



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2009 Patentblatt 2009/43

(51) Int Cl.:
B66C 23/94 (2006.01) B66C 13/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08007630.0**

(22) Anmeldetag: **18.04.2008**

(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

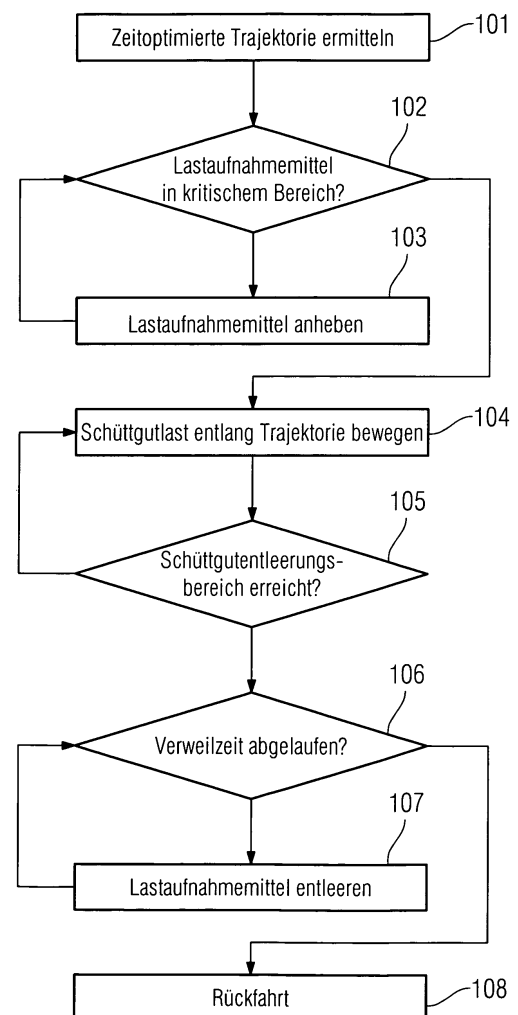
(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Lubricht, Jan**
28209 Bremen (DE)
• **Marks, Helmut**
26817 Rhaderfehn (DE)
• **Steinmetz, Carsten**
27798 Hude (DE)
• **Wöbse, Stephan**
29664 Walsrode (DE)

(54) **Verfahren zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast, Steuerungsprogramm und Kranautomatisierungssystem**

(57) Zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast stellt ein Regler zumindest eine Stellgröße für zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans zur Bewegung der Schüttgutlast mit einer vorgegebenen Abweichung entlang einer zeitoptimierten Trajektorie bereit. Die Trajektorie ist unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt. Ein die Schüttgutlast aufnehmendes Lastaufnahmemittel (402) wird an zumindest einem Überschwingpunkt innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs (405) entleert.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Große Hubhöhen von mit einem Kran transportierten Lasten bergen Sicherheitsrisiken und erfordern bei einem Transport ohne Pendeldämpfung sehr viel Erfahrung eines Kranführers. Kritisch sind außerdem lange Auspendelvorgänge, woraus auch für einen Schüttguttransport eine deutlich schlechtere Umschlagsleistung resultiert. Erschwerend kommt bei Schüttgut hinzu, daß eine unregelmäßige Schüttgutverteilung in einem Lastaufnahmemittel, beispielsweise in einem Greifer, ohne Regelungseingriffe zu einem ungleichmäßigen Hebevorgang führen kann, durch welchen weitere Lastpendelungen verursacht werden. Speziell bei einem Entladen von Schiffen können ohne wirksame Pendeldämpfungsmaßnahme schwere Beschädigungen an Wänden von Schiffsladeräumen durch einen Krangreifer verursacht werden. Aufgrund dieser Problematik kommt eine voll- oder teilautomatisierte Entladung von Schiffen mit Schüttgut bisher nicht in Betracht.

[0002] Versuche, Pendeldämpfungssystem für Containerkräne auf Schüttgutkräne zu adaptieren, sind bisher an erheblich zu langsamen Positionierungsvorgängen gescheitert, aus denen nicht akzeptable Umschlagsleistungen resultieren. Insbesondere erweisen sich Pendeldämpfungssysteme für Containerkräne als wenig geeignet, kontrollierte Lastpendelungen zur Steigerung der Umschlagleistung zuzulassen. Ein kontrolliertes Zulassen von Lastpendelungen sollte dabei insbesondere Randbedingungen einer Schiffsladeraumgeometrie Rechnung tragen, insbesondere im Hinblick auf Laderaumlukn und Frachtraummaße.

[0003] Aufgrund obiger Probleme werden bei Schüttgutkränen bisher keine geregelten Pendeldämpfungssysteme verwendet, sondern lediglich gesteuerte Systeme mit all ihren bekannten Unzulänglichkeiten, so daß nach wie vor sehr hohe Anforderungen an ein fahrerisches Können eines Kranführers bestehen. Außerdem sind für Schüttgut infolge einer Verwendung lediglich gesteuerter Systeme noch keine geeigneten Sensorsysteme zur zuverlässigen Erkennung von Lastpendelungen entwickelt worden.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast anzugeben, das kritische Lastpendelungen unterdrückt und schnelle Umschlagzeiten beim Be- und Entladen von Schüttgutlasten ermöglicht, sowie eine geeignete Implementierung des Verfahrens zu schaffen.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen, durch ein Steuerungsprogramm mit den in Anspruch 12 angegebenen Merkmalen und durch ein Kranautomatisierungssystem mit den in Anspruch 13 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0006] Entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast stellt ein Regler zumindest eine Stellgröße für zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans zur Bewegung der Schüttgutlast mit einer vorgegebenen Abweichung entlang einer zeitoptimierten Trajektorie bereit. Die zeitoptimierte Trajektorie ist unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt. Ein die Schüttgutlast aufnehmendes Lastaufnahmemittel wird an zumindest einem Überschwingpunkt innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs entleert. Die Abweichung, mit welcher die Schüttgutlast entlang der zeitoptimierten Trajektorie bewegt wird, kann beispielsweise durch Wahl eines Gütemaßes für einen Reglerentwurf, durch Festlegung von Gewichtungsfaktoren für das Gütemaß oder durch vorgebbare Reglerparameter beeinflusst werden.

[0007] Vorzugsweise ist die zeitoptimierte Trajektorie durch Minimierung eines quadratischen Gütemaßes für einen mit der zumindest einen Antriebseinrichtung gekoppelten Zustandsgrößenregler ermittelt. Zur Vereinfachung eines Reglerentwurfs kann der Zustandsgrößenregler für eine konstante Kranseillänge und eine vorgegebene durchschnittliche Schüttgutmasse entworfen sein. Auf diese Weise können robuste, verhältnismäßig einfach handhabbare Regelungssysteme realisiert werden.

[0008] Entsprechend einer bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung werden Sollwerte für eine Kran Katzenposition und für eine Kranseillänge erst auf eine Freigabe durch ein Kollisionserkennungssystem zur Überwachung des Schüttgutaufnahme- und/oder -entleerungsbereichs freigegeben. Hierdurch wird zumindest eine Teilautomatisierung eines Schüttgutumschlags ermöglicht, die entsprechend bisherigen Lösungen nicht realisiert ist.

[0009] Vorteilhafterweise wird zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans abgeschaltet, sobald die Schüttgutlast den Schüttgutentleerungsbereich erreicht. Die Antriebseinrichtung kann beispielsweise ein Motor für eine Kranseilwinde und/oder für einen Krankatzenantrieb sein. Nach einer vorgebbaren Verweilzeit zur Lastaufnahmemittelbewegung zum Schüttgutaufnahmebereich wird die Antriebseinrichtung wieder zugeschaltet. Während der Verweilzeit wird das Lastaufnahmemittel entleert. Dies bietet den Vorteil, daß keine Zeitverzögerungen durch eine Ausregelung des Lastaufnahmemittels in eine Ruheposition entstehen.

[0010] Das erfindungsgemäße Steuerungsprogramm ist in einen Arbeitsspeicher eines Rechners ladbar und weist zumindest einen Codeabschnitt auf, bei dessen Ausführung vorstehend beschriebene Verfahrensschritte ausgeführt werden, wenn das Computerprogramm im Rechner abläuft. Das erfindungsgemäße Kranautomatisierungssystem um-

faßt einen Regler für zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans zur Bewegung der Schüttgutlast mit höchstens einer vorgebbaren Abweichung entlang einer zeitoptimierten Trajektorie. Dabei ist die Trajektorie unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt. Außerdem ist ein Steuerungsmittel zur Entleerung eines die Schüttgutlast aufnehmenden Lastaufnahmemittels an zumindest einem Überschwingpunkt innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs vorgesehen.

[0011] Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Figur 1 ein Ablaufdiagramm für ein Verfahren zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast,

Figur 2a-c eine schematische Darstellung von Krankatz- und -greiferkinematik zur Erläuterung einer regelungstechnischen Modellierung eines Kransystems

Figur 3 ein regelungstechnisches Blockschaltbild für eine linearisierte Modellierung von Krankatz- undgreiferkinematik und für eine Kranregelung,

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Kransystems zur Schüttgutbe- und -entladung,

Figur 5 eine an einer Krananlage montierte Sensoranordnung zur Erfassung von Lastpendelungen.

[0012] Entsprechend dem in Figur 1 dargestellten Ablaufdiagramm Verfahren zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast wird zunächst unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast eine zeitoptimierte Trajektorie für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt (Schritt 101). Die zeitoptimierte Trajektorie wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch Minimierung eines quadratischen Gütemaßes für einen mit der zumindest einen Antriebseinrichtung gekoppelten Zustandsgrößenregler ermittelt. Bei dem Zustandsgrößenregler handelt es sich, wie nachstehend noch detaillierter ausgeführt wird, um einen Ricatti-Regler.

[0013] Nachfolgend wird überprüft, ob ein die Schüttgutlast aufnehmendes Lastaufnahmemittel in einem kritischen Bereich ist, in dem durch Lastpendelungen andere Gegenstände in Umgebung des Lastaufnahmemittels beschädigt werden könnten (Schritt 102). Hierdurch soll beispielsweise vermieden werden, daß eine Ladewand in einem Schiff oder Ladelukenkanten durch einen bei Beschleunigung einer Krankatze pendelnden Krangreifer beschädigt wird. Ist das Lastaufnahmemittel noch in einem kritischen Bereich, so wird es weiter angehoben (Schritt 103). Andernfalls wird zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans, beispielsweise ein Katzantrieb und/oder ein Hubantrieb, durch einen Kranregler derart geregelt, daß die Schüttgutlast mit höchstens einer vorgebbaren Abweichung entlang der ermittelten Trajektorie bewegt wird (Schritt 104). Hierbei wird fortlaufend überprüft, ob eine Grenze des Schüttgutentleerungsbereichs erreicht ist (Schritt 105). Ist der Schüttgutentleerungsbereich erreicht, beginnt eine Verweilzeit zu laufen, deren Ablauf überprüft wird (Schritt 106).

[0014] Ist die Verweilzeit noch nicht abgelaufen, wird das Lastaufnahmemittel auch an zumindest einem Überschwingpunkt unter Ausnutzung einer Pendelbewegung des Lastaufnahmemittels innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs entleert (Schritt 107). Da keine Ausregelung der Schüttgutlast in eine Ruheposition vor einem Absetzvorgang vorgenommen wird, ergibt sich hieraus eine erhebliche Verkürzung von Umschlagzeiten zwischen Be- und Entladung. Dadurch daß die Schüttgutlast innerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereichs entlang der ermittelten Trajektorie geführt wird, werden Lastpendelungen zwar nicht völlig eliminiert, jedoch zumindest auf ein sicherheitsunkritisches Maß begrenzt.

[0015] Ist die Verweilzeit abgelaufen, erfolgt eine Rückfahrt zum Schüttgutaufnahmebereich (Schritt 108). Hierzu wird der Kranregler von einer Ziellage über dem Schüttgutentleerungsbereich auf eine Ziellage über dem Schüttgutaufnahmebereich umgeschaltet. Dadurch werden Krankatze und Lastaufnahmemittel in Richtung Schüttgutaufnahmebereich beschleunigt. Hat das Lastaufnahme sich obigem kritischen Bereich weit genug genähert, wird ein endgültiger Sollwert für eine Kranseilverstellung aufgeschaltet und das Lastaufnahmemittel auf eine gewünschte Position abgesenkt. Damit ist ein Arbeitszyklus eines Schüttgutentladevorgangs beendet.

[0016] Die in den Figuren 2a-c schematisch dargestellte Krankatz- und -greiferkinematik dient zur Ableitung einer regelungstechnischen Modellierung eines Kransystems, das Grundlage für einen nachfolgend beschriebenen Reglerentwurf bildet. Ein Laufkatzen-Greifer-System mit einer Krankatze 201 und einem über ein Kranseil 203 mit dieser verbundenen Krangreifer 202 stellt aus regelungstechnischer Sicht ein zu regelndes Pendel dar.

[0017] Für die Krankatze 201 ergibt sich in x-Richtung - also in Fahrtrichtung - folgende Bewegungsgleichung (siehe Figur 2b):

$$m_K \cdot \ddot{x}_K = F_K + S \cdot \sin \vartheta$$

5 mit Krankatzenmasse m_K , Krankatzenkoordinate x_K , Krankatzenantriebskraft F_K , Seilzugkraft S und Krangreiferauslenkung ϑ .

[0018] Für den Krangreifer 202 ergeben sich entsprechend Figur 2c zwei Kraftbeziehungen. In x-Richtung gilt:

$$10 \quad m_K \cdot \ddot{x}_K = F_K + S \cdot \sin \vartheta .$$

[0019] In z-Richtung - also in Lasthubrichtung - ergibt sich:

$$15 \quad m_G \cdot \ddot{z}_G = m_G \cdot \ddot{x}_G - S \cdot \cos \vartheta$$

mit Krangreifermasse m_G und Krangreiferkoordinaten x_G , z_G .

20 **[0020]** Als kinematische Bedingungen ergeben sich:

$$x_G = x_K + r \cdot \sin \vartheta$$

$$25 \quad z_G = r \cdot \cos \vartheta$$

mit Kranseillänge r .

[0021] Für die kinetische Energie von Krankatze 201 und Krangreifer 202 gilt:

$$30 \quad W = \frac{1}{2} m_K \cdot \dot{x}_K^2 + \frac{1}{2} m_G (\dot{x}_G^2 + \dot{z}_G^2) .$$

[0022] Entsprechend folgendem Ansatz werden aus der kinetischen Energie die Lagrange'schen Bewegungsgleichungen abgeleitet:

$$40 \quad Q_K = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W}{\partial \dot{q}_K} \right) - \frac{\partial W}{\partial q_K} .$$

45 **[0023]** Hierin sind Q_K verallgemeinerte Kräfte und q_K verallgemeinerte Koordinaten. Als verallgemeinerte Koordinaten werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel x und ϑ verwendet, während Krankatzenantriebskraft F_K und Kraft F_ϑ auf den Krangreifer 202 in Richtung Koordinate ϑ als verallgemeinerte Kräfte ausgewählt werden. Für die Kraft F_ϑ ergibt sich:

$$50 \quad F_\vartheta = -m_G \cdot g \cdot r \cdot \sin \vartheta .$$

[0024] Damit ergeben sich folgende Bewegungsgleichungen für die Koordinaten x und ϑ :

55

$$F_K = (m_K + m_G) \ddot{x}_K + m_G r \ddot{\vartheta} \cdot \cos \vartheta - m_G r \dot{\vartheta}^2 \cdot \sin \vartheta + 2m_G \dot{r} \dot{\vartheta} \cdot \cos \vartheta + m_G \ddot{r} \cdot \sin \vartheta - g \cdot \sin \vartheta = \ddot{x}_K \cdot \cos \vartheta + r \ddot{\vartheta} + 2\dot{r} \dot{\vartheta}$$

[0025] Die Bewegungsgleichungen lassen sich für kleine Auslenkungswinkel ϑ mit folgenden Näherungen linearisieren:

$$\sin \vartheta \approx \vartheta \quad \cos \vartheta \approx 1 \quad \dot{\vartheta}^2 \approx 0$$

[0026] Damit ergeben sich folgende linearisierte Bewegungsgleichungen:

$$F_K = (m_K + m_G) \ddot{x}_K + m_G r \ddot{\vartheta} + 2m_G \dot{r} \dot{\vartheta} + m_G \ddot{r} \vartheta - g \cdot \vartheta = \ddot{x}_K + r \ddot{\vartheta} + 2\dot{r} \dot{\vartheta}$$

[0027] In Figur 3 ist ein regelungstechnisches Blockschaltbild für eine linearisierte Modellierung von Krankatz- und -greiferkinematik und für eine Kranregelung dargestellt. Das Blockschaltbild umfaßt eine Regelstrecke 301, welche die obigen linearisierten Bewegungsgleichungen für Krankatz- und -greiferkinematik widerspiegelt, eine Katzantriebseinrichtung 302 zur Bewegung der Krankatze 201 in x-Richtung, eine Hubantriebseinrichtung 303 zur Bewegung des Krangreifers 202 in z-Richtung, einen Zustandsgrößenregler 311, einen Regler 321 sowie einen Vorfilter 322 für die Katzantriebseinrichtung und einen Regler 331 für die Hubantriebseinrichtung umfaßt (siehe auch Figuren 2a-c).

[0028] Der Regler 321 und der Vorfilter 322 geben als Stellgröße für die Katzantriebseinrichtung 302 einen Drehmomentsollwert an einer Seiltrommel der Katzantriebseinrichtung vor. Dieser Drehmomentsollwert wird mit einem durch den Zustandsgrößenregler 311 bereitgestellten Drehmomentwert für die Katzantriebseinrichtung 302 verglichen. Basierend auf einem Vergleichsergebnis wird eine Stellgröße für die Katzantriebseinrichtung 302 vorgegeben. Ein Drehmoment an einer Seiltrommel der Hubantriebseinrichtung 303 ist Stellgröße für eine Regelung der Seillänge r, die wiederum adaptiv den Zustandsgrößenregler 311 beeinflusst.

[0029] Eine Positionsregelung des Krangreifers 202 wird in eine Positionsregelung der Krankatze 201 und eine Regelung der Seillänge aufgeteilt. Die Positionsregelung der Krankatze erfolgt durch einen Positionsregler mit einer unterlagerten Geschwindigkeitsregelung. Der Positionsregler ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Proportionalregler mit Verstärkungsfaktor K_P sowie zusätzlicher Stellgrößenbegrenzung hinsichtlich Betrag und Steigung.

[0030] Der Ausgang des Positionsreglers ist Sollwert für eine unterlagerte Zustandsgrößenregelung einer Katzgeschwindigkeit, für die auch der Vorfilter 322 vorgesehen ist. Eine gewünschte Pollage für den Zustandsgrößenregler 311 wird durch eine Optimierung nach Ricatti für eine mittlere Seillänge und eine mittlere Greifermasse ermittelt. Bei der Optimierung werden Katzgeschwindigkeit, Pendelwinkel, Pendelwinkelgeschwindigkeit und Stellgröße für die Katzantriebseinrichtung 302 durch Gewichtungsmatrizen Q und R für ein quadratisches Gütemaß J berücksichtigt. Das Gütemaß J hat folgende Form:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \begin{pmatrix} \dot{x}_K & \vartheta & \dot{\vartheta} \end{pmatrix} Q \begin{pmatrix} \dot{x}_K \\ \vartheta \\ \dot{\vartheta} \end{pmatrix} + M_K^{STELL} R M_K^{STELL} dt$$

mit Stellgröße M_K^{STELL} .

[0031] Durch das Gütemaß J wird dabei Anforderungen Rechnung getragen, daß einerseits ein Übergang eines beliebigen Anfangszustands in einen gewünschten Endzustand nicht zu langsam erfolgen soll und Überschwingungen nicht zu stark sein sollen, und daß andererseits eine für den Übergang erforderliche Stellenenergie im Sinne eines Stellgrößenverbrauchs möglichst klein sein soll.

[0032] Der Zustandsgrößenregler 311 wird mit Hilfe der linearisierten Modellierung von Krankatz- und -greiferkinematik zunächst für eine konstante Seillänge und eine mittlere Greifermasse entworfen. Eine dabei ermittelte optimale Pollage für den Zustandsgrößenregler 311 dient dann als Basis für einen Reglerentwurf nach Ackermann, bei dem Seillänge

und Greifermasse als offene Parameter mitgeführt werden. Dadurch ergibt sich ein bezüglich der Seillänge adaptiver Regler. Eine den Zustandsgrößenregler 311 beschreibende Zustandsrückführung $K(r)$ für das Drehmoment M_K der Katzantriebseinrichtung 302 lautet damit:

$$M_K = -(K_1(r) \quad K_2(r) \quad K_3(r)) \cdot \begin{pmatrix} \dot{x}_K \\ g \\ \dot{g} \end{pmatrix}$$

mit

$$\begin{pmatrix} K_1(r) \\ K_2(r) \\ K_3(r) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{m_K}{g} p_0 \cdot r \\ (m_K + m_G)g - m_K p_1 \cdot r \\ \frac{m_K}{g} p_0 \cdot r^2 - m_K p_2 \cdot r \end{pmatrix},$$

wobei p_0, p_1, p_2 Koeffizienten eines durch Minimierung des obigen Gütemaßes J bestimmten charakteristischen Polynoms sind.

[0033] Weiterhin gilt für den Vorfilter 322 folgende Beziehung, um mit dem Zustandsgrößenregler 311 eine stationäre Genauigkeit zu erreichen:

$$M_K^{SOLL} = v_K^{SOLL} \cdot K_1(r).$$

[0034] Der Regler 331 für die Hubantriebseinrichtung 303 zur Einstellung der Seillänge ist ein zeitoptimaler Positionsregler.

[0035] Da sich der Krangreifer nur innerhalb eines bestimmten Bereichs bewegen sollte, beispielsweise sollte er nicht gegen eine Kaimauer oder eine Schiffsluke schlagen, ist zusätzlich eine Vorsteuerung vorgesehen. Diese Vorsteuerung gibt Sollwerte für Katzposition und Seillänge erst dann freigibt, wenn keine Kollisionsgefahr mehr besteht. Der Sollwert für die Katzposition bei einem in Figur 4 schematisch dargestellten Schüttguttransport von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs 404 zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich 405 entlang einer zeitoptimalen Trajektorie 421 wird erst dann freigegeben, wenn der Krangreifer 402 beispielsweise aus einem Schiff herausgehoben ist. Ebenso wird der Krangreifer 402 erst dann auf Höhe einer Schiffsluke abgesenkt, wenn er sich über der offenen Schiffsluke befindet. Zur Realisierung einer derartigen Freihubfunktion werden Position einer Schiffslukenkante x_L , Höhe der Schiffslukenkante z_L , maximale Beschleunigung $a_{K \max}$ der Krankatze 401 und maximale Absenkgeschwindigkeit $V_{SENK \max}$ des Kranseils 403 erfaßt.

[0036] Eine Freigabe einer Katzfahrt vom Schüttgutaufnahmebereich 404 im Schiff zum Schüttgutentleerungsbereich 405 und eine Freigabe eines Anhebens des Krangreifers 402 erfolgen erst dann, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$(z_L - r) - \sqrt{\frac{2|x_L - x_K|}{a_{K \max}}} \cdot \dot{r} > 0.$$

[0037] Auch bei maximaler Beschleunigung kann die Krankatze 401 somit die Schiffslukenkante nicht mehr erreichen, bevor der Krangreifer 402 aus der Schiffsluke herausgeführt ist, wenn er mit konstanter Hubgeschwindigkeit weiter angehoben wird.

[0038] Ein Absenken des Krangreifers 402 im Schüttgutaufnahmebereich 404 nach einer Rückfahrt zum Schiff wird erst freigegeben, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\frac{r - z_L}{v_{SENK \max}} \dot{x}_K - (x_L - (x_K + r \cdot \sin \vartheta)) > 0 .$$

- 5 **[0039]** Auch bei Absenken des Krangreifers 402 mit maximaler Geschwindigkeit erreicht der Krangreifer 402 somit nicht die Höhe der Schiffslukenkante, bevor er sich darüber befindet, wenn die Krankatze 401 mit momentaner Geschwindigkeit weiterfährt.
- 10 **[0040]** Erreicht der Krangreifer 402 den Schüttgutentleerungsbereich 405, so beginnt eine frei wählbare Zeit für eine Verweildauer über dem Schüttgutentleerungsbereich 405 zu laufen. Während dieser Zeit bewegt sich der Krangreifer 402 weiter in Richtung Mittelpunkt des Schüttgutentleerungsbereichs 405 bzw. verharret über dem Schüttgutentleerungsbereich 405. Nach Ablauf der Verweildauer wird eine Rückfahrt zum Schüttgutaufnahmebereich 404 ausgelöst. Hierzu werden Sollwerte für Katzposition und Seillänge entsprechend einer Greiferposition über bzw. im Schüttgutaufnahmebereich 404 vorgegeben.
- 15 **[0041]** Die in Figur 5 dargestellte an einer Krananlage montierte Sensoranordnung zur Erfassung von Lastpendelungen umfaßt einen aktiven Marker 521 am Krangreifer 502 und eine mit der Krankatze 501 bewegte den Marker 521 erfassende Kamera 511. Von der Kamera 511 erfaßte Signale werden über eine Funkverbindung 561, beispielsweise eine W-LAN-Verbindung, zu einer Empfängerstation 506 an einem schüttgutaufnahmebereichsseitigen Kranauslegerende 504 und von dort über eine leitungsgebundene Verbindung zu einer Auswerteeinrichtung 507 übermittelt. Die Auswerteeinrichtung
- 20 507 kann beispielsweise in einem Elektroraum eines Krans angeordnet sein. Die Kamera 511 wird durch zumindest einen mit einer Seilrolle der Krankatze 501 verbundenen Generator mit Energie versorgt. Zusätzlich werden mittels eines regelungstechnischen Beobachtermodells für den Krangreifer 502 Lastpendelungen ermittelt. Auf diese Weise ist auch eine Erfassung von Lastpendelungen für Zeitintervalle sichergestellt, in denen die Kamera 521 keine Meßwerte oder Meßwerte in geringer Abtastdichte liefert. Bei Bedarf kann auch an einem schüttgutentleerungsbereichsseitigen
- 25 Kranauslegerende 505 eine Funk-Empfängerstation installiert werden, welche mittels eines Handover-Mechanismus eine Funkverbindung zur Kamera 511 aufbaut und von der Kamera 511 empfangene Signal an die Auswerteeinrichtung weiterleitet.
- [0042]** Die Anwendung der vorliegenden Erfindung ist nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt.

30

Patentansprüche

1. Verfahren zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast, bei dem
 - 35 - ein Regler zumindest eine Stellgröße für zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans zur Bewegung der Schüttgutlast mit einer vorgegebenen Abweichung entlang einer zeitoptimierten Trajektorie bereitstellt, die unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt ist,
 - 40 - ein die Schüttgutlast aufnehmendes Lastaufnahmemittel an zumindest einem Überschwingpunkt innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs entleert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
 - bei dem die zeitoptimierte Trajektorie durch Minimierung eines quadratischen Gütemaßes für einen mit der zumindest
 - 45 einen Antriebseinrichtung gekoppelten Zustandsgrößenregler ermittelt ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2,
 - bei dem der Zustandsgrößenregler ein Ricatti-Regler ist.
- 50 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,
 - bei dem der Zustandsgrößenregler für eine konstante Kranseillänge und eine vorgegebene durchschnittliche Schüttgutmasse entworfen ist.
- 55 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
 - bei dem Sollwerte für eine Krankatzenposition und für eine Kranseillänge erst auf eine Freigabe durch ein Kollisionserkennungssystem zur Überwachung des Schüttgutaufnahme- und/oder -entleerungsbereichs freigegeben werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
bei dem die zumindest eine Antriebseinrichtung abgeschaltet wird, sobald die Schüttgutlast den Schüttgutentleerungsbereich erreicht, und nach einer vorgebbaren Verweilzeit zur Lastaufnahmemittelbewegung zum Schüttgutaufnahmebereich wieder zugeschaltet wird, und bei dem das Lastaufnahmemittel während der Verweilzeit entleert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei dem die zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans ein Motor für eine Kranseilwinde und/oder für einen Krankatzenantrieb ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
bei dem Lastpendelungen mittels eines aktiven Markers am Lastaufnahmemittel und mittels einer mit einer Krankatze bewegte den Marker erfassenden Kamera ermittelt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
bei dem von der Kamera erfaßte Signale über eine Funkverbindung zu einer Empfängerstation an einem schüttgutaufnahmebereichsseitigen Kranauslegerende und von dort über eine leitungsgebundene Verbindung zu einer Auswerteeinrichtung übermittelt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
bei dem die Kamera durch zumindest einen mit einer Seilrolle der Krankatze verbundenen Generator mit Energie versorgt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
bei dem zusätzlich mittels eines regelungstechnischen Beobachtermodells für das Lastaufnahmemittel Lastpendelungen ermittelt werden.
12. Steuerungsprogramm, das in einen Arbeitsspeicher eines Rechners ladbar ist und zumindest einen Codeabschnitt aufweist, bei dessen Ausführung
 - ein Regler zumindest eine Stellgröße für zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans zur Bewegung der Schüttgutlast mit einer vorgegebenen Abweichung entlang einer zeitoptimierten Trajektorie bereitstellt, die unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt ist,
 - ein die Schüttgutlast aufnehmendes Lastaufnahmemittel an zumindest einem Überschwingpunkt innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs entleert wird, wenn das Computerprogramm im Rechner abläuft.
13. Kranautomatisierungssystem zur Dämpfung von Pendelungen einer durch einen Kran geführten Schüttgutlast mit
 - einem Regler für zumindest eine Antriebseinrichtung des Krans zur Bewegung der Schüttgutlast mit höchstens einer vorgebbaren Abweichung entlang einer zeitoptimierten Trajektorie, die unter Berücksichtigung eines Schwingungsmodells der durch den Kran geführten Schüttgutlast für eine Bewegung der Schüttgutlast von einem Startpunkt innerhalb eines Schüttgutaufnahmebereichs zu einem vorgebbaren Schüttgutentleerungsbereich ermittelt ist,
 - einem Steuerungsmittel zur Entleerung eines die Schüttgutlast aufnehmenden Lastaufnahmemittels an zumindest einem Überschwingpunkt innerhalb des Schüttgutentleerungsbereichs.

FIG 1

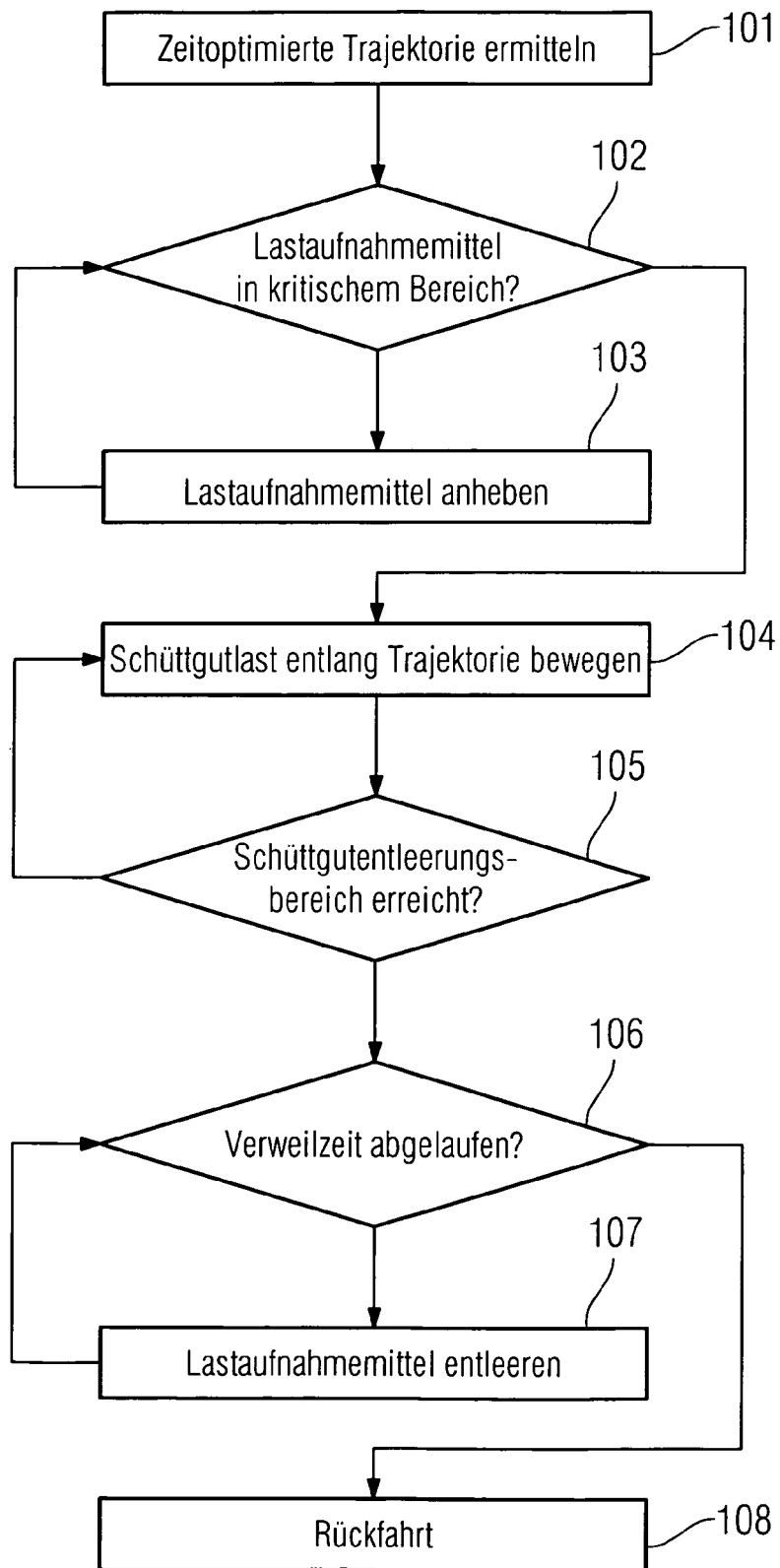


FIG 2A

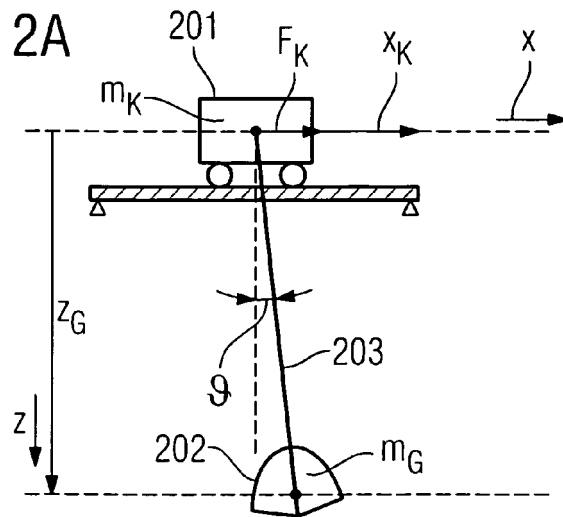


FIG 2B

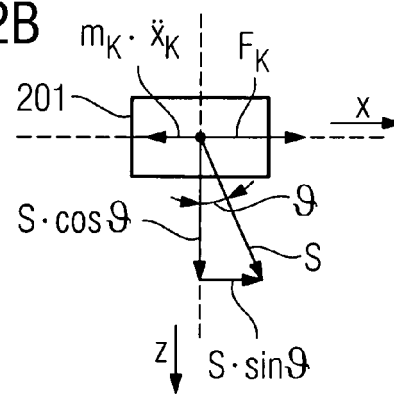


FIG 2C

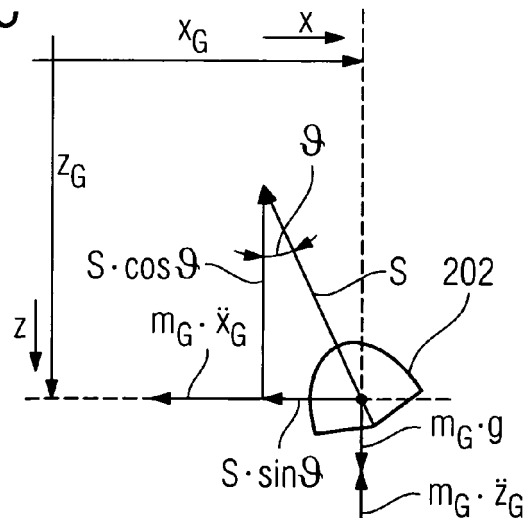


FIG 3

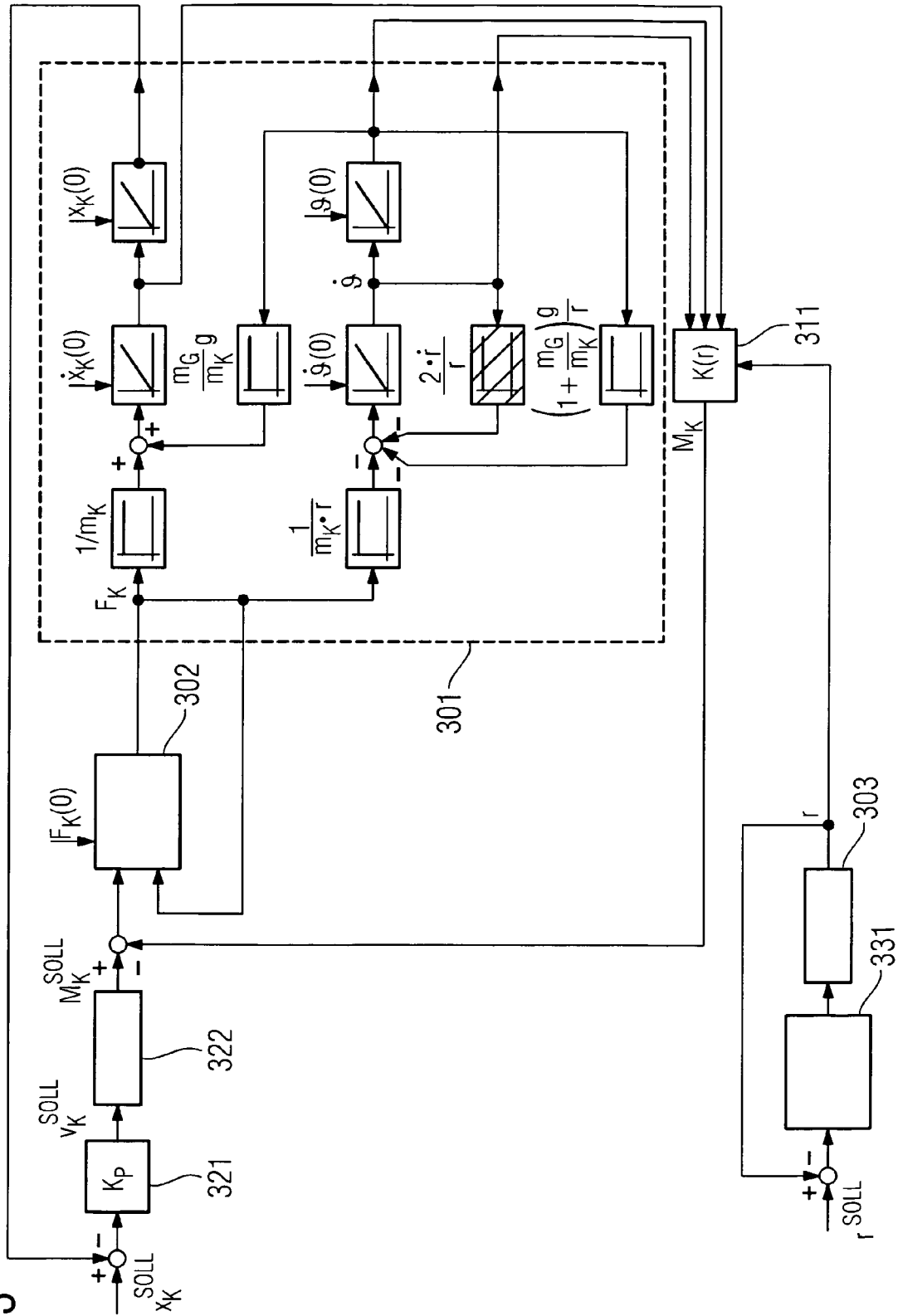


FIG 4

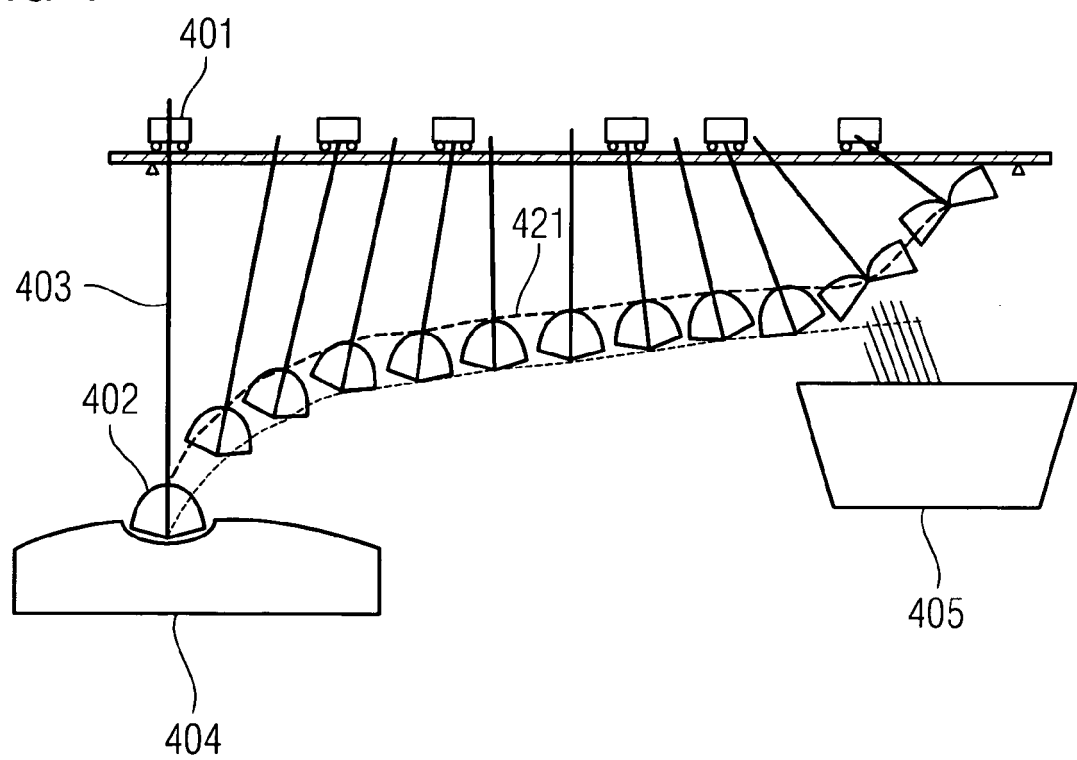
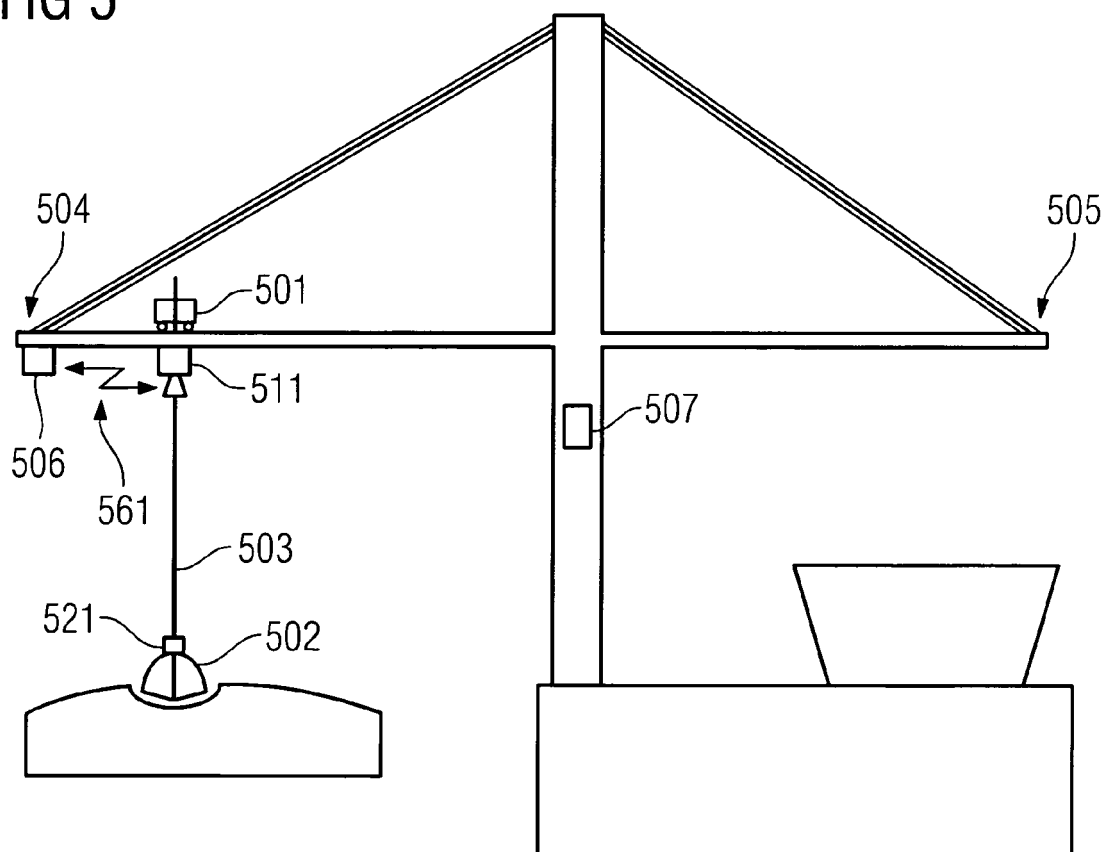


FIG 5





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 08 00 7630

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 32 33 899 A1 (ASEA AB [SE]) 7. April 1983 (1983-04-07)	1,2,4, 11-13	INV. B66C23/94
Y	* das ganze Dokument *	7-9	B66C13/06
Y	----- DE 26 37 696 A1 (LICENTIA GMBH) 23. Februar 1978 (1978-02-23) * das ganze Dokument *	7	
Y	----- DE 20 2005 002315 U1 (ISAM AG [DE]) 16. Juni 2005 (2005-06-16) * Absatz [0008] - Absatz [0011]; Abbildungen 1,2 * -----	8,9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B66C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. September 2008	Prüfer Masset, Markus
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 08 00 7630

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-09-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3233899 A1	07-04-1983	CH 662329 A5	30-09-1987
		JP 1645283 C	28-02-1992
		JP 2062471 B	25-12-1990
		JP 58063684 A	15-04-1983
		SE 429748 B	26-09-1983
		SE 8105570 A	22-03-1983
		US 4512711 A	23-04-1985
DE 2637696 A1	23-02-1978	KEINE	
DE 202005002315 U1	16-06-2005	EP 1851157 A2	07-11-2007
		EP 1958915 A2	20-08-2008
		WO 2006084739 A2	17-08-2006

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82