteuerung einer entsprechenden Rotoreinheit an der Lastaufnahmevorrichtung ausgeglichen werden kann. Ebenso kann die Seilfeldverdrehung vorteilhafterweise in die Ansteuerung der Warneinrichtung sowie der Überlastsicherung eingehen.

[0029] In der erfindungsgemäßen Kransteuerung ist daher vorteilhafterweise eine Warneinrichtung vorgesehen, welche den Kranführer bei Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seilfeldverdrehung warnt, insbesondere durch ein optisches und/oder akustisches Signal. So wird der Kranführer vor einem Drehpendeln der Last beim Anheben mit einem verdrehten Seilfeld gewarnt.

[0030] In der erfindungsgemäßen Kransteuerung ist ebenso vorteilhafterweise eine Sicherungseinrichtung, insbesondere eine Verdrehsicherung, vorgesehen, welche bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seilfeldverdrehung automatisch in die Steuerung des Krans eingreift. Zum Beispiel kann dabei ein Anheben der Last bei zu starker Verdrehung des Seilfeldes automatisch verhindert werden.

[0031] Weiterhin vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße Kransteuerung eine automatische Lastpendeldämp-

fung auf. Insbesondere kann hierdurch die Bewegung des Kranes so angesteuert werden, dass bei einer Bewegung des Kranes ein Pendeln der frei schwingenden Last verhindert wird. Die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraft-richtung 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.

[0032] Vorteilhafterweise beruht die Lastpendeldämpfung dabei auf den Daten mindestens einer Gyroskopeinheit. Da mit einem Gyroskop die Seilwinkelgeschwindigkeit bestimmt werden kann, eignet es sich besonders gut zur Verwendung in einer Lastpendeldämpfung.

[0033] Vorteilhafterweise wird dabei die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraft-richtung 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.

[0034] 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 Kranführers 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 Gravitationskraft-richtung eine unkontrollierte Bewegung des Kranes zu verhindern.

[0035] Weiterhin vorteilhafterweise ist auch eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen ist, durch welche eine Seilfeldverdrehung ausgeglichen wird. Diese steuert vorteilhafterweise 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.

[0036] Weiterhin vorteilhafterweise weist 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.

[0037] Die vorliegende Erfindung umfasst 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 Gravitationskraft-richtung bestimmt wird. Durch eine solche Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraft-richtung ergeben sich die bereits bezüglich der Kransteuerung näher beschriebenen Vorteile. Vorteilhafterweise werden dabei die radialen und/oder tangentialen Seilwinkel relativ zur Gravitationskraft-richtung bestimmt.

[0038] Insbesondere wird hierdurch die Ausrichtung des Kranes vor und beim Anheben der Last erheblich vereinfacht. Vorteilhafterweise wird 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 Gravitationskraft-richtung 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.

[0039] Vorteilhafterweise wird 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 durchführt. Die lotrechte Ausrichtung der Last kann dabei z. B. durch den Kranführer anhand der erfindungsgemäßen Anzeige des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraft-richtung erfolgen. Ebenso ist es denkbar, dass diese Ausrichtung wie bereits beschrieben automatisch durch die Kransteuerung erfolgt.

[0040] Weiterhin vorteilhafterweise wird 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.

[0041] Auch während des Hubvorgangs können sich durch unterschiedliche Effekte Abweichungen des Seilwinkels von der Lotrechten ergeben. Vorteilhafterweise wird deshalb auch während dem Anheben der Last eine Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten ausgeglichen. Vorteilhafterweise wird hierzu während des Anhebens der Last der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraft-richtung bestimmt, so dass eventuell auftretende Abweichungen während dem Hubvorgang ausgeglichen werden können.

[0042] Vorteilhafterweise wird 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 Kranfahrer ausgeglichen werden kann. Ebenso ist es denkbar, ein solches Ungleichgewicht automatisch auszugleichen.

5 **[0043]** Vorteilhafterweise wird das Ungleichgewicht der Last 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
10 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.

[0044] 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.

15 **[0045]** 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.

[0046] 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
20 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.

25 **[0047]** Weiterhin vorteilhafterweise wird bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraft- richtung 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.

[0048] Insbesondere bei der Ansteuerung eines Off-Shore-Krans umfassen die Gegenmaßnahmen dagegen vorteil-
30 hafterweise 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 wegbewegt, eine Überlastung des Krans zu verhindern.

[0049] Die Gegenmaßnahmen können dabei entweder vom Kranfahrer eingeleitet werden, welcher hierzu vorteilhaft-
35 terweise durch eine Warnfunktion gewarnt wird, oder aber automatisch durch eine entsprechende automatische Überlastsicherung.

[0050] Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin eine Kransteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist, zur Durchführung eines der oben beschriebenen Verfahren. Insbesondere ist die Kran-
40 steuerung dabei vorteilhafterweise so ausgelegt, dass die oben beschriebenen Verfahren zumindest teilweise automa- tisch durchgeführt werden.

[0051] Weiterhin vorteilhafterweise umfasst die vorliegende Erfindung einen Kran, insbesondere einen Hafemobil-
45 kran, 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 Aus- leger- und/oder Drehkrane, sowie Autokrane und Raupenkrane. Offensichtlich ergeben sich für einen solchen Kran die gleichen, bereits bei der Kransteuerung beschriebenen Vorteile.

[0052] Neben der bisher beschriebenen Ausführung der vorliegenden Erfindung mit einer Sensoreinheit zur Bestim-
50 mung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraft- richtung umfasst die vorliegende Erfindung weiterhin eine Kransteue- rung, welche auch ohne eine solche Sensoreinheit bei Kranen, welche mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben der Last aufweisen, vorteilhaft zum Einsatz kommen kann.

[0053] Eine solche Kransteuerung ist dabei in Anspruch 37 gezeigt. Die erfindungsgemäße Kransteuerung dient dabei
55 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 Pen- delschwingungen der Last aufweist. Erfindungsgemäß sind nun eine erste und eine zweite Sensoreinheit vorgesehen, welche dem ersten und dem zweiten Seilstrang zugeordnet sind, um die jeweiligen Seilwinkel und/oder Seilwinkelge- schwindigkeiten des ersten und des zweiten Seilstrangs zu bestimmen. Weiterhin weist die Lastpendeldämpfung eine
Regelung auf, in welche die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkel- geschwindigkeiten eingehen.

[0054] Im Vergleich zu bekannten Anordnungen, bei welchen eine Sensoreinheit 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 Sensoreinheit weiterhin eine Messung des Seilwinkels über die zweite Sensoreinheit möglich bleibt. Ebenso ergibt sich die Möglichkeit, Sensorfehler zu erkennen. Weiterhin ist es möglich, durch Differenzbildung der Meßwerte eine Rauschreduzierung zu erreichen, sowie durch Auswertalgorithmen eine Torsionskompensation, das heißt die Berücksichtigung einer Seilfeldverdrehung bei der Bestimmung des tatsächlichen Auslenkwinkels der Last, zu implementieren.

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] Weiterhin vorteilhafterweise sind die erste und die zweite Sensoreinheit der vorliegenden Erfindung 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.

[0058] 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 erfindungsgemäßen Gyroskopeinheiten bestimmen.

[0059] 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. Seilüberschwingungen, zu unterdrücken. Die Beobachterschaltungen dienen dabei der Integration der von den Gyroskopen gemessenen Seilwinkelgeschwindigkeiten und ermöglichen eine zuverlässige Bestimmung der Seilwinkel.

[0060] Weiterhin vorteilhafterweise erfolgt erfindungsgemäß 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. Befinden 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 erfindungsgemäße Kompensation berücksichtigt.

[0061] Weiterhin vorteilhafterweise werden bei der erfindungsgemäßen 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.

[0062] 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 Seilfeldes berücksichtigt. Eine solche Seilfeldverdrehung würde bei Verwendung nur einer Sensoreinheit die zur Dämpfung der sphärischen Pendelschwingung der Last verwendete Regelung beeinflussen. Tritt nun bei der erfindungsgemäßen Kransteuerung eine Torsionsschwingung des Seilfeldes 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 erfindungsgemäß eliminiert werden.

[0063] Weiterhin vorteilhafterweise ist die Regelung der erfindungsgemäßen Kransteuerung nicht-linear. Eine solche nicht-lineare Regelung ist von besonderem Vorteil, da insbesondere bei Auslegerkranen das Gesamtsystem aus Kran, Stellwerken wie z. B. Hydrozylindern 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 erfindungsgemäß eine lineare Strecke, so dass die Ansteuerung des Systems erheblich vereinfacht wird.

[0064] 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 erfindungsgemäße 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.

5 [0065] Weiterhin vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße 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 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.

10 [0066] 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.

20 [0067] Weiterhin vorteilhafterweise werden bei dem erfindungsgemäßen 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.

25 [0068] Weiterhin vorteilhafterweise beruht die erfindungsgemäße Trajektoriengenerierung dabei auf einer Optimalsteuerung. Eine solche Optimalsteuerung lässt sich erfindungsgemäß besonders gut in Echtzeit umsetzen, da die erfindungsgemäße nicht-lineare Regelung eine besonders einfache Umsetzung des Bahnplanungsmoduls erlaubt.

30 [0069] Weiterhin vorteilhafterweise arbeitet das erfindungsgemäße 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.

35 [0070] Weiterhin vorteilhafterweise geht auch die Position und die Geschwindigkeit des Auslegerkopfes in die Regelung der Lastpendeldämpfung ein. Hierdurch ergeben sich bei der erfindungsgemäßen Kransteuerung Regelkreise sowohl für die Position und die Geschwindigkeit des Auslegerkopfes, als auch für den Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeit des Seiles.

40 [0071] Die zweite Ausführung der vorliegenden Erfindung 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 Gravitationskrafttrichtung beschrieben. Erfindungsgemäß wird dabei für beide Ausführungen unabhängig voneinander Schutz beansprucht.

45 [0072] In einem besonders vorteilhaften Ausführungsbeispiel sind jedoch beide Ausführungen der vorliegenden Erfindung kombiniert. Weiterhin vorteilhafterweise weist das erfindungsgemäße System mit zwei Sensoreinheiten dabei eines oder mehrere der Merkmale auf, welche vorher im Bezug auf die Ausführung der Erfindung mit einer Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung beschrieben wurden.

50 [0073] Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin einen Kran zum Anheben einer Last, mit Stellwerken zum Bewegen des Kranes 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. Erfindungsgemäß 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 erfindungsgemäßen Kransteuerung beschrieben wurden.

55 [0074] Weiterhin weist der erfindungsgemäße Kran dabei eine Kransteuerung auf, wie sie weiter oben beschrieben wurde.

[0075] Weiterhin vorteilhafterweise weist der erfindungsgemäße Kran als Stellwerke dabei ein Drehwerk zum Drehen

des Kranes 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.

5 [0076] Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin ein Verfahren zum Ansteuern der Stellwerke eines Kranes, welcher mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben der Last aufweist, wobei sphärische Pendelschwingungen der Last durch eine Lastpendeldämpfung gedämpft werden. Erfindungsgemäß 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 10 die Kransteuerung beschrieben wurden.

[0077] Vorteilhafterweise erfolgt dabei erfindungsgemäß eine Kompensation der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten bezüglich des Einbauwinkels der Sensoreinheiten und des Drehwinkels des Kranes. Hierdurch können Abweichungen des Einbauwinkels der Sensoreinheiten von einer exakten radialen bzw. tangentialen Ausrichtung kompensiert werden.

15 [0078] Weiterhin vorteilhafterweise wird durch einen Vergleich der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten Sensorfehler erkannt. Dabei kann durch den erfindungsgemäßen Einsatz zweier Sensoreinheiten, welche den jeweiligen Seilsträngen zugeordnet sind, die hierdurch gewonnene Redundanz ausgenutzt werden.

[0079] 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 Seilfeldes berücksichtigt. So kann Lastpendeldämpfung berücksichtigt werden, dass auch Torsionsschwingungen des Seilfeldes auftreten, welche die Daten der Sensoreinheiten beeinflussen.

20 [0080] Vorteilhafterweise erfolgt das erfindungsgemäße Verfahren dabei mit einer Kransteuerung, wie sie weiter oben beschrieben wurde.

[0081] Die vorliegende Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher dargestellt. 25 Dabei zeigen:

- Figur 0a: ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Hafenmobilkrans,
- Figur 0b: ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Seilfolge-elements der erfindungsgemäßen 30 Kransteuerung,
- Figuren 1a, 1b: die Schwingung der Last, wenn das Seil vor dem Anheben der Last nicht lotrecht ausgerichtet wurde,
- Figuren 2a - 2c: ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welchem ein Ungleichgewicht der Last ausgeglichen wird, 35
- 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-Krans mit entsprechender Auslenkung des Seiles aus der Lotrechten durch eine Bewegung eines Schiffs und
- Figur 4b: die grafische Darstellung eines zulässigen Seilwinkelbereiches.
- Figur 5: ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, bei welchem zwei Seilstränge mit jeweils zugeordneten Sensoreinheiten vorgesehen sind, 45
- Figur 6: eine Torsionsschwingung des Seilfeldes aus erstem und zweitem Seilstrang,
- Figur 7: ein Prinzipschaubild der bei einer Torsionsschwingung des Seilfeldes gemessenen Seilgeschwindigkeiten, 50
- Figur 8: eine Prinzipdarstellung des erfindungsgemäßen Kranes,
- Figur 9: eine Prinzipdarstellung des Wippwerkes des erfindungsgemäßen Kranes, 55
- Figur 10: eine Prinzipdarstellung der erfindungsgemäßen Kransteuerung,

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

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

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

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

[0082] In Figur 0a ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Auslegerkrans gezeigt, hier eines Hafenmobilkrans, wie sie häufig zum Abwickeln von Frachtschlagvorgängen in Häfen eingesetzt werden. Solche Auslegerkräne 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 Seils 20 über Winden eingestellt werden kann. Am Seil 20 ist an einem Lastaufnahmepunkt 25 eine Lastaufnahmevorrichtung angeordnet, z. B. ein Manipulator oder Spreader, über welchen die Last 10 aufgenommen werden kann. Die Lastaufnahmevorrichtung weist dabei in dem Ausführungsbeispiel zusätzlich eine Rotatoreinrichtung auf, über welche die Last 10 an der Lastaufnahmevorrichtung 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 Lastaufnahmevorrichtung verlaufen.

[0083] 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 Lastaufnahmevorrichtung rotiert werden.

[0084] 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 Gravitationskrafttrichtung aufweist. Die Sensoreinheit weist in dem Ausführungsbeispiel dabei zwei Sensoren auf, durch welche jeweils der radiale bzw. der tangentielle Seilwinkel relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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.

[0085] Die erfindungsgemäße Kransteuerung kann dabei jedoch nicht nur bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel, also einem Hafenmobilkran, zum Einsatz kommen, sondern ebenso vorteilhafterweise bei anderen Kranen, wie z. B. bei Schiffskranen, Off-Shore-Kranen, Autokranen und Raupenkränen.

[0086] Die erfindungsgemäße Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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 Seilfixpunkt am Auslegerkopf angeordnet sein, was bei einem über eine Umlenkrolle am Auslegerkopf geführten beweglichen Seil jedoch kaum möglich ist.

[0087] Die erfindungsgemäße Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung kann dagegen problemlos in einem Seilfolgeelement 35, wie es in Figur 0b dargestellt ist, angeordnet werden, und bestimmt direkt den Seilwinkel relativ zur Gravitationskrafttrichtung 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 Gravitationskrafttrichtung angeordnet werden, um über die Differenz der jeweiligen Winkel von Seil und Ausleger zur Gravitationskrafttrichtung den Winkel zwischen Seil und Ausleger zu bestimmen.

[0088] Das in Figur 0b gezeigte Seilfolgeelement 35, an welchem die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung angeordnet ist, ist dabei am Auslegerkopf 30 des Auslegers 1 durch kardanische

Verbindungen 32 und 33 unter der Hauptseilrolle 31 angebracht. Das Seilfolgeelement 35 weist dabei Rollen 36 auf, durch welche das Seil 20 geführt wird, so dass das Seilfolgeelement 35 den Bewegungen des Seils 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 Ausrichtung des Seilfolgeelementes 35 und damit des Seils 20 relativ zur Gravitationskrafttrichtung kann somit über die am Seilfolgeelement 35 angeordnete Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung bestimmt werden.

[0089] Weiterhin vorteilhafterweise ist in dem Ausführungsbeispiel am Seilfolgeelement 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 Kranes verhindert.

[0090] Sind mehrere Seilstränge vorgesehen, über welche das Lastaufnahmeelement am Ausleger aufgehängt ist, sind vorteilhafterweise mindestens zweien dieser Seilstränge entsprechende Seilfolgeelemente 35 zugeordnet, um auch die Seilfeldverdrehung, welche aus einer Verdrehung des Lastaufnahmeelements aus der Seilfeldebene resultiert, berücksichtigen 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 Gravitationskrafttrichtung, 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.

[0091] Das Kardangelenk 32 und 33 dient dabei lediglich der mechanischen Verbindung des Seilfolgeelementes 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 Seilfolgeelement 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 Gravitationskrafttrichtung.

[0092] In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, 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 Gravitationskrafttrichtung verzichtet werden und die Seilfolgeelemente 35 lediglich mit Gyroskopeinheiten ausgestattet werden.

[0093] Alternativ zur Anordnung der erfindungsgemäßen Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung an einem Seilfolgeelement 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.

[0094] 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 die Kransteuerung 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.

[0095] 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 die erfindungsgemäße Kransteuerung mit der erfindungsgemäßen Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung vorgesehen.

[0096] 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 φ_{Sr} relativ zur gestrichelt dargestellten Gravitationskrafttrichtung 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.

[0097] 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 φ_{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.

[0098] Um eine solche Auslenkung des Seiles 20 aus der Lotrechten zu Beginn des Hubes zu vermeiden, weist das Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Kransteuerung deshalb eine Anzeige auf, welche den Seilwinkel φ des Seils 20 relativ zur Gravitationskrafttrichtung, 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.

[0099] 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.

[0100] 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.

[0101] 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.

[0102] 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.

[0103] 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 Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftichtung bzw. der horizontalen Abweichung der Last, auch die Verdrehung des Seilfeldes angezeigt. Weist das Lastaufnahmemittel eine Rotoreinrichtung auf, kann hierdurch vor dem Hub die Seilfeldverdrehung auf 0 gestellt werden, um eine Rotation der Last beim Anheben zu verhindern. Auch hierzu kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel vorteilhafterweise eine Funktion zur automatischen Ausrichtung der Rotoreinrichtung vorgesehen sein.

[0104] Weiterhin weist das Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Kransteuerung neben der Anzeige eine Warneinrichtung auf, welche den Kranführer bei Überschreiten zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftichtung, 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.

[0105] 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 Kranes eingreift. Insbesondere stoppt die automatische Überlastsicherung dabei die Bewegung des Kranes, um eine Überlast zu verhindern. Die Überlastsicherung kann dabei in die Lastmomentbegrenzung des Kranes integriert sein, welche den Kran so gegen Belastung durch einen zu großen Seilwinkel schützt.

[0106] Weiterhin ist in einem weiteren Ausführungsbeispiel vorgesehen, dass das Anheben der Last nicht möglich ist, so lange sich der Seilwinkel bzw. die Seilfeldverdrehung nicht im zulässigen Bereich befindet. Hierdurch wird ein ungewolltes Pendeln der Last beim Anheben effektiv verhindert.

[0107] 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.

[0108] 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 Seilwinkel relativ zur Lotrechten, was bei einem kompletten Freikommen der Last 10 zu einer ungewünschten Schwingung der Last führen würde.

[0109] Deshalb wird in einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens während des Anhebens der Last 10 die Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten bestimmt. Im einfachsten Ausführungsbeispiel überprüft der Kranführer dabei auf der Anzeige den Seilwinkel bzw. die horizontale Abweichung und stellt den Kran während dem Hub nach, um die Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten durch das Ungleichgewicht der Last wieder auszugleichen. Bei einem verbesserten Ausführungsbeispiel wird das Ungleichgewicht der Last aus der Abweichung des Seilwinkels von der Lotrechten bestimmt und angezeigt, so dass der Kranführer besser reagieren kann.

[0110] In der in Figur 2c gezeigten Stellung wurde der Kran nun so bewegt, dass die durch das Ungleichgewicht der Last bedingte Schrägstellung, 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.

[0111] In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung 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.

[0112] Wird nun beim Anheben der Last eine Abweichung des Seilwinkels 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 Seilwinkels 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.

[0113] Eine solche Verstellung des Spreaders anhand der Abweichung des Seilwinkels 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.

[0114] 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 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.

[0115] Erfindungsgemäß wird diese Abweichung in einem ersten Ausführungsbeispiel des Verfahrens vom Kranführer 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 eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung möglich. Ist der Seilwinkel wieder in der lotrechten ausgerichtet, kann die Last, wie in Figur 3c gezeigt, ohne Schwingungen angehoben werden.

[0116] 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 Schiffes verändert werden.

[0117] Um dieser Situation Rechnung zu tragen, ist in einem Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Kransteuerung 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 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.

[0118] Hierdurch kann auf Grundlage des Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung eine einfach auszuführende Überlastsicherung realisiert werden, welche nur anhand eines Seilkraftsensors nur schwierig zu realisieren ist. Durch eine solche Überlastsicherung, welche eine teilweise Freigabe der Kranbewegung bewirkt, kann zudem ein unkontrolliertes Schleifen der Last 10 über das Schiff 60 verhindert werden.

[0119] 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 erfindungsgemäße Warnfunktion oder eine der erfindungsgemäßen Überlastfunktionen ausgelöst.

[0120] 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 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.

[0121] Durch die erfindungsgemäße Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Lotrechten durch eine Sensoreinheit zur

Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskrafttrichtung und die entsprechenden erfindungsgemäßen Kransteuerungen und Kransteuerungsverfahren ist neben einer einfacheren Bedienung und Ausrichtung des Kranes auch eine erheblich erhöhte Sicherheit beim Hub von Lasten möglich.

[0122] In einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung weist der Kran mindestens 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 erfindungsgemäße Kransteuerung gegeben.

[0123] 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.

[0124] Da die Gyroskopsignale allerdings Offsetbehaftet sind und auch Störeinflüsse, wie Seilüberschwingungen, erfassen, werden Beobachterschaltungen für die Integration der Geschwindigkeiten zu den Seilwinkeln eingesetzt.

[0125] 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 Lastschwingung sind zwei Gyroskope, die in tangentialer und radialer Richtung angeordnet sind.

[0126] Wie in Abbildung 5 dargestellt, wird zur verbesserten Lastpendeldämpfung nun erfindungsgemäß 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 Gravitationskrafttrichtung sind die Seilfolgeelemente jedoch mit Gyroskopeinheiten ausgestattet, welche zur Lastpendeldämpfung besser geeignet sind. Über diese erfolgt eine Winkelgeschwindigkeitserfassung der pendelnden Kranlast.

[0127] 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 tangentielle 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.

[0128] 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.

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

[0129] Der Einbau- oder Montagewinkel für jeden Gyroskopsensor auf beiden Seilfolgeelemente ist jeweils φ_{einbau} . $\dot{\varphi}_D$ ist die Drehgeschwindigkeit des Kranes, $\dot{\varphi}_{t/rmess}$ ist die tangentielle oder radiale Winkelgeschwindigkeit und $\dot{\varphi}_{t/rkomp}$ ist das resultierende kompensierte Gyroskopsignal.

[0130] Weiterhin werden die kompensierten Messsignale mit einer Beobachterschaltung offsetfrei zu den Seilwinkeln integriert. Nach dieser Aufbereitung stehen nun die Seilwinkel für beide Seilfolgeelemente in tangentialer und radialer Richtung zur Verfügung.

[0131] 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.

[0132] 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. Durch Differenzbildung der Winkelsignale 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 Winkelsignale der beiden Seilfolgeelemente in die entsprechende Richtung berechnet.

$$\varphi_t = \frac{\varphi_{t\text{beob}H1} + \varphi_{t\text{beob}H2}}{2} \quad (0.2)$$

$$\varphi_r = \frac{\varphi_{r\text{beob}H1} + \varphi_{r\text{beob}H2}}{2}$$

[0134] Der Seilwinkel in tangentialer Richtung φ_t berechnet sich also aus dem Mittelwert der beobachteten Winkelsignale der Halterung 41 $\varphi_{t\text{beob}H1}$ und Halterung 42 $\varphi_{t\text{beob}H2}$. Gleiches gilt für den Seilwinkel in radiale Richtung symbolisiert durch den Indize r . Tritt eine Torsion der Last mit der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_{Torsion}$ auf, messen die Gyroskope auf den Seilfolgeelemente 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 erfindungsgemäße Regelung der Lastpendeldämpfung, in welche die von den zwei Gyroskopeinheiten erzeugten Daten eingehen, wird nun im folgenden näher dargestellt.

[0135] 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 Trajektorienachführung 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 Trajektorienachführung und eine gute Dämpfung der Lastpendelung. Messergebnisse werden vorgelegt, um die gute Leistung des nichtlinearen Trajektorienachführungssteuergeräts zu validieren.

[0136] Auslegerkrane wie der LIEBHERR Hafemobilkran 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.

[0137] Wie in Fig. 1 gezeigt besteht ein solcher Hafemobilkran 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 φ_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 φ_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 φ_S pendeln.

[0138] Im Allgemeinen sind Krane unteraktuierte Systeme, die Schwingverhalten zeigen. Daher wurden in der Literatur viele unregelmäßige 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.

[0139] Die folgende Ausführung der vorliegenden Erfindung 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

[0140] 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

[0141] 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:

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

[0142] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung der Wippbewegung, wobei φ_{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.

[0143] 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:

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

[0144] Wobei \ddot{z}_{zyl} und \dot{z}_{zyl} die Zylinderbeschleunigung und Geschwindigkeit, T_W die Zeitkonstante, A_{zyl} die Querschnittfläche des Zylinders, u_W die Eingangsspannung des Servoventils und K_{VW} die proportionale Konstante von Strömrate zu u_W ist.

[0145] 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 Ausladungskordinaten (r_A) zu erhalten, wird die kinematische Gleichung

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

differenziert.

$$\begin{aligned} \dot{r}_A &= -l_A \sin(\varphi_A) K_{Wz1}(\varphi_A) \dot{z}_{zyl} \\ \ddot{r}_A &= -l_A \sin(\varphi_A) K_{Wz1}(\varphi_A) \ddot{z}_{zyl} - K_{Wz3}(\varphi_A) \dot{z}_{zyl}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

K_{Wz1} und K_{Wz3} beschreiben die Abhängigkeit von den geometrischen Konstanten $d_a, d_b, \alpha_1, \alpha_2$ und dem Wippwinkel φ_A . (siehe Figur 9) l_A ist die Länge des Auslegers.

[0146] Das Formulieren des Verhaltens erster Ordnung des Aktors in Ausladungskordinaten durch Verwenden der Gleichungen (4) führt zu einer nichtlinearen Differentialgleichung.

$$\ddot{r}_A = -\frac{K_{Wz3}}{l_A^2 \sin^2(\varphi_A) K_{Wz1}^2} \dot{r}_A^2 - \frac{1}{T_W} \dot{r}_A - \frac{K_{VW} l_A \sin(\varphi_A) K_{Wz1}}{T_W A_{zyl} m} u_i \quad (5)$$

[0147] Zum Darstellen des nichtlinearen Modells in der Form

$$\begin{aligned} \dot{\underline{x}}_l &= \underline{f}_l(\underline{x}_l) + \underline{g}_l(\underline{x}_l) \cdot u_l \\ y_l &= h_l(\underline{x}_l) \end{aligned} \quad (6)$$

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:

$$\begin{aligned} \underline{f}_l(\underline{x}_l) &= \begin{bmatrix} x_{l,2} \\ -ax_{l,2}^2 - bx_{l,2} \\ x_{l,4} \\ -\frac{g}{l_s} \sin(x_{l,3}) + \frac{\cos(x_{l,3})}{l_s} (ax_{l,2}^2 + bx_{l,2}) \end{bmatrix} ; \underline{g}_l(\underline{x}_l) = \begin{bmatrix} 0 \\ -m \\ 0 \\ \frac{\cos(x_{l,3})m}{l_s} \end{bmatrix} \\ h_l(\underline{x}_l) &= x_{l,1} + l_s \sin(x_{l,3}) \end{aligned} \quad (7, 8)$$

2. NICHT-LINEARER STEUERUNGSANSATZ

[0148] 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 φ_{Sr} entkoppelt.

$$\ddot{\varphi}_{Sr} + \frac{g}{l_s} \sin(\varphi_{Sr}) = \frac{1}{l_s} \ddot{r}_A \quad (9)$$

[0149] Um eine flache Ausgabe für das vereinfachte nichtlineare System zu finden, muss der relative Grad bestimmt werden.

2.1 Relativer Grad

[0150] Der relative Grad wird durch die folgenden Bedingungen definiert:

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

[0151] Der Operator $L_{\underline{f}_l}$ stellt die Lie-Ableitung entlang des Vektorfelds \underline{f}_l bzw. $L_{\underline{g}_l}$ entlang des Vektorfelds \underline{g}_l dar. Mit der realen Ausgabe

$$y_l^* = h_l^*(\underline{x}_l) = x_{l,1} + l_s x_{l,3} \quad (11)$$

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

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

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

10 **2.2 Exakte Linearisierung**

[0152] Da die vereinfachte Systemdarstellung differentiell flach ist, kann eine exakte Linearisierung vorgenommen werden. Daher wird eine neue Eingabe definiert als $v = \ddot{y}_l^*$ und das linearisierende Steuersignal u_l wird berechnet durch

15

$$u_l = \frac{-L_{f_l}^* h_l^*(\underline{x}_l) + v_l}{L_{g_l} L_{f_l}^{-1} h_l^*(\underline{x}_l)}; \quad v_l \dots \text{new input} \quad (13)$$

$$= \frac{g \sin(x_{l,3}) x_{l,4}^2 - g \cos(x_{l,3}) \left(-\frac{g}{l_s} \sin(x_{l,3}) + \frac{a}{l_s} x_{l,2}^2 + \frac{b}{l_s} x_{l,2} \right) + v_l}{\frac{gm}{l_s} \cos(x_{l,3})}$$

20

25

[0153] Um das sich ergebende linearisierte System zu stabilisieren, wird eine Fehlrückführung zwischen der Bezugstrajektorie und den Ableitungen der Ausgabe y^* abgeleitet.

30

$$u_l = \frac{-L_{f_l}^* h_l^*(\underline{x}_l) + v_l - \sum_{i=0}^{r-1} k_{l,i} \left[L_{f_l}^* h_l^*(\underline{x}_l) - y_{l,ref}^{(i)} \right]}{L_{g_l} L_{f_l}^{-1} h_l^*(\underline{x}_l)} \quad (14)$$

35

[0154] Die Rückführungsverstärkungen $k_{l,i}$ werden durch die Polplatzierungstechnik erhalten. Figur 10 zeigt den sich ergebenden Aufbau des linearisierten und stabilisierten Systems.

[0155] 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_l^* 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.

40

3. Bahnplanung / Trajektoriengenerierung

45

A. Formulierung des Optimalsteuerungsproblems

[0156] 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.

50

Die Modellgleichungen sind gegeben durch:

55

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

5
 [0157] Die Zustandsvariablen 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.
 Das Gütefunktional

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

20
 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-definite Wichtungsmatrix Q und der Wichtungskoeffizient $r > 0$ sind wesentliche Einstellungsparameter für die Modellprädiktive Trajektoriengenerierung.

25
 Der Optimierungshorizont $t_f - t_0$ sollte das wesentliche dynamische Verhalten des Prozesses/Systems erfassen. Dieses ist definiert durch die Periodendauer des Lastpendels (bis 18 Sekunden für den betrachteten Kran). Versuche zeigen, dass 10 Sekunden für den Optimierungshorizont ausreichen.

30
 [0158] Die Referenzprognose $w(t)$ für die Lastposition, -geschwindigkeit und -beschleunigung wird aus den Handhabelsignalen des Kranfahrers (Sollgeschwindigkeiten) generiert. Die Prädiktion berücksichtigt Geschwindigkeitsreduzierungen, wenn sich die Last den Grenzen des Arbeitsbereiches nähert.
 Die Modellprädiktive Trajektoriengenerierung berücksichtigt Restriktionen für die Prozessvariablen als Beschränkungen des Optimalsteuerungsproblems.

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

35
 [0159] Beschränkungen der Änderung des Eingangs werden verwendet, um hochfrequente Anregungen des Systems zu vermeiden.

$$\dot{u}_{lin,min} \leq \dot{u}_{lin} \leq \dot{u}_{lin,max} \tag{18}$$

45
 [0160] Damit müssen die Änderungsraten \dot{u}_{lin} als Stellgrößen bei der Formulierung des Optimalsteuerungsproblems berücksichtigt werden.

50
 Die Generierung der Referenztrajektorien führt zu einem äußeren Regelkreis (Figur (10)). Somit sind die Ergebnisse der Stabilitätsbetrachtungen von Modellprädiktiven Regelungen anwendbar. Bedingungen für die garantierte Stabilität des geschlossenen Regelkreises unter Nominalbedingungen benötigen im Normalfall stabilisierende Beschränkungen der Zustände am Ende des Optimierungshorizontes zusammen mit einer passenden Auswertung des Endzustandes.
 55
 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.

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

5
[0161] 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 definiten Wichtungsmatrix \bar{Q} approximiert, was das ursprüngliche Gütefunktional folgendermaßen erweitert:

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

15
 B. Numerische Lösung des Optimalsteuerungsproblems

20
[0162] Das zeitkontinuierliche, beschränkte, linear-quadratische Optimalsteuerungsproblem (15)-(20) wird diskretisiert.

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

25
[0163] Wobei x_{lin}^k , u^k and y_{lin}^k die Werte der entsprechenden Variablen in den Diskretisierungspunkten t^k bezeichnen. Die Matrizen und Vektoren A^k , b^k and C^k erhält man durch Lösen der Transitions Gleichung 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.

30
 Damit wird das zeitkontinuierliche Optimalsteuerungsproblem als eine Aufgabe der quadratischen Programmierung für 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 Optimierungshorizont K und kubisch mit der Anzahl der Stellgrößen(m) und Zustandsvariablen(n).

35
 Nicht äquidistante Diskretisierungsschritte $\Delta T^k = t^{k+1} - t^k$ im Prädiktionshorizont 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 Prädiktionshorizontes linear vergrößert.

40
[0164] Durch die erfindungsgemäße 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 Pendelausschlägen erreichen. Dies zeigen die folgenden Messergebnisse, welche mit einer Seillänge von 57 m und einer Last von 3,5 t durchgeführt wurden.

45
[0165] Figur 11 zeigt dabei die Geschwindigkeit der Last, einmal wie sie vom Kranführer mittels eines Eingabeelementes vorgegeben wird, und einmal wie sie über das erfindungsgemäße 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 Wippsynders bei unterschiedlichen Auslegerstellungen unterschiedliche Maximalgeschwindigkeiten zulassen. Für die Maximal-Beschleunigung ist dagegen eine konstante Beschränkung vorgegeben.

[0166] Figur 12a vergleicht nun diese Soll-Trajektorie mit der gemessenen Geschwindigkeit der Last. Die erfindungsgemäße 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.

[0167] Die erfindungsgemäße 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.

[0168] Die für die Online-Berechnung des Optimallösungsproblems in dem Bahnplanungsmodul benötigte Rechenzeit ist dabei in Figur 14 gezeigt. Hierbei ergeben sich Rechenzeiten zwischen 54 msek und 66 msek. 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 Prädiktionshorizonts steigende Länge der Intervalle zwischen den Stützpunkten der Prädiktion.

Patentansprüche

1. Kransteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** mindestens eine Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung vorgesehen ist.
2. Kransteuerung nach Anspruch 1, wobei neben der Sensoreinheit zur Bestimmung eines Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftrichtung mindestens eine Gyroskopeinheit zur Messung einer Seilwinkelgeschwindigkeit vorgesehen ist.
3. Kransteuerung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last aufweist, und mindestens zwei Sensoreinheiten zur Bestimmung der Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftrichtung vorgesehen sind, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind.
4. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last aufweist, und mindestens zwei Gyroskopeinheiten zur Messung der Seilwinkelgeschwindigkeiten vorgesehen sind, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind.
5. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Sensoreinheit und/oder die Gyroskopeinheit an einem Seilfolgeelement angeordnet sind, welches insbesondere über eine kardanische Verbindung mit einem Ausleger des Krans verbunden ist und welches am Seil geführt wird.
6. Kransteuerung nach Anspruch 5, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last aufweist, und mindestens zwei Seilfolgeelemente vorgesehen sind, welche unterschiedlichen Seilsträngen zugeordnet sind.
7. Kransteuerung 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.
8. Kransteuerung nach Anspruch 7, wobei die Anzeige eine lotrechte Seilstellung optisch und/oder akustisch anzeigt.
9. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Warneinrichtung vorgesehen ist, 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.
10. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Sicherungseinrichtung, insbesondere eine Überlastsicherung, vorgesehen ist, 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, insbesondere um eine Überlast des Kranes zu verhindern.

EP 1 992 583 A2

11. Kransteuerung nach Anspruch 10, wobei die Überlastsicherung die Bewegung des Kranes stoppt.
12. Kransteuerung nach Anspruch 10, wobei die Überlastsicherung die Bewegung des Kranes und/oder des Seils zumindest teilweise freigibt, insbesondere bei Offshorekranen.
- 5 13. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Kransteuerung, insbesondere die Warneinrichtung und/oder die Überlastsicherung, zusätzlich Daten eines Seilkraftsensors auswertet.
- 10 14. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der Kran mindestens zwei Seilstränge zum Heben der Last aufweist, deren Seilfeldverdrehung bestimmt wird.
- 15 15. Kransteuerung nach Anspruch 14, wobei eine Anzeigeeinheit zur Anzeige der Seilfeldverdrehung vorgesehen ist.
16. Kransteuerung nach Anspruch 14, 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.
- 20 17. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Verdrehsicherung vorgesehen ist, welche bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für die Seilfeldverdrehung automatisch in die Steuerung des Kranes eingreift.
- 25 18. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, welche eine automatische Lastpendeldämpfung aufweist.
- 30 19. Kransteuerung nach Anspruch 18, wobei die Lastpendeldämpfung auf den Daten mindestens einer Gyroskopeinheit beruht.
20. Kransteuerung nach Anspruch 19, wobei die Sensoreinheit zur Bestimmung des Seilwinkels relativ zur Gravitationskraftfrichtung zur Überwachung und/oder Kalibrierung der Gyroskopeinheit verwendet wird.
- 35 21. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen ist, durch welche das Seil lotrecht über der Last ausgerichtet wird.
22. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine Funktion zum automatischen Ausrichten des Kranes vorgesehen ist, durch welche eine Seilfeldverdrehung ausgeglichen wird.
- 40 23. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, mit einem Speicher zur Speicherung von Lastdaten auf Grundlage des Seilwinkels zur Lebensdauerberechnung und/oder zur Dokumentation.
- 45 24. Verfahren zur Ansteuerung eines Kranes, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** ein Seilwinkel relativ zur Gravitationskraftfrichtung bestimmt wird.
- 50 25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei vor dem Anheben der Last das Seil in eine lotrechte Ausrichtung gebracht wird.
26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, wobei vor dem Anheben der Last die Seilfeldverdrehung auf Null gebracht wird.
27. Verfahren nach Anspruch 24, wobei während dem Anheben der Last eine Abweichung eines Seilwinkels von der Lotrechten ausgeglichen wird.
- 55 28. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei beim Anheben der Last durch Bestimmen der Abweichung eines Seilwinkels von der Lotrechten ein Ungleichgewicht der Last bestimmt wird.
29. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Ungleichgewicht der Last auf Grundlage der Abweichung eines Seilwinkels von der Lotrechten durch eine Bewegung der Last am Lastaufnahmemittel, insbesondere am Spreader, ausgeglichen wird.
30. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei eine beim Anheben der Last durch das Ungleich-

gewicht der Last bedingte Schrägstellung des Seils durch eine Bewegung des Krans ausgeglichen wird.

- 5
31. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei 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 wird.
- 10
32. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei bei einem Überschreiten eines zulässigen Wertebereichs für eine sich aus dem gemessenen Seilwinkel ergebende Abweichung, insbesondere für den Seilwinkel relativ zur Gravitationskraft richtung und/oder für die horizontale Abweichung der Last, die Kranstruktur durch Gegenmaßnahmen geschützt wird.
- 15
33. Verfahren nach Anspruch 32, insbesondere zur Ansteuerung eines Offshorekrans, wobei die Gegenmaßnahmen ein zumindest teilweises Freigeben der Kranbewegungen und/oder des Seils umfassen.
- 20
34. Kransteuerung eines Krans, welcher ein Seil zum Heben einer Last aufweist, zur Durchführung eines der Verfahren gemäß der Ansprüche 24 bis 33.
- 25
35. Kransteuerung nach Anspruch 34, wobei das Verfahren zumindest teilweise automatisch durchgeführt wird.
- 30
36. Kran, welcher mindestens ein Seil zum Heben einer Last aufweist, mit einer Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche.
- 35
37. Kransteuerung zur Ansteuerung der Stellwerke eines Krans, welcher mindestens einen ersten und einen zweiten Seilstrang zum Heben der Last aufweist, mit einer Lastpendeldämpfung zur Dämpfung von sphärischen Pendelschwingungen der Last,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine erste und eine zweite Sensoreinheit, welche dem ersten und dem zweiten Seilstrang zugeordnet sind, vorgesehen sind, um die jeweiligen Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten zu bestimmen, und die Lastpendeldämpfung eine Regelung aufweist, in welche die von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten eingehen.
- 40
38. Kransteuerung nach Anspruch 37, wobei die erste und die zweite Sensoreinheit jeweils eine Gyroskopeinheit umfassen.
- 45
39. Kransteuerung nach Anspruch 37 oder 38, wobei die erste und die zweite Sensoreinheit jeweils in einem Seilfolgeelement angeordnet sind.
- 50
40. Kransteuerung nach Anspruch 39, wobei die Seilfolgeelemente jeweils über ein kardanisches Gelenk mit dem Ausleger des Krans verbunden sind und der Bewegung des Seilstrangs, welchem sie zugeordnet sind, folgen.
- 55
41. Kransteuerung 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.
42. Kransteuerung 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 Krans erfolgt.
43. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei durch einen Vergleich der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten Sensorfehler erkannt werden.
44. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei in der Lastpendeldämpfung durch eine Mittelwertbildung aus den von der ersten und der zweiten Sensoreinheit bestimmten Seitwinkeln und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten die Torsionsschwingung des Seilfeldes berücksichtigt wird.
45. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Regelung nicht-linear ist.
46. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Regelung auf der Inversion eines physi-

kalischen Modells der Bewegung der Last in Abhängigkeit von den Bewegungen der Stellwerke beruht.

- 5
47. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei Lastpendeldämpfung einen Bahnplanungsmodul umfasst, welches der Regelung Soll-Trajektorien vorgibt.
- 10
48. Kransteuerung nach Anspruch 47, wobei 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 eingeht.
- 15
49. Kransteuerung nach Anspruch 47 oder 48, wobei das Bahnplanungsmodul Beschränkungen des Systems bei der Erzeugung von Soll-Trajektorien berücksichtigt.
- 20
50. Kransteuerung nach einem der Ansprüche 47 bis 49, wobei das Bahnplanungsmodul eine Optimalsteuerung zur Erzeugung der Soll-Trajektorien umfasst.
- 25
51. Kransteuerung nach einem der Ansprüche 47 bis 50, wobei das Bahnplanungsmodul bei der Prädiktion innerhalb des Zeithorizonts mit einer ansteigenden Länge der Berechnungsintervalle arbeitet.
- 30
52. Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Position und die Geschwindigkeit des Auslegerkopfes in die Regelung der Lastpendeldämpfung eingeht.
- 35
53. Kransteuerung nach einem der Ansprüche 37 bis 52, mit einem oder mehreren der Merkmale der Kransteuerung nach den Ansprüchen 1 bis 23.
- 40
54. 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,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwei Sensoreinheiten, welche den zwei Seilsträngen zugeordnet sind, vorgesehen sind, um die jeweiligen Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten zu bestimmen, und die Lastpendeldämpfung eine Regelung aufweist, in welche die von den zwei Sensoreinheiten bestimmten Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten eingehen.
- 45
55. Kran nach Anspruch 54 mit einer Kransteuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche.
- 50
56. Kran nach Anspruch 54 oder 55 mit einem Drehwerk zum Drehen des Krans und/oder einem Wippwerk zum Aufwippen eines Auslegers, welche von der Kransteuerung angesteuert werden.
- 55
57. 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,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Seilwinkel und/oder Seilwinkelgeschwindigkeiten des ersten und des zweiten Seilstrangs über eine erste und eine zweite Sensoreinheit, welche dem ersten und dem zweiten Seilstrang zugeordnet sind, bestimmt werden und in eine Regelung der Lastpendeldämpfung eingehen.
58. Verfahren nach Anspruch 57, wobei eine Kompensation der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten bezüglich des Einbauwinkels der Sensoreinheiten und des Drehwinkels des Krans erfolgt.
59. Verfahren nach Anspruch 57 oder 58, wobei durch einen Vergleich der von der ersten und der zweiten Sensoreinheit gemessenen Daten Sensorfehler erkannt werden.
60. Verfahren 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.
61. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche mit einer Kransteuerung nach einem der Ansprüche 37 bis 52.

Fig. 0a

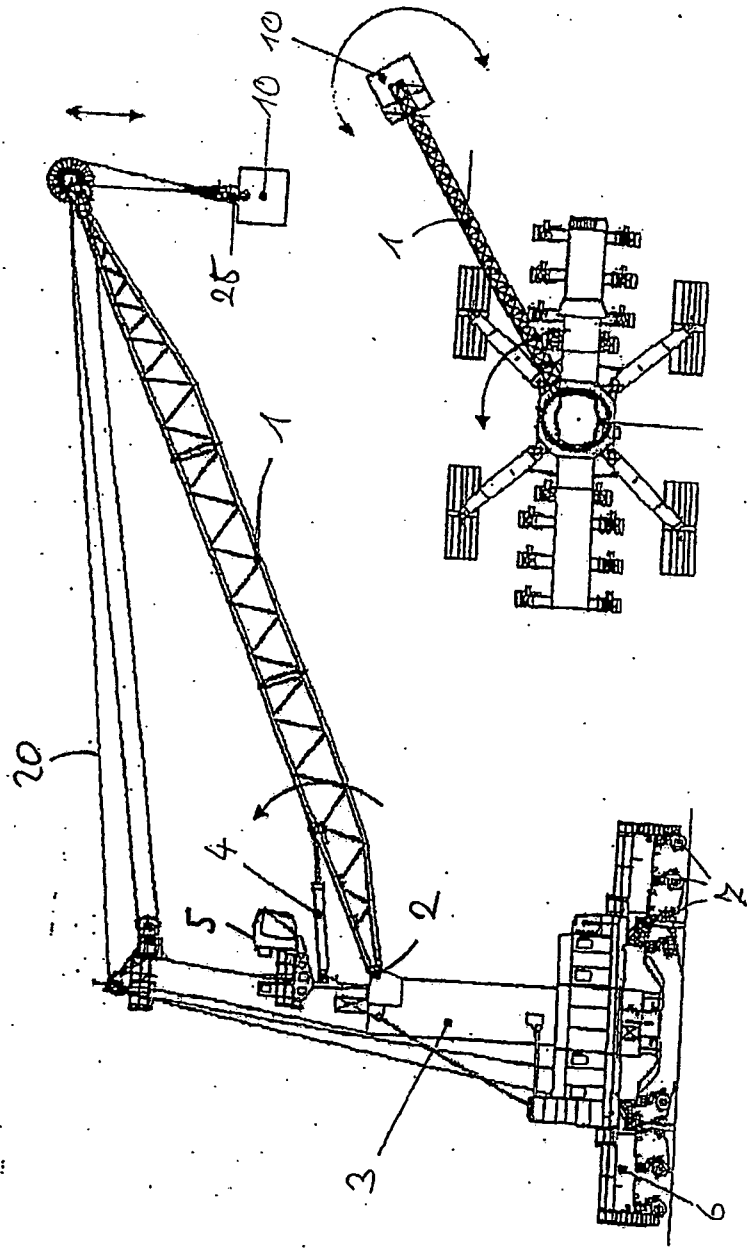
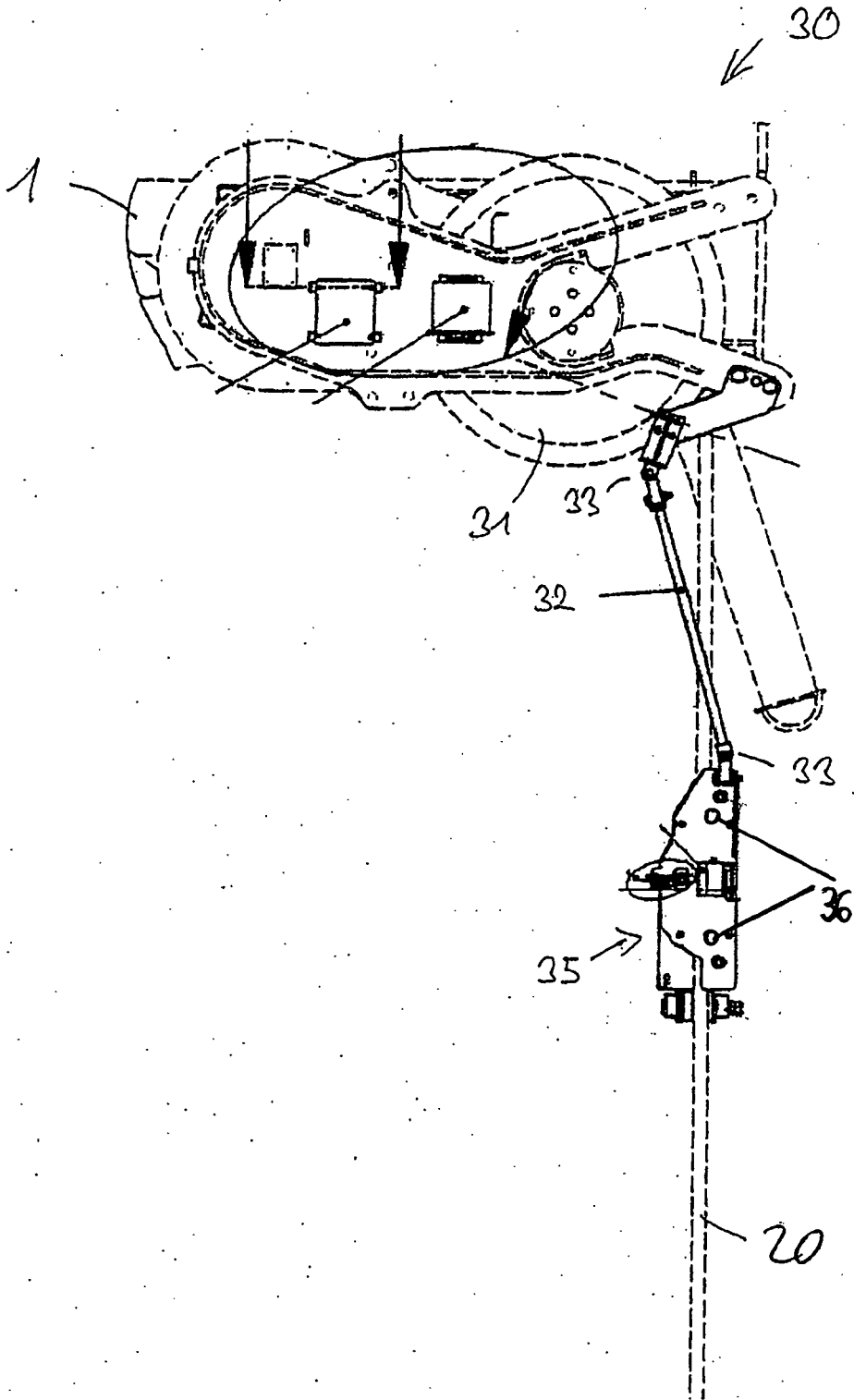


Fig. 06



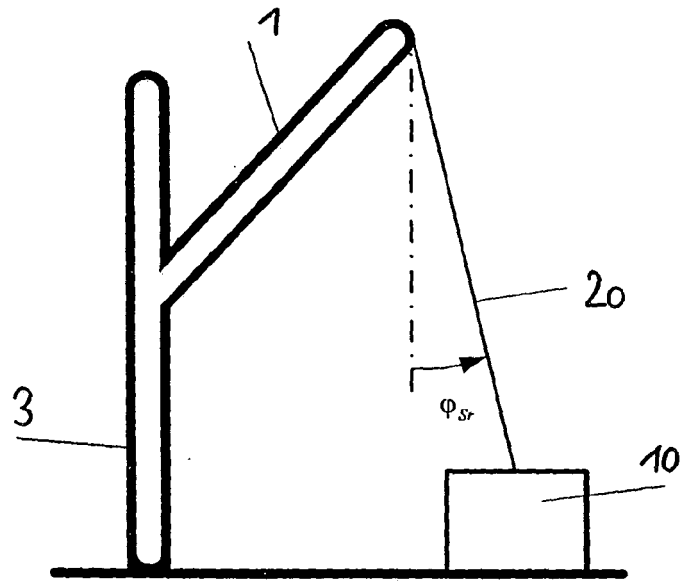


Fig. 1a

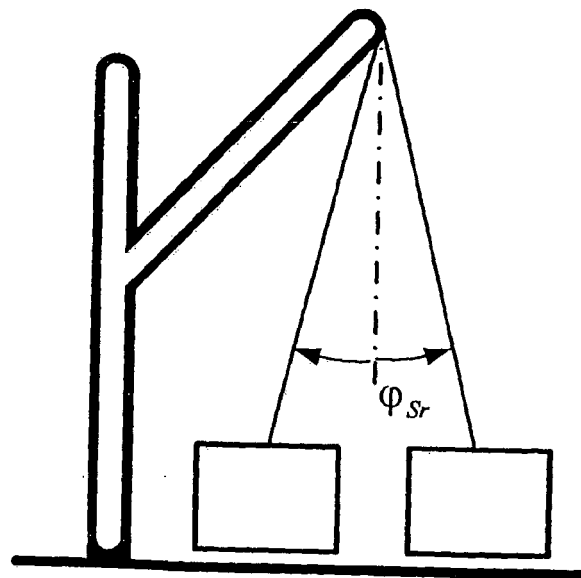
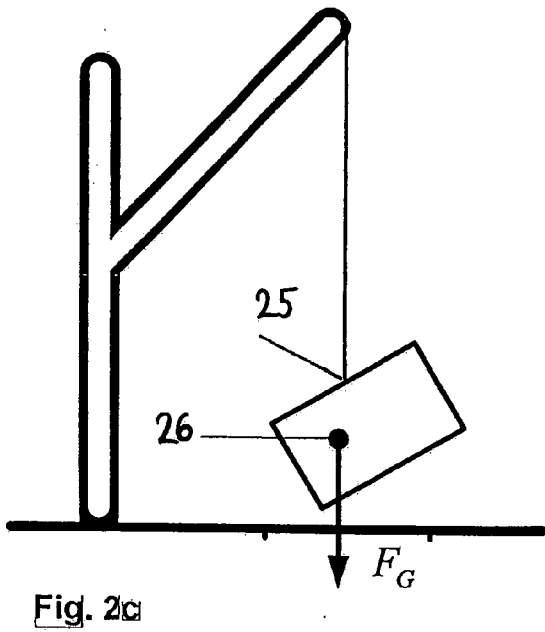
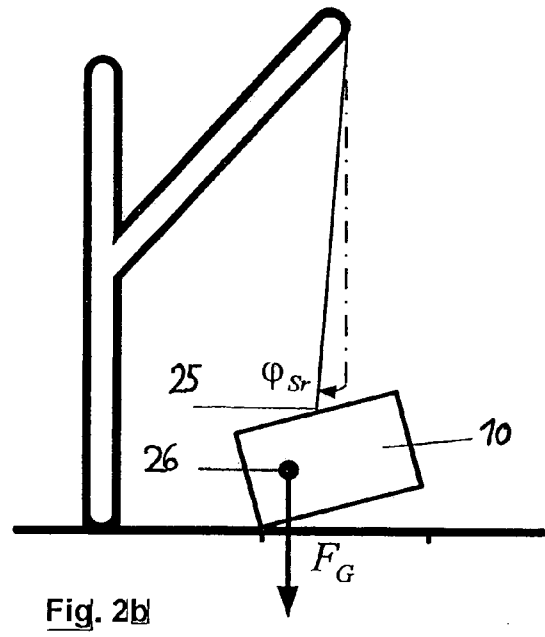
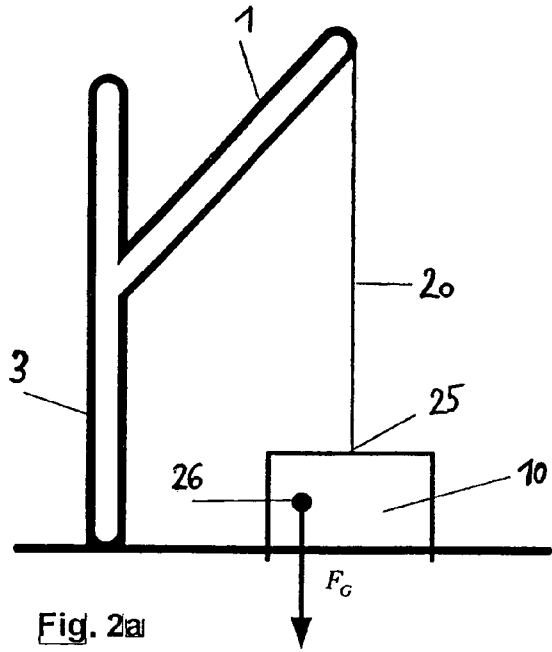
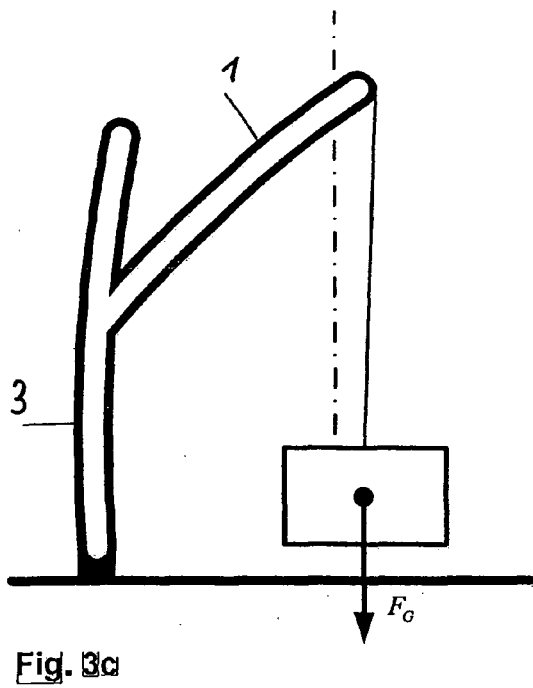
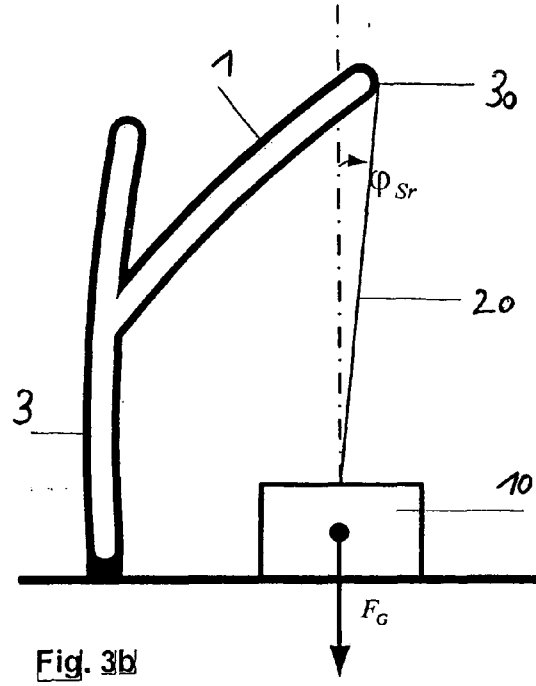
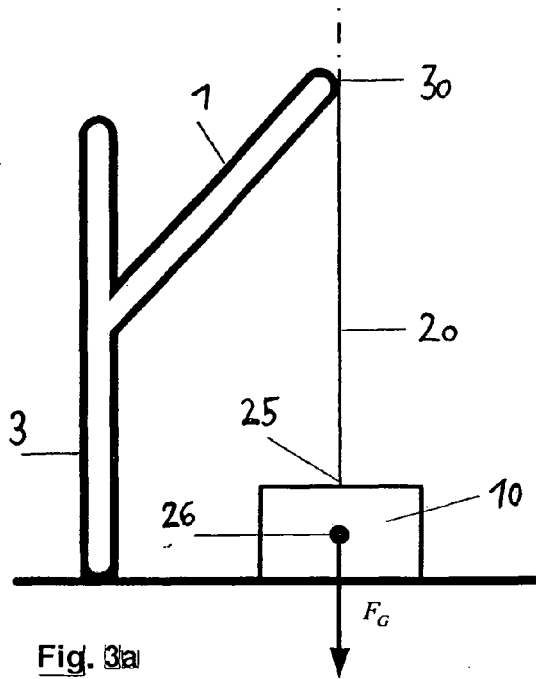


Fig. 1b





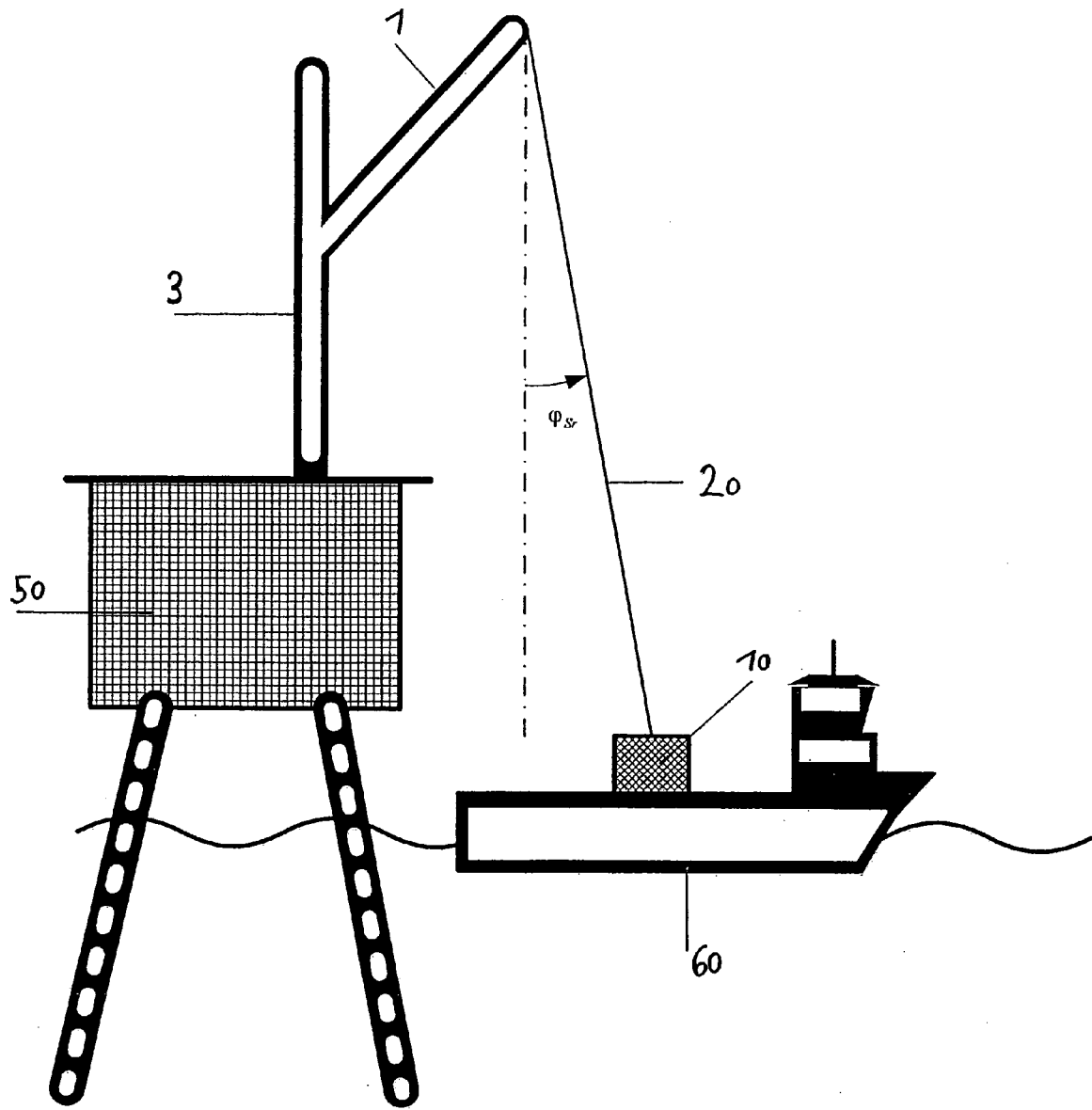


Fig. 4a

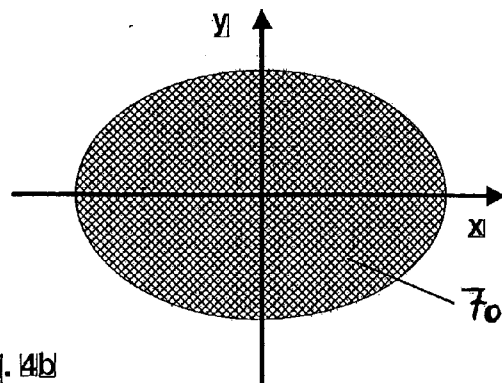


Fig. 4b

Fig. 5

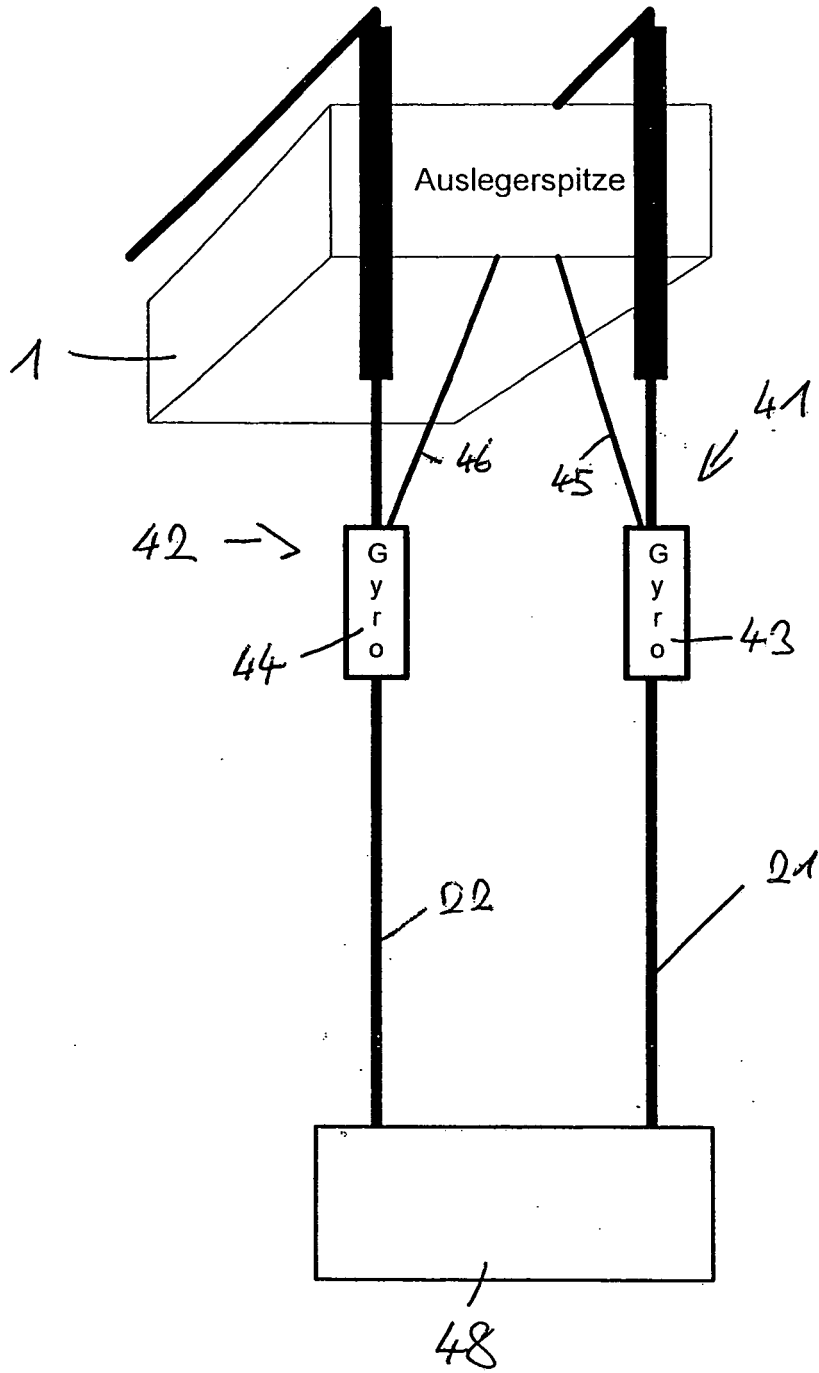


Fig. 6

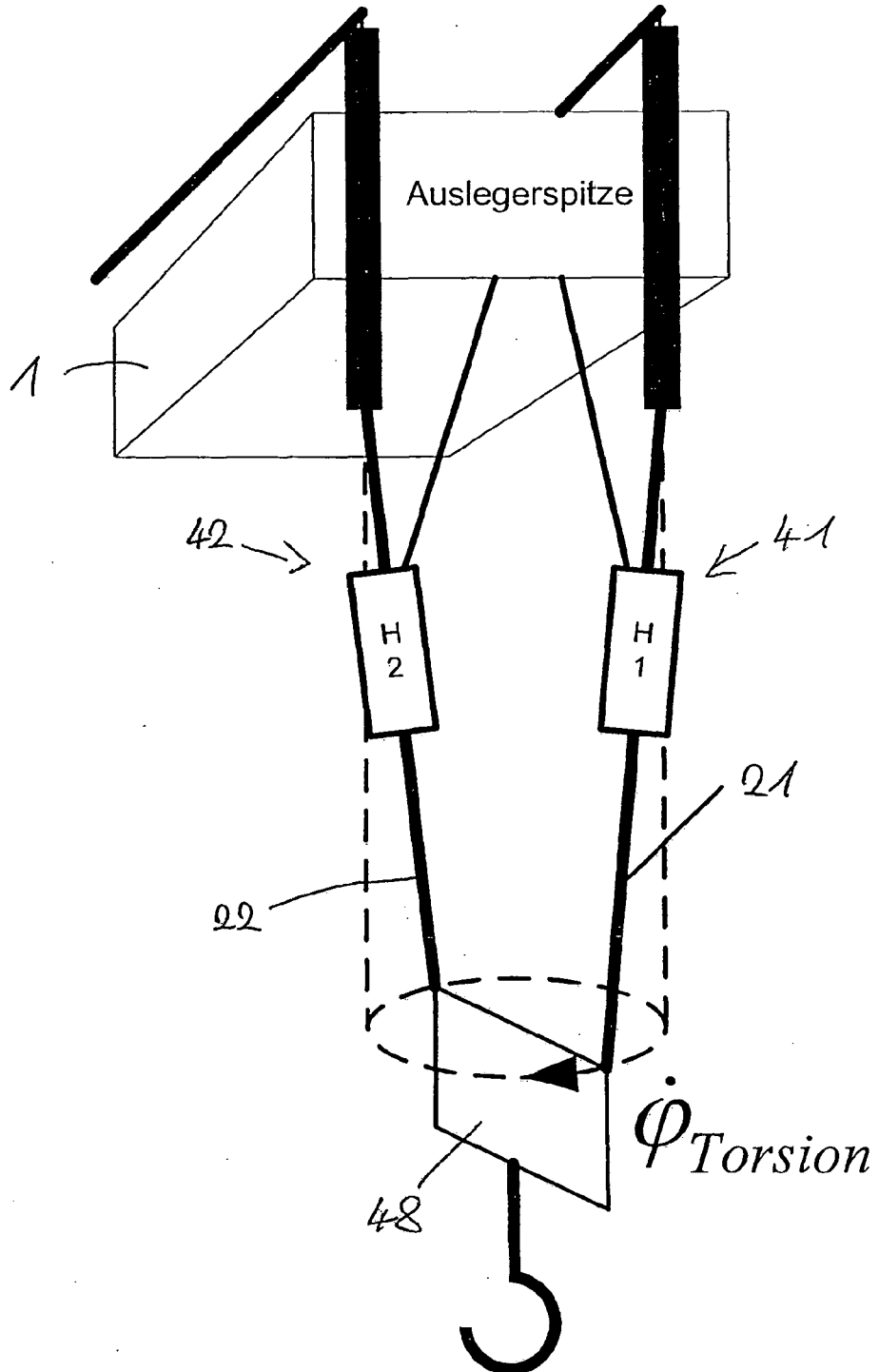


Fig. 7

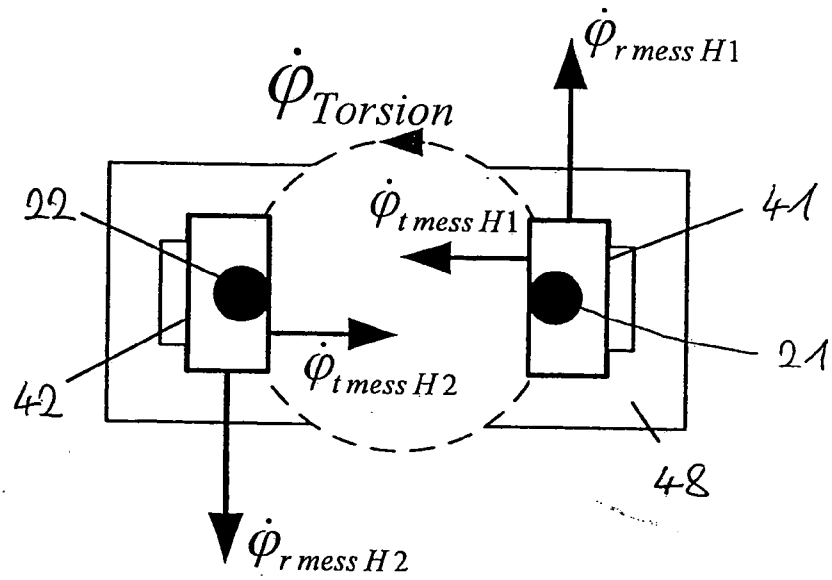


Fig. 8

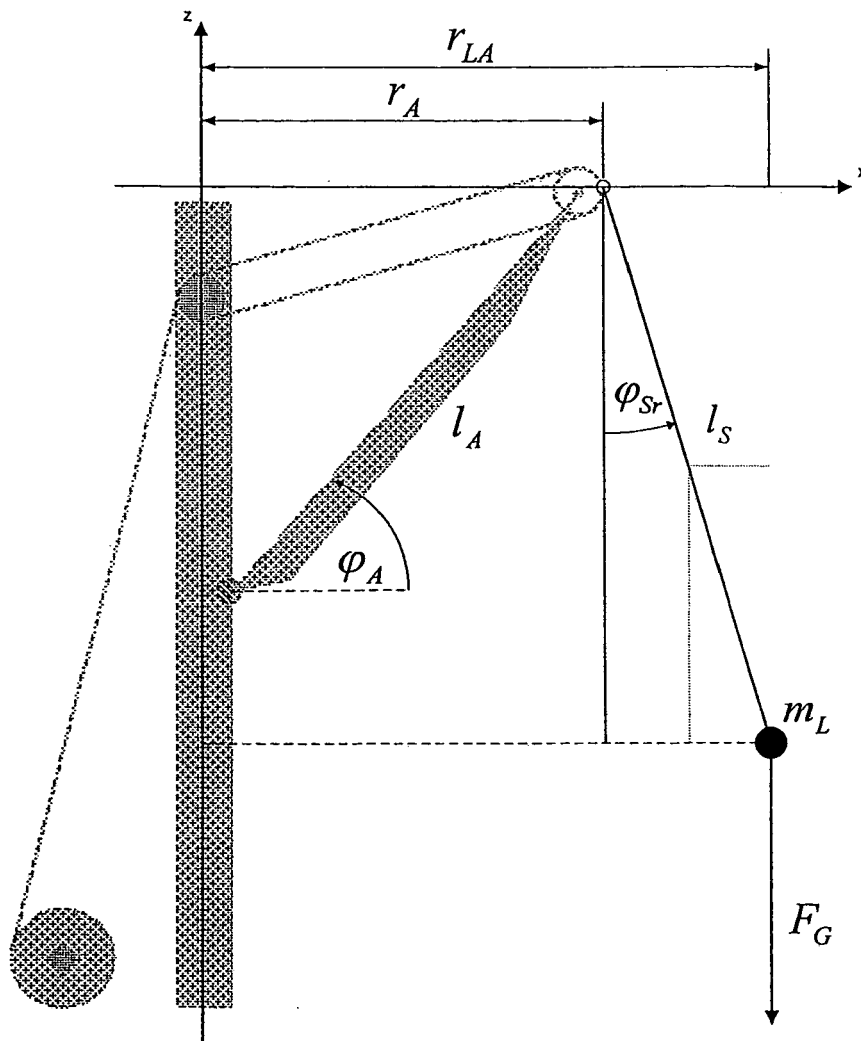


Fig. 9

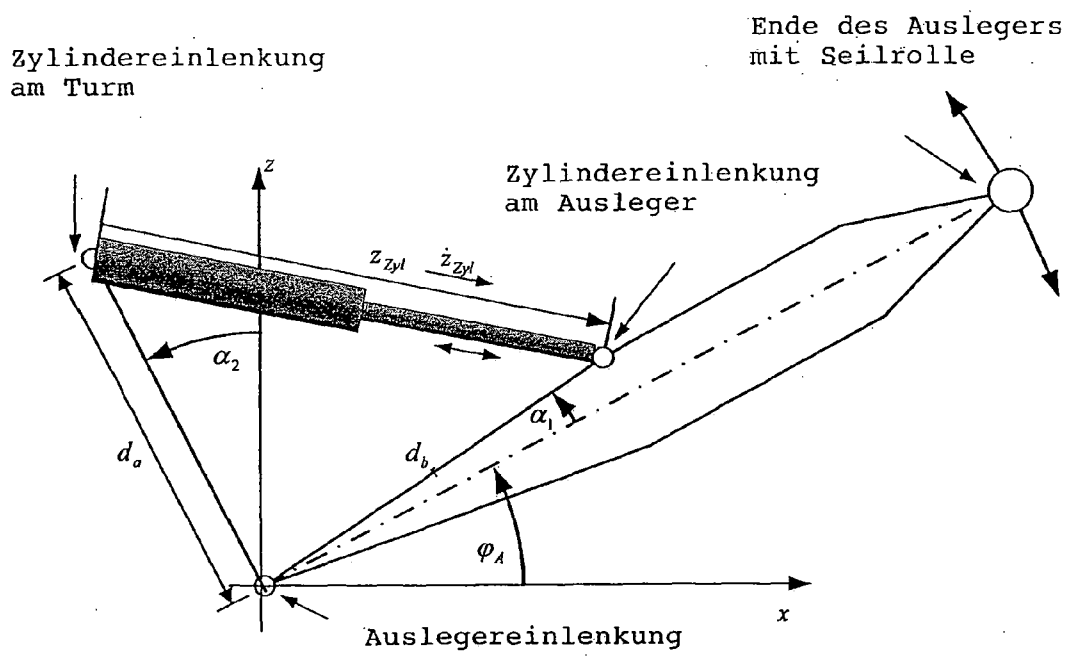


Fig. 10

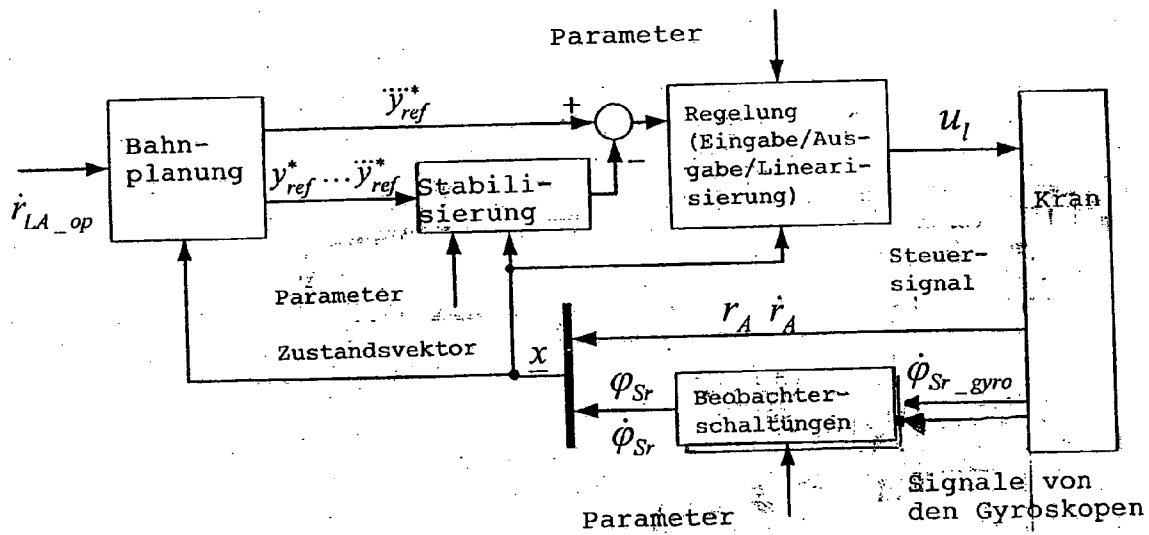


Fig. 11

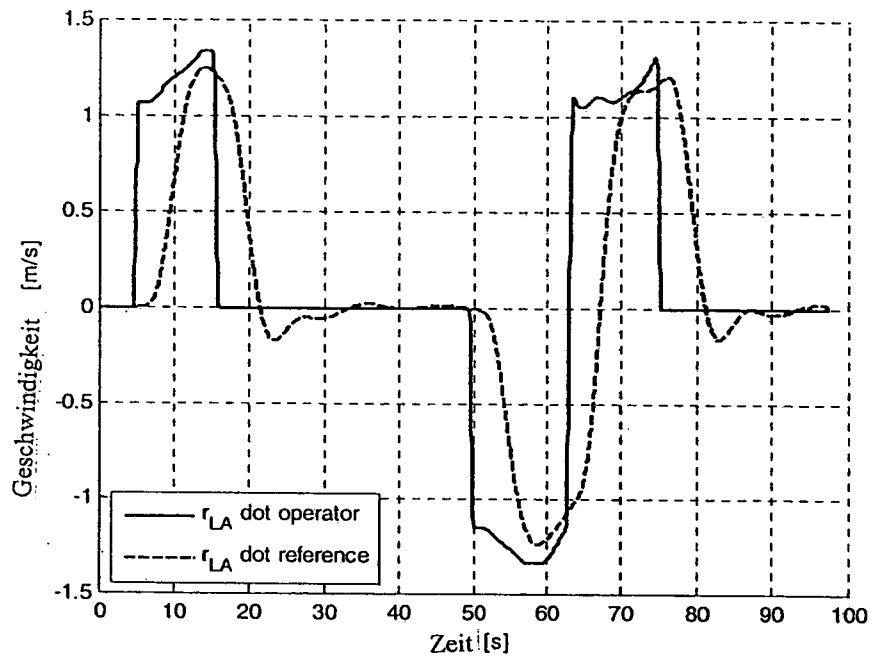


Fig. 12a

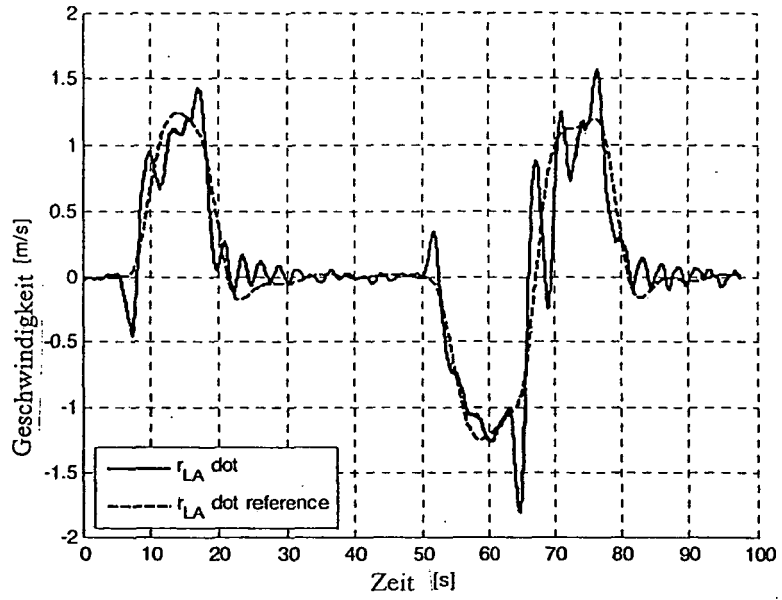


Fig. 12 b

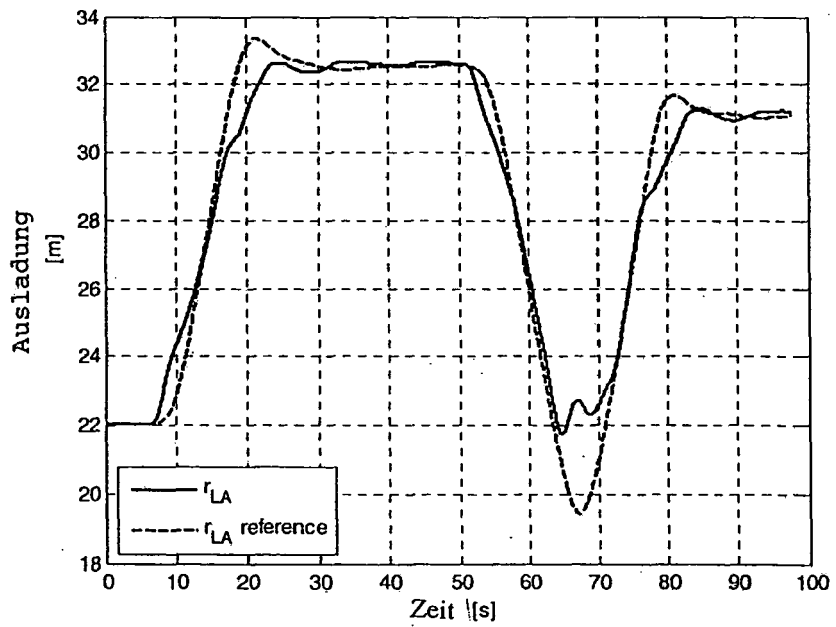


Fig. 13

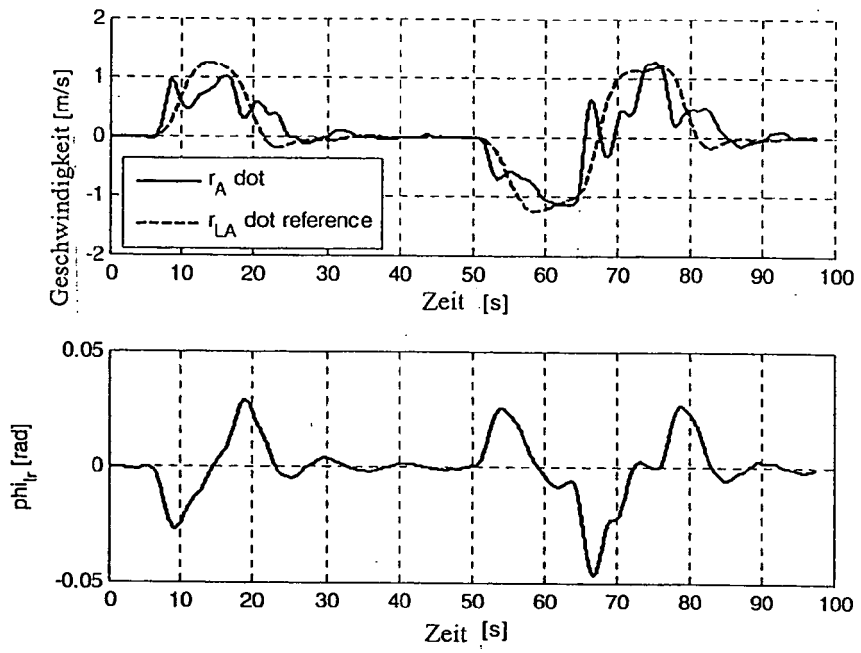
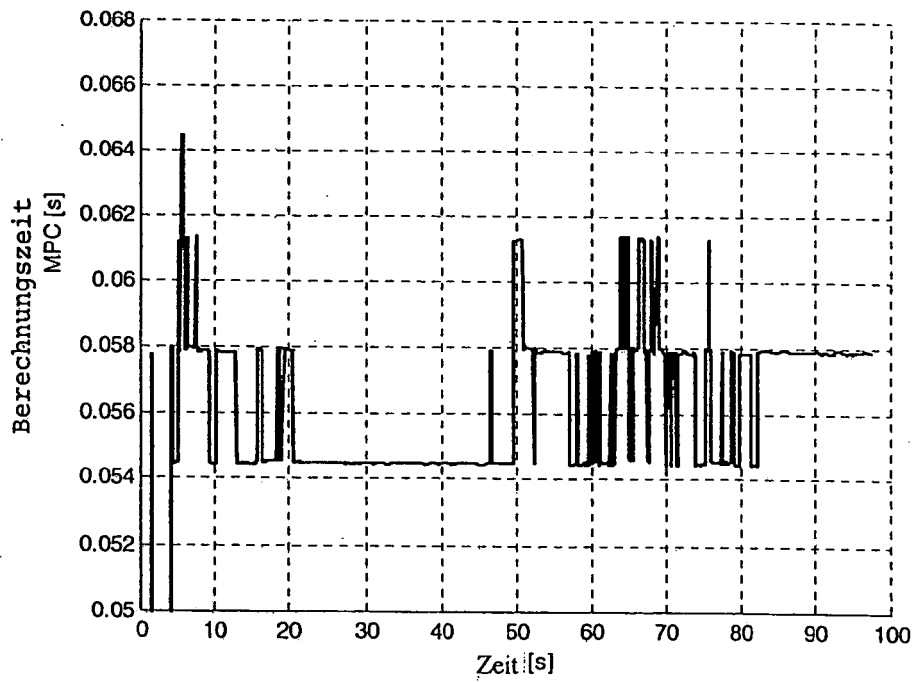


Fig. 14



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

- DE 10064182 [0002] [0094]
- DE 10324692 [0002] [0094]
- DE 10029579 [0003] [0094]
- DE 102006033277 [0003] [0094]
- DE 102006048988 [0155]