



(10) **DE 10 2016 004 350 A1** 2017.10.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 004 350.4**

(22) Anmeldetag: **11.04.2016**

(43) Offenlegungstag: **12.10.2017**

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

(71) Anmelder:
**Liebherr-Components Biberach GmbH, 88400
Biberach, DE**

(74) Vertreter:
**Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte
Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538
München, DE**

(72) Erfinder:
**Palberg, Michael, 88499 Riedlingen, DE; Resch,
Jürgen, 88456 Ingoldingen, DE; Fenker, Oliver,
Dr.-Ing., 88447 Warthausen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

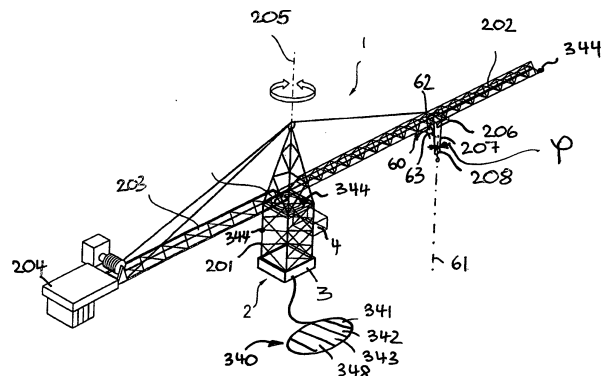
DE	10 2011 001 112	A1
DE	10 2012 004 739	A1
DE	10 2013 012 019	A1
US	2013 / 0 161 279	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Kran und Verfahren zum Steuern eines solchen Krans**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Kran, insbesondere einen Turmdrehkran, mit einem an einem Hubseil angebrachten Lastaufnahmemittel, Antriebseinrichtungen zum Bewegen mehrerer Kranelemente und Verfahren des Lastaufnahmemittels, einer Steuervorrichtung zum Steuern der Antriebseinrichtungen derart, dass das Lastaufnahmemittel entlang eines Fahrwegs verfährt, sowie einer Pendeldämpfungseinrichtung zum Dämpfen von Pendelbewegungen des Lastaufnahmemittels, wobei die genannte Pendeldämpfungseinrichtung einen Steuerbaustein zum Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen in Abhängigkeit von pendelrelevanten Kriterien aufweist. Es wird vorgeschlagen, bei den pendeldämpfenden Maßnahmen nicht nur die eigentliche Pendelbewegung des Seils an sich zu berücksichtigen, sondern auch die Dynamik des Stahlbaus des Krans und dessen Antriebsstränge.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Kran, insbesondere einen Turmdrehkran, mit einem an einem Hubseil angebrachten Lastaufnahmemittel, Antriebseinrichtungen zum Bewegen mehrerer Kranelemente und Verfahren des Lastaufnahmemittels, einer Steuervorrichtung zum Steuern der Antriebseinrichtungen derart, dass das Lastaufnahmemittel entlang eines Fahrwegs verfährt, sowie einer Pendeldämpfungseinrichtung zum Dämpfen von Pendelbewegungen des Lastaufnahmemittels, wobei die genannte Pendeldämpfungseinrichtung einen Steuerbaustein zum Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen in Abhängigkeit von pendelrelevanten Kriterien aufweist. Die Erfindung betrifft ferner auch ein Verfahren zum Steuern eines Krans, bei dem die Ansteuerung der Antriebseinrichtungen von einer Pendeldämpfungseinrichtung in Abhängigkeit von pendelrelevanten Parametern beeinflusst wird

[0002] Um den Lasthaken eines Krans entlang eines Fahrwegs bzw. zwischen zwei Zielpunkten verfahren zu können, müssen üblicherweise diverse Antriebseinrichtungen betätigt und gesteuert werden. Beispielsweise bei einem Turmdrehkran, bei dem das Hubseil von einer Laufkatze abläuft, die am Ausleger des Krans verfahrbar ist, muss üblicherweise das Drehwerk, mittels dessen der Turm mit dem darauf vorgesehenen Ausleger bzw. der Ausleger relativ zum Turm um eine aufrechte Drehachse verdreht werden, sowie der Katzantrieb, mittels dessen die Laufkatze entlang des Auslegers verfahren werden kann, und das Hubwerk, mittels dessen das Hubseil verstellt und damit der Lasthaken angehoben und abgesenkt werden kann, jeweils betätigt und gesteuert werden. Die genannten Antriebseinrichtungen werden hierbei üblicherweise vom Kranführer über entsprechende Bedienelemente wie beispielsweise in Form von Joysticks, Kippschaltern, Drehknöpfen und Schiebern und dergleichen betätigt und gesteuert, was erfahrungsgemäß viel Gefühl und Erfahrung benötigt, um die Zielpunkte rasch und dennoch sanft ohne größere Pendelbewegungen des Lasthakens anzufahren. Während zwischen den Zielpunkten möglichst rasch gefahren werden soll, um eine hohe Arbeitsleistung zu erzielen, soll am jeweiligen Zielpunkt sanft angehalten werden, ohne dass der Lasthaken mit der daran angeschlagenen Last nachpendelt.

[0003] Ein solches Steuern der Antriebseinrichtungen eines Krans ist angesichts der erforderlichen Konzentration für den Kranführer ermüdend, zumal oft immer wiederkehrende Fahrwege und monotone Aufgaben zu erledigen sind, beispielsweise wenn beim Betonieren ein am Kranhaken aufgenommener Betonkübel vielfach zwischen einem Betonmischer, an dem der Betonkübel befüllt wird, und einem Betonbereich, in dem der Betonkübel entleert wird, hin und her verfahren werden muss. Zum anderen kommt es

bei nachlassender Konzentration oder auch bei einer nicht ausreichenden Erfahrung mit dem jeweiligen Krantyp zu größeren Pendelbewegungen der aufgenommenen Last und damit zu einem entsprechenden Gefährdungspotenzial, wenn der Kranführer die Bedienelemente bzw. -elemente des Krans nicht feinfühlig genug bedient.

[0004] Um der Problematik unerwünschter Pendelbewegungen zu begegnen, wurde bereits vorgeschlagen, die Steuervorrichtung des Krans mit Pendeldämpfungseinrichtungen zu versehen, die mittels Steuerbausteinen in die Steuerung eingreifen und das Ansteuern der Antriebseinrichtungen beeinflussen, beispielsweise zu große Beschleunigungen einer Antriebseinrichtung durch zu schnelles oder zu starkes Betätigen des Bedienelements verhindern oder abschwächen oder bestimmte Fahrweggeschwindigkeiten bei größeren Lasten beschränken oder in ähnlicher Weise in die Fahrwegbewegungen eingreifen, um ein zu starkes Pendeln des Lasthakens zu verhindern.

[0005] Solche Pendeldämpfungseinrichtungen für Krane sind in verschiedenen Ausführungen bekannt, beispielsweise durch Ansteuerung der Drehwerk-, Wipp- und Laufkatzenantriebe in Abhängigkeit von bestimmten Sensorsignalen, beispielsweise Neigungs- und/oder Gyroskopsignalen. Beispielsweise zeigen die Schriften DE 20 2008 018 260 U1 oder DE 10 2009 032 270 A1 bekannte Lastpendeldämpfungen an Kranen, auf deren Gegenstand insoweit, das heißt hinsichtlich der Grundlagen der Pendeldämpfungseinrichtung, ausdrücklich Bezug genommen wird. Bei der DE 20 2008 018 206 U1 wird beispielsweise mittels einer Gyroskopeinheit der Seilwinkel relativ zur Vertikalen und dessen Änderung in Form der Seilwinkelgeschwindigkeit gemessen, um bei Überschreiten eines Grenzwerts für die Seilwinkelgeschwindigkeit gegenüber der Vertikalen automatisch in die Steuerung einzugreifen.

[0006] Ferner ist von der Firma Liebherr unter dem Namen „Cycoptronic“ ein Lastpendeldämpfungssystem für maritime Krane bekannt, welches Lastbewegungen und Einflüsse wie Wind im Voraus berechnet und auf Basis dieser Vorabrechnung automatisch Kompensationsbewegungen einleitet, um ein Schwingen der Last zu vermeiden. Konkret werden auch bei diesem System mittels Gyroskopen der Seilwinkel gegenüber der Vertikalen und dessen Änderungen erfasst, um in Abhängigkeit der Gyroskopsignale in die Steuerung einzugreifen.

[0007] Bei langen, schlanken Kranstrukturen mit ambitionierter Traglastauslegung, wie dies insbesondere bei Turmdrehkränen der Fall ist, ist es mit herkömmlichen Pendeldämpfungseinrichtungen jedoch bisweilen schwierig, in der richtigen Art und Weise in die Ansteuerung der Antriebe einzugreifen, um

die gewünschte, pendeldämpfende Wirkung zu erzielen. Hierbei kommt es im Bereich der Strukturteile, insbesondere des Turms zu dynamischen Effekten und elastischem Verformen der Strukturteile, wenn ein Antrieb beschleunigt oder abgebremst wird, sodass sich Eingriffe in die Antriebseinrichtungen – beispielsweise Abbremsen oder Beschleunigen des Katzantriebs oder des Drehwerks – nicht direkt in der gewünschten Weise auf die Pendelbewegung des Lasthakens auswirken. Zum einen kann es durch dynamische Wirkungen in den Strukturteilen zu Zeitverzögerungen bei der Übertragung auf das Hubseil und den Lasthaken kommen, wenn Antriebe pendeldämpfend betätigt werden. Zum anderen können die genannten dynamischen Effekte auch übermäßige oder sogar kontraproduktive Auswirkungen auf ein Lastpendel haben. Wenn beispielsweise eine Last durch zunächst zu schnelles Betätigen des Laufkatzantriebs nach hinten zum Turm hin pendelt und die Pendeldämpfungseinrichtung gegensteuert, indem der Katzantrieb verzögert wird, kann es zu einer Nickbewegungen des Auslegers kommen, da sich der Turm entsprechend verformt, wodurch die gewünschte pendeldämpfende Wirkung beeinträchtigt werden kann.

[0008] Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Kran sowie ein verbessertes Verfahren zu dessen Steuerung zu schaffen, die Nachteile des Standes der Technik vermeiden und letzteren in vorteilhafter Weise weiterbilden. Insbesondere soll eine verbesserte Pendeldämpfung bei Turmdrehkränen erzielt werden, die die mannigfachen Einflüsse der Kranstruktur besser berücksichtigt.

[0009] Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe durch einen Kran gemäß Anspruch 1 sowie ein Verfahren gemäß Anspruch 13 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0010] Es wird also vorgeschlagen, bei den pendeldämpfenden Maßnahmen nicht nur die eigentliche Pendelbewegung des Seils an sich zu berücksichtigen, sondern auch die Dynamik des Stahlbaus des Krans und dessen Antriebsstränge. Der Kran wird nicht mehr als unbeweglicher Starrkörper angenommen, der Antriebsbewegungen der Antriebseinrichtungen unmittelbar und identisch, d. h. 1:1 in Bewegungen des Aufhängungspunktes des Hubseils umsetzt. Stattdessen betrachtet die Pendeldämpfungseinrichtung den Kran als weiche Struktur, die in ihren Stahlbauteilen wie beispielsweise dem Turmgitter, und in Antriebssträngen Elastizitäten und Nachgiebigkeiten bei Beschleunigungen zeigt, und berücksichtigt diese Dynamik der Strukturteile des Krans bei der pendeldämpfenden Beeinflussung der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen.

[0011] Erfindungsgemäß umfasst die Pendeldämpfungseinrichtung Bestimmungsmittel zum Bestimmen von dynamischen Verformungen und Bewegungen von Strukturbauteilen unter dynamischen Lasten, wobei der Steuerbaustein der Pendeldämpfungseinrichtung, der das Ansteuern der Antriebseinrichtung pendeldämpfend beeinflusst, dazu ausgebildet ist, beim Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen die bestimmten dynamischen Verformungen der Strukturbauteile des Krans zu berücksichtigen.

[0012] Die Pendeldämpfungseinrichtung betrachtet also die Kran- bzw. Maschinenstruktur nicht als starre, sozusagen unendlich steife Struktur, sondern geht von elastisch verformbaren und/oder nachgiebigen und/oder relativ weichen Struktur aus, die – zusätzlich zu den Stellbewegungsachsen der Maschine wie beispielsweise der Auslegerwippachse oder der Turmdrehachse – Bewegungen und/oder Positionsänderungen durch Verformungen der Strukturbauteile zulässt. Die Berücksichtigung der Beweglichkeit der Maschinenstruktur infolge von Strukturverformungen unter Last oder dynamischen Belastungen ist gerade bei langgestreckten, schlanken und von den statischen und dynamischen Randbedingungen her bewusst – unter Berücksichtigung der notwendigen Sicherheiten – ausgereizten Strukturen wie bei Turmdrehkränen von Bedeutung, da hier spürbare Bewegungsanteile beispielsweise für den Ausleger und damit die Lasthakenposition durch die Verformungen der Strukturbauteile hinzukommen. Um die Pendelursachen besser bekämpfen zu können, berücksichtigt die Pendeldämpfung solche Verformungen und Bewegungen der Maschinenstruktur unter dynamischen Belastungen.

[0013] Solche elastischen Verformungen und Bewegungen der Strukturbauteile und Antriebsstränge und die sich hierdurch einstellenden Eigenbewegungen können grundsätzlich in verschiedener Art und Weise bestimmt werden. In Weiterbildung der Erfindung können die genannten Bestimmungsmittel eine Schätzeinrichtung umfassen, die die Verformungen und Bewegungen der Maschinenstruktur unter dynamischen Belastungen, die sich in Abhängigkeit von am Steuerstand eingegebenen Steuerbefehlen und/oder in Abhängigkeit von bestimmten Ansteueraktionen der Antriebseinrichtungen und/oder in Abhängigkeit bestimmter Geschwindigkeits- und/oder Beschleunigungsprofile der Antriebseinrichtungen ergeben, unter Berücksichtigung von die Kranstruktur charakterisierenden Gegebenheiten abschätzt.

[0014] Eine solche Schätzeinrichtung kann beispielsweise auf ein Datenmodell zugreifen, in dem Strukturgrößen des Krans wie Turmhöhe, Auslegerlänge, Steifigkeiten, Flächenträgheitsmomente und ähnliches abgelegt und/oder miteinander verknüpft

sind, um dann anhand einer konkreten Lastsituation, also Gewicht der am Lasthaken aufgenommenen Last und momentane Ausladung, abzuschätzen, welche dynamischen Effekte, das heißt Verformungen im Stahlbau und in den Antriebssträngen für eine bestimmte Betätigung einer Antriebseinrichtung ergeben. In Abhängigkeit einer solchermaßen geschätzten dynamischen Wirkung kann die Pendeldämpfungseinrichtung dann in die Ansteuerung der Antriebseinrichtungen eingreifen und die Stellgrößen der Antriebsregler der Antriebseinrichtungen beeinflussen, um Pendelbewegungen des Lasthakens und des Hubseils zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

[0015] Insbesondere kann die Bestimmungseinrichtung zur Bestimmung solcher Strukturverformungen eine Berechnungseinheit aufweisen, die diese Strukturverformungen und sich daraus ergebende Strukturteillbewegungen anhand eines gespeicherten Berechnungsmodells in Abhängigkeit der am Steuerstand eingegebenen Steuerbefehle berechnet. Ein solches Modell kann ähnlich einem Finite-Elemente-Modell aufgebaut sein oder ein Finite-Elemente-Modell sein, wobei vorteilhafterweise jedoch ein gegenüber einem Finite-Elemente-Modell deutlich vereinfachtes Modell verwendet wird, das beispielsweise empirisch durch Erfassung von Strukturverformungen unter bestimmten Steuerbefehlen und/oder Belastungszuständen am echten Kran bzw. der echten Maschine bestimmt werden kann. Ein solches Berechnungsmodell kann beispielsweise mit Tabellen arbeiten, in denen bestimmten Steuerbefehlen bestimmte Verformungen zugeordnet sind, wobei Zwischenwerte der Steuerbefehle mittels einer Interpolationsvorrichtung in entsprechende Verformungen umgerechnet werden können.

[0016] Alternativ oder zusätzlich zu einem Abschätzen oder Berechnen der elastischen Verformungen und dynamischen Bewegungen der Strukturbauteile kann die Pendeldämpfungseinrichtung auch eine geeignete Sensorik umfassen, mittels derer solche elastischen Verformungen und Bewegungen von Strukturbauteilen unter dynamischen Belastungen erfasst werden. Eine solche Sensorik kann beispielsweise Verformungssensoren wie Dehnungsmessstreifen am Stahlbau des Krans, beispielsweise den Gitterfachwerken des Turms oder des Auslegers umfassen. Alternativ oder zusätzlich können Beschleunigungs- und/oder Geschwindigkeitssensoren vorgesehen sein, um bestimmte Bewegungen von Strukturbauteilen wie beispielsweise Nickbewegungen der Auslegerspitze oder rotatorische Dynamikeffekte am Ausleger zu erfassen. Alternativ oder zusätzlich können auch Neigungssensoren oder Gyroskope beispielsweise am Turm, insbesondere an dessen oberen Abschnitt, an dem der Ausleger gelagert ist, vorgesehen sein, um die Dynamik des Turms zu erfassen. Beispielsweise führen ruckartige Hubbewegungen zu Nickbewegungen des Auslegers, die mit Bie-

gebewegungen des Turm einhergehen, wobei eine Nachschwingen des Turm wiederum zu Nickschwingungen des Auslegers führt, was mit entsprechenden Lasthakenbewegungen einhergeht. Alternativ oder zusätzlich können auch den Antriebssträngen Bewegungs- und/oder Beschleunigungssensoren zugeordnet sein, um die Dynamik der Antriebsstränge erfassen zu können. Beispielsweise können den Umlenkrollen der Laufkatze für das Hubseil und/oder Umlenkrollen für ein Abspannseil eines Wippauslegers Drehgeber zugeordnet sein, um die tatsächliche Seilgeschwindigkeit am relevanten Punkt erfassen zu können.

[0017] Vorteilhafterweise sind auch den Antriebseinrichtungen selbst geeignete Bewegungs- und/oder Geschwindigkeits- und/oder Beschleunigungssensoren zugeordnet, um die Antriebsbewegungen der Antriebseinrichtungen entsprechend erfassen und in Zusammenhang mit den abgeschätzten und/oder erfassten Verformungen der Strukturbauteile wie des Stahlbaus und in den Antriebssträngen setzen zu können.

[0018] Insbesondere kann die Pendeldämpfungseinrichtung in Weiterbildung der Erfindung eine Filtereinrichtung bzw. einen Beobachter umfassen, der die Kranreaktionen beobachtet, die sich bei bestimmten Stellgrößen der Antriebsregler einstellen und unter Berücksichtigung vorbestimmter Gesetzmäßigkeiten eines Dynamikmodells des Krans, das grundsätzlich verschieden beschaffen sein kann und durch Analyse und Simulation des Stahlbaus gewonnen werden kann, anhand der beobachteten Kranreaktionen die Stellgrößen des Reglers beeinflusst.

[0019] Eine solche Filter- bzw. Beobachtereinrichtung kann insbesondere in Form eines sogenannten Kalmanfilters ausgebildet sein, dem als Eingangsgröße die Stellgrößen der Antriebsregler des Krans und die Kranbewegungen, insbesondere die Lasthakenbewegung, insbesondere deren Pendelbewegung, zugeführt wird und der aus diesen Eingangsgrößen anhand von Kalman-Gleichungen, die das Dynamiksystem der Kranstruktur, insbesondere dessen Stahlbauteile und Antriebsstränge, modellieren, die Stellgrößen der Antriebsregler entsprechend beeinflusst, um die gewünschte pendeldämpfende Wirkung zu erzielen.

[0020] Insbesondere wird mittels einer geeigneten Sensorik die Position des Lasthakens, insbesondere auch dessen Schrägzug gegenüber der Vertikalen, das heißt die Auslenkung des Hubseils gegenüber der Vertikalen erfasst und dem genannten Kalmanfilter zugeführt. Die Erfassungseinrichtung für die Positionserfassung des Lasthakens kann vorteilhafterweise eine bildgebende Sensorik, beispielsweise eine Kamera umfassen, die vom Aufhängungspunkt des Hubseils, beispielsweise der Laufkatze, im We-

sentlichen senkrecht nach unten blickt. Eine Bildauswerteeinrichtung kann in dem von der bildgebenden Sensorik bereitgestellten Bild den Kranhaken identifizieren und dessen Exzentrizität bzw. dessen Verschiebung aus dem Bildzentrum heraus bestimmen, welche ein Maß für die Auslenkung des Kranhakens gegenüber der Vertikalen ist und damit das Lastpendeln charakterisiert.

[0021] Die genannte Pendeldämpfeinrichtung kann bei manueller Betätigung des Krans durch Betätigung entsprechender Bedienelemente wie Joysticks und dergleichen die Eingabebefehle des Kranführers überwachen und bei Bedarf übersteuern, insbesondere in dem Sinne, dass vom Kranführer beispielsweise zu stark vorgegebene Beschleunigungen reduziert werden oder auch Gegenbewegungen automatisch eingeleitet werden, wenn eine vom Kranführer vorgegebene Kranbewegung zu einem Pendeln des Lasthakens geführt hat oder führen würde.

[0022] Alternativ oder zusätzlich kann die Pendeldämpfungseinrichtung auch bei einer automatisierten Betätigung des Krans eingesetzt werden, bei der die Steuervorrichtung des Krans im Sinne eines Autopiloten das Lastaufnahmemittel des Krans automatisch zwischen zumindest zwei Zielpunkten entlang eines Fahrwegs verfährt. Bei einem solchen Automatikbetrieb, bei dem ein Fahrweg-Bestimmungsmodul der Steuervorrichtung einen gewünschten Fahrweg beispielsweise im Sinne einer Bahnsteuerung bestimmt und ein automatisches Fahrsteuermodul der Steuervorrichtung die Antriebsregler bzw. Antriebseinrichtungen so ansteuert, dass der Lasthaken entlang des bestimmten Fahrwegs verfahren wird, kann die Pendeldämpfungseinrichtung in die Ansteuerung der Antriebsregler durch das genannte Fahrsteuermodul eingreifen, um den Kranhaken pendelfrei zu verfahren bzw. Pendelbewegungen zu dämpfen.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

[0024] Fig. 1: eine schematische Darstellung eines Turmdrehkrans, bei dem die Lasthakenposition und ein Seilwinkel gegenüber der Vertikalen durch eine bildgebende Sensorik erfasst wird, und bei dem eine Pendeldämpfungseinrichtung die Ansteuerung der Antriebseinrichtungen beeinflusst, um Pendelbewegungen des Lasthakens und dessen Hubseils zu verhindern,

[0025] Fig. 2: eine schematische Darstellung eines Kalmanfilters der Pendeldämpfungseinrichtung und die von diesem vorgenommene Beeinflussung der Stellgrößen der Antriebsregler.

[0026] Wie Fig. 1 zeigt, kann der Kran als Turmdrehkran ausgebildet sein. Der in Fig. 1 gezeigte Turmdrehkran kann beispielsweise in an sich bekannter Weise einen Turm **201** aufweisen, der einen Ausleger **202** trägt, der von einem Gegenausleger **203** ausbalanciert wird, an dem ein Gegengewicht **204** vorgesehen ist. Der genannte Ausleger **202** kann zusammen mit dem Gegenausleger **203** um eine aufrechte Drehachse **205**, die coaxial zur Turmachse sein kann, durch ein Drehwerk verdreht werden. An dem Ausleger **202** kann eine Laufkatze **206** durch einen Katzantrieb verfahren werden, wobei von der Laufkatze **206** ein Hubseil **207** abläuft, an dem ein Lasthaken **208** befestigt ist.

[0027] Wie Fig. 1 ebenfalls zeigt, kann der Kran **2** dabei eine elektronische Steuervorrichtung **3** aufweisen, die beispielsweise einen am Kran selbst angeordneten Steuerungsrechner umfassen kann. Die genannte Steuervorrichtung **3** kann hierbei verschiedene Stellglieder, Hydraulikkreise, Elektromotoren, Antriebsvorrichtungen und andere Arbeitsaggregate an der jeweiligen Baumaschine ansteuern. Dies können beispielsweise bei dem gezeigten Kran dessen Hubwerk, dessen Drehwerk, dessen Katzantrieb, dessen – ggf. vorhandener – Ausleger-Wippantrieb oder dergleichen sein.

[0028] Die genannte elektronische Steuervorrichtung **3** kann hierbei mit einem Endgerät **4** kommunizieren, das am Steuerstand bzw. in der Führerkabine angeordnet sein kann und beispielsweise die Form eines Tablets mit Touchscreen und/oder Joysticks, Drehknöpfe, Schiebeschalter und ähnliche Bedienelemente aufweisen kann, so dass einerseits verschiedene Informationen vom Steuerungsrechner **3** an dem Endgerät **4** angezeigt und umgekehrt Steuerbefehle über das Endgerät **4** in die Steuervorrichtung **3** eingegeben werden können.

[0029] Die genannte Steuervorrichtung **3** des Krans **1** kann insbesondere dazu ausgebildet sein, die genannten Antriebsvorrichtungen des Hubwerks, der Laufkatze und des Drehwerks auch dann anzusteuern, wenn eine Pendeldämpfungseinrichtung **340** pendelrelevante Bewegungsparameter erfasst.

[0030] Hierzu kann der Kran **1** eine Erfassungseinrichtung **60** aufweisen, die einen Schrägzug des Hubseils **207** und/oder Auslenkungen des Lasthakens **208** gegenüber einer Vertikalen **61**, die durch den Aufhängungspunkt des Lasthakens **208**, d. h. die Laufkatze **206** geht, erfasst. Insbesondere kann der Seilzugwinkel φ gegen die Schwerkraftwirklinie, d. h. die Vertikale **62** erfasst werden, vgl. Fig. 1.

[0031] Die hierzu vorgesehenen Bestimmungsmittel **62** der Erfassungseinrichtung **60** können beispielsweise optisch arbeiten, um die genannte Auslenkung zu bestimmen. Insbesondere kann an der Laufkat-

ze **206** eine Kamera **63** oder eine andere bildgebende Sensorik angebracht sein, die von der Laufkatze **206** senkrecht nach unten blickt, so dass bei unausgelenktem Lasthaken **208** dessen Bildwiedergabe im Zentrum des von der Kamera **63** bereitgestellten Bilds liegt. Wird indes der Lasthaken **208** gegenüber der Vertikalen **61** ausgelenkt, beispielsweise durch ruckhaftes Anfahren der Laufkatze **206** oder abruptes Bremsen des Drehwerks, wandert die Bildwiedergabe des Lasthakens **208** aus dem Zentrum des Kamerabilds heraus, was durch eine Bildauswerteeinrichtung **64** bestimmt werden kann.

[0032] In Abhängigkeit der erfassten Auslenkung gegenüber der Vertikalen **61**, insbesondere unter Berücksichtigung der Richtung und Größe der Auslenkung, kann die Steuervorrichtung **3** mithilfe der Pendeldämpfungseinrichtung **340** den Drehwerksantrieb und den Laufkatzenantrieb ansteuern, um die Laufkatze **206** wieder mehr oder minder exakt über den Lasthaken **208** zu bringen und Pendelbewegungen zu kompensieren, bz. Zu reduzieren oder gar nicht erst eintreten zu lassen.

[0033] Hierzu umfasst die Pendeldämpfungseinrichtung **430** Bestimmungsmittel **342** zum Bestimmen von dynamischen Verformungen von Strukturbauteilen, wobei der Steuerbaustein **341** der Pendeldämpfungseinrichtung **340**, der das Ansteuern der Antriebseinrichtung pendeldämpfend beeinflusst, dazu ausgebildet ist, beim Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen die bestimmten dynamischen Verformungen der Strukturbauteile des Krans zu berücksichtigen.

[0034] Dabei können die Bestimmungsmittel **342** eine Schätzeinrichtung **343** umfassen, die die Verformungen und Bewegungen der Maschinenstruktur unter dynamischen Belastungen, die sich in Abhängigkeit von am Steuerstand eingegebenen Steuerbefehlen und/oder in Abhängigkeit von bestimmten Ansteueraktionen der Antriebseinrichtungen und/oder in Abhängigkeit bestimmter Geschwindigkeits- und/oder Beschleunigungsprofile der Antriebseinrichtungen ergeben, unter Berücksichtigung von die Kranstruktur charakterisierenden Gegebenheiten abschätzt. Insbesondere kann eine Berechnungseinheit **348** die Strukturverformungen und sich daraus ergebende Strukturteilbewegungen anhand eines gespeicherten Berechnungsmodells in Abhängigkeit der am Steuerstand eingegebenen Steuerbefehle berechnen.

[0035] Alternativ oder zusätzlich kann die Pendeldämpfungseinrichtung **340** auch eine geeignete Sensorik **344** umfassen, mittels derer solche elastischen Verformungen und Bewegungen von Strukturbauteilen unter dynamischen Belastungen erfasst werden. Eine solche Sensorik **344** kann beispielsweise Verformungssensoren wie Dehnungsmessstreifen

am Stahlbau des Krans, beispielsweise den Gitterfachwerken des Turms **201** oder des Auslegers **202** umfassen. Alternativ oder zusätzlich können Beschleunigungs- und/oder Geschwindigkeitssensoren vorgesehen sein, um bestimmte Bewegungen von Strukturbauteilen wie beispielsweise Nickbewegungen der Auslegerspitze oder rotatorische Dynamikeffekte am Ausleger **202** zu erfassen. Alternativ oder zusätzlich können auch Neigungssensoren oder Gyroskope beispielsweise am Turm **201**, insbesondere an dessen oberen Abschnitt, an dem der Ausleger gelagert ist, vorgesehen sein, um die Dynamik des Turms **201** zu erfassen. Alternativ oder zusätzlich können auch den Antriebssträngen Bewegungs- und/oder Beschleunigungssensoren zugeordnet sein, um die Dynamik der Antriebsstränge erfassen zu können. Beispielsweise können den Umlenkrollen der Laufkatze **206** für das Hubseil und/oder Umlenkrollen für ein Abspannseil eines Wippauslegers Drehgeber zugeordnet sein, um die tatsächliche Seilgeschwindigkeit am relevanten Punkt erfassen zu können.

[0036] Wie **Fig. 2** zeigt, besitzt Pendeldämpfungseinrichtung **340** eine Filtereinrichtung bzw. einen Beobachter **345**, der die Kranreaktionen beobachtet, die sich bei bestimmten Stellgrößen der Antriebsregler **347** einstellen und unter Berücksichtigung vorbestimmter Gesetzmäßigkeiten eines Dynamikmodells des Krans, das grundsätzlich verschieden beschaffen sein kann und durch Analyse und Simulation des Stahlbaus gewonnen werden kann, anhand der beobachteten Kranreaktionen die Stellgrößen des Reglers beeinflusst.

[0037] Eine solche Filter- bzw. Beobachtereinrichtung **345b** kann insbesondere in Form eines sogenannten Kalmanfilters **346** ausgebildet sein, dem als Eingangsgröße die Stellgrößen der Antriebsregler **347** des Krans und die Kranbewegungen, insbesondere der Seilzugwinkel φ gegenüber der Vertikalen **62** und/oder dessen zeitliche Änderung bzw. die Winkelgeschwindigkeit des genannten Schrägzugs, zugeführt wird und der aus diesen Eingangsgrößen anhand von Kalman-Gleichungen, die das Dynamiksystem der Kranstruktur, insbesondere dessen Stahlbauteile und Antriebsstränge, modellieren, die Stellgrößen der Antriebsregler **347** entsprechend beeinflusst, um die gewünschte pendeldämpfende Wirkung zu erzielen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 202008018260 U1 [0005]
- DE 102009032270 A1 [0005]
- DE 202008018206 U1 [0005]

Patentansprüche

1. Kran, insbesondere Turmdrehkran, mit einem an einem Hubseil (207) angebrachten Lastaufnahmemittel (208), Antriebseinrichtungen zum Bewegen mehrerer Kranelemente und Verfahren des Lastaufnahmemittels (208), einer Steuervorrichtung (3) zum Steuern der Antriebseinrichtungen derart, dass das Lastaufnahmemittel (208) entlang eines Verfahrwegs verfährt, sowie einer Pendeldämpfungseinrichtung (340) zum Dämpfen von Pendelbewegungen des Lastaufnahmemittels (208) und/oder des Hubseils (207), wobei die Pendeldämpfungseinrichtung (340) einen Steuerbaustein (341) zum Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen in Abhängigkeit von pendelrelevanten Parametern aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pendeldämpfungseinrichtung (340) Bestimmungsmittel (342) zum Bestimmen von Verformungen und/oder Bewegungen von Strukturbauteilen des Krans infolge dynamischer Belastungen aufweist, wobei der Steuerbaustein (341) der Pendeldämpfungseinrichtung (340) dazu ausgebildet ist, beim Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen die bestimmten Verformungen und/oder Bewegungen der Strukturbauteile infolge dynamischer Belastungen zu berücksichtigen.

2. Kran nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Strukturbauteile einen Turm (201) und/oder einen Ausleger (202) umfassen und die Bestimmungsmittel (342) dazu ausgebildet sind, Verformungen und/oder Belastungen des Turms (201) und/oder des Auslegers (202) infolge dynamischer Belastungen zu bestimmen.

3. Kran nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Strukturbauteile Antriebsstrangteile wie Drehwerksteile, Katzantriebsteile und dergleichen, umfassen und die Bestimmungsmittel (342) dazu ausgebildet sind, Verformungen und/oder Bewegungen der Antriebsstrangteile infolge dynamischer Belastungen zu bestimmen.

4. Kran nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bestimmungsmittel (342) eine Schätzeinrichtung (343) zum Schätzen der Verformungen und/oder Bewegungen der Strukturbauteile infolge dynamischer Lasten auf Basis von digitalen Daten eines die Kranstruktur beschreibenden Datenmodells aufweisen.

5. Kran nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bestimmungsmittel (342) eine Berechnungseinheit (348) aufweisen, die Strukturverformungen und sich daraus ergebende Strukturteilbewegungen anhand eines gespeicherten Berechnungsmodells in Abhängigkeit von am Steuerstand eingegebenen Steuerbefehle berechnet.

6. Kran nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bestimmungsmittel (342) eine Sensorik (344) zum Erfassen der Verformungen und/oder Dynamikparameter der Strukturbauteile aufweisen.

7. Kran nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Sensorik (344) einen Neigungs- und/oder Beschleunigungssensor zum Erfassen von Turmneigungen und/oder -geschwindigkeiten, einen Drehgeschwindigkeits- und/oder -beschleunigungssensor zum Erfassen der Drehgeschwindigkeit und/oder -beschleunigung eines Auslegers und/oder einen Nickbewegungssensor zum Erfassen von Nickbewegungen und/oder -beschleunigungen des Auslegers, und/oder einen Seilgeschwindigkeits- und/oder -beschleunigungssensor zum Erfassen von Seilgeschwindigkeiten und/oder -beschleunigungen des Hubseils (207) aufweist.

8. Kran nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Erfassungseinrichtung (60) zum Erfassen einer Auslenkung (φ) des Hubseils (207) und/oder des Lastaufnahmemittels (208) gegenüber einer Vertikalen (61) vorgesehen ist, wobei der Steuerbaustein (341) der Pendeldämpfungseinrichtung (340) dazu ausgebildet ist, die Ansteuerung der Antriebseinrichtungen in Abhängigkeit der ermittelten Auslenkung des Hubseils (207) und/oder des Lastaufnahmemittels (208) gegenüber der Vertikalen (61) zu beeinflussen.

9. Kran nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Erfassungseinrichtung (60) eine bildgebende Sensorik, insbesondere eine Kamera (62) aufweist, die im Bereich eines Aufhängepunktes des Hubseils (207), insbesondere einer Laufkatze (206), im Wesentlichen senkrecht nach unten blickt, wobei eine Bildauswerteeinrichtung (64) zum Auswerten eines von der bildgebenden Sensorik bereitgestellten Bilds hinsichtlich der Position des Lastaufnahmemittels (208) in dem bereitgestellten Bild und Bestimmung der Auslenkung (φ) des Lastaufnahmemittels (208) und/oder des Hubseils (207) und/oder der Auslenkungsgeschwindigkeit gegenüber der Vertikalen (61) vorgesehen ist.

10. Kran nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Pendeldämpfungseinrichtung (340) eine Filter- und/oder Beobachtereinrichtung (345) zum Beeinflussen der Stellgrößen von Antriebsreglern (347) zum Ansteuern der Antriebseinrichtungen aufweist, wobei die genannte Filter- und/oder Beobachtereinrichtung (345) dazu ausgebildet ist, als Eingangsgrößen die Stellgrößen der Antriebsregler (347) und die erfassten und/oder geschätzten Bewegungen von Kranelementen und/oder Verformungen und/oder Bewegungen von Strukturbauteilen, die infolge dynamischer Belastungen auftreten, zu erhalten und in Abhängigkeit der für bestimmte Reglerstellgrößen erhaltenen dynamikinduzierten Bewe-

gungen von Kranelementen und/oder Verformungen von Strukturbauteilen die Reglerstellgrößen zu beeinflussen.

11. Kran nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Filter- und/oder Beobachtereinrichtung (345) als Kalman-Filter (346) ausgebildet ist.

12. Kran nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei in dem Kalman-Filter (346) erfasste und/oder geschätzte und/oder berechnete und/oder simulierte Funktionen, die die Dynamik der Strukturbauteile des Krans charakterisieren, implementiert sind.

13. Verfahren zum Steuern eines Krans, insbesondere Turmdrehkrans, dessen an einem Hubseil (207) angebrachtes Lastaufnahmemittel (208) durch Antriebseinrichtungen verfahren wird, welche Antriebseinrichtungen von einer Steuervorrichtung (3) des Krans angesteuert werden, wobei die Ansteuerung der Antriebseinrichtungen von einer Pendeldämpfungseinrichtung (340) in Abhängigkeit von pendelrelevanten Parametern beeinflusst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pendeldämpfungseinrichtung (340) Verformungen und/oder Bewegungen von Strukturbauteilen des Krans, die infolge dynamischer Belastungen auftreten, bestimmt und beim Beeinflussen der Ansteuerung der Antriebseinrichtungen berücksichtigt.

14. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Pendeldämpfungseinrichtung (340) einen Kalman-Filter (346) aufweist, dem als Eingangsgrößen die Stellgrößen von Antriebsreglern (347) zum Ansteuern der Antriebseinrichtungen sowie sich bei diesen Stellgrößen einstellende Kranbewegungen und/oder Verformungen und/oder dynamikinduzierte Bewegungen der Strukturteile als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei der Kalman-Filter (346) in Abhängigkeit der genannten Eingangsgrößen eine Beeinflussung der Stellgrößen der Antriebsregler (347) vornimmt.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

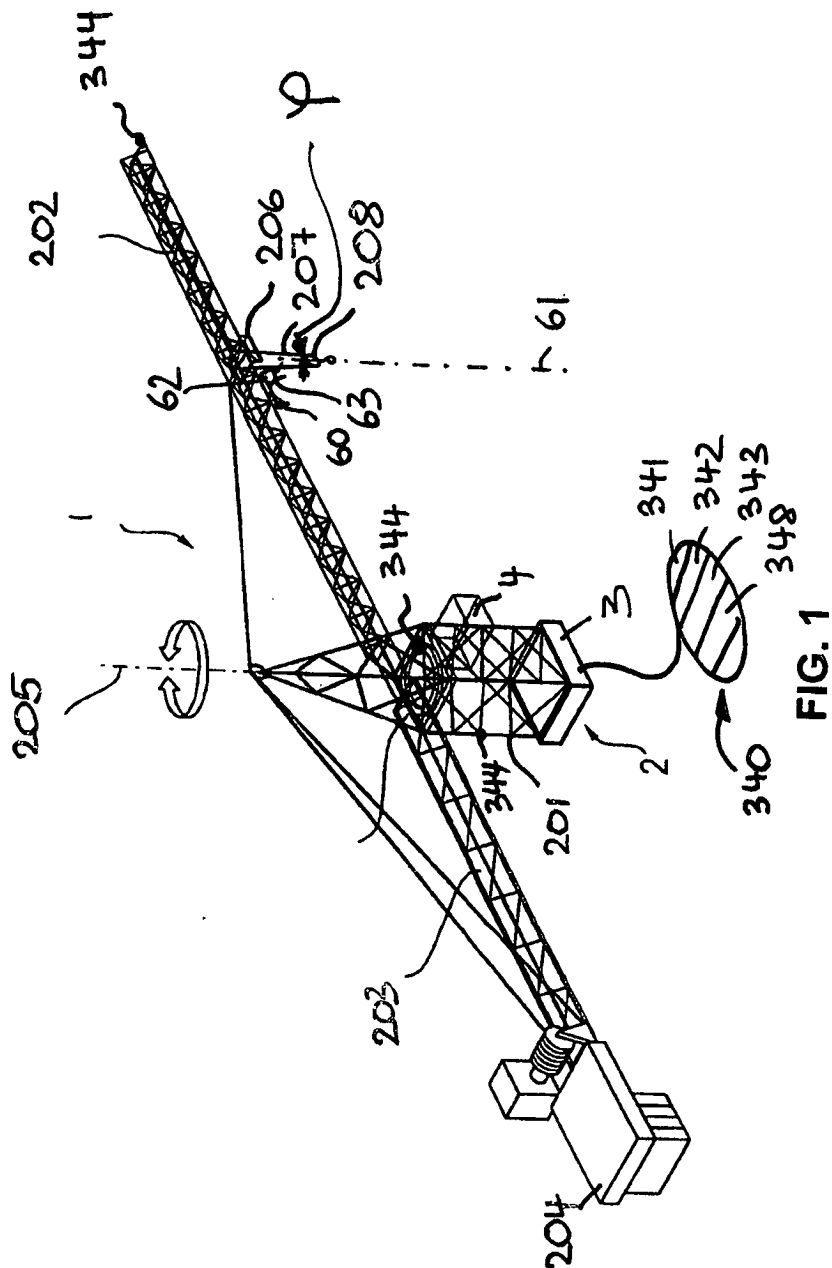


FIG. 1

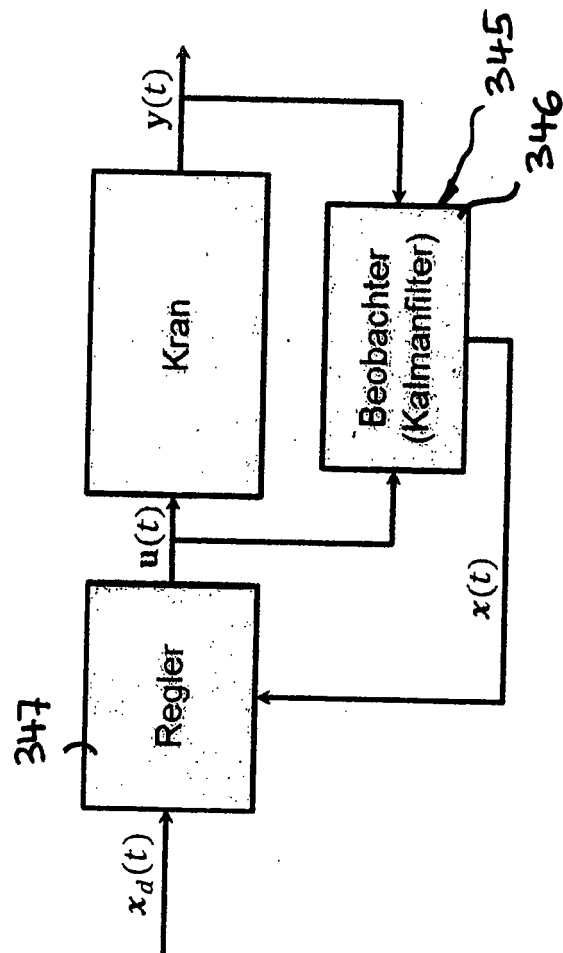


Fig. 2