



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.01.2017 Patentblatt 2017/02

(51) Int Cl.:
B66C 13/06 (2006.01) B66F 9/07 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16001465.0**

(22) Anmeldetag: **30.06.2016**

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

(72) Erfinder:
• **Gebhardt, Marco**
D-74889 Sinsheim (DE)
• **Schindler, Christian**
D-41069 Mönchengladbach (DE)
• **Eder, Jörg**
D-67661 Kaiserslautern (DE)

(30) Priorität: **03.07.2015 DE 102015008506**

(71) Anmelder: **Gebhardt Fördertechnik GmbH**
D-74889 Sinsheim (DE)

(74) Vertreter: **Clemens, Gerhard et al**
Patentanwaltskanzlei
Müller, Clemens & Hach
Lerchenstrasse 56
74074 Heilbronn (DE)

(54) **MASCHINENVORRICHTUNG, DIE AUS EINER IMPULSFÖRMIGEN ANTRIEBSBELASTUNG ZU SCHWINGUNGEN NEIGT UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER DERARTIGEN VORRICHTUNG**

(57) Maschinenvorrichtung (10.1), insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit einer verfahrbaren Einheit (12), einem mit der verfahrbaren Einheit (12) gekoppelten Aufnahmemittel (16) zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise Last, einem ersten Antriebsaggregat (14) zum Bewegen der verfahrbaren Einheit (12) entlang eines Fahrweges (F), einer Steuereinrichtung (50) zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit (12), wobei das erste Antriebsaggregat (14) durch Vorgabe des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs gesteuert wird, wobei eine Speichereinrichtung (52) vorhanden ist, auf die die Steuereinrichtung (50) zugreift, wobei in der

Speichereinrichtung (52) Führungsgrößenwerte abgespeichert sind, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/ oder der Beschleunigungsänderungszeit bereit stellt, die vorab durch Simulationsberechnungen und durch Messungen an der Vorrichtung ermittelt worden sind, wobei die abgespeicherten Werte die simulierten Eigenfrequenzen und antriebsspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebs berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.

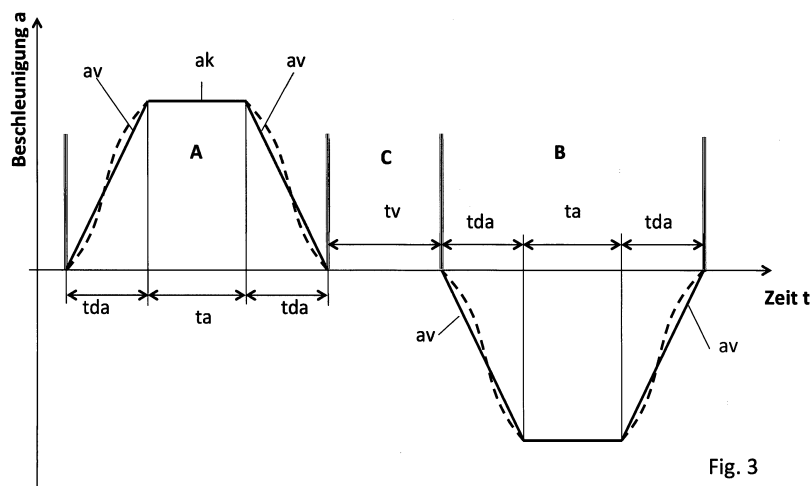


Fig. 3

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Maschinenvorrichtung, die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen, mit einer verfahrbaren Einheit, einem mit der verfahrbaren Einheit gekoppelten Aufnahmemittel zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise einer Last, einem ersten Antriebsaggregat zum Bewegen der verfahrbaren Einheit entlang eines Fahrweges von einer Anfangs- in eine Endposition, einer Steuereinrichtung zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit, wobei das erste Antriebsaggregat durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, insbesondere des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung gesteuert wird und die Vorrichtung während des Verfahrens zu in Fahrtrichtung auftretenden Schwingungen neigt, und wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Fahrtrichtungs- und Geschwindigkeit einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter negativer Beschleunigung, aufweist, wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind.

[0002] Die Erfindung betrifft somit alle Maschinen, die zu störenden Schwingungen neigen, welche nicht durch Störgrößen außerhalb der Maschine wie beispielsweise Wind induziert werden.

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Maschinenvorrichtung.

STAND DER TECHNIK

[0004] Regalbediengeräte übernehmen automatische Ein- und Auslagerungsvorgänge von Fördergut beispielsweise in Hochregallagern. Dabei werden Lasten bewegt, die ein Gewicht von über 2 Tonnen aufweisen können, wobei Gerätehöhen von beispielsweise über 20 Meter je nach Einsatzfall bewältigt werden müssen. Für einen wirtschaftlichen Einsatz beispielsweise in automatischen Kleinteilelagern sind Beschleunigung, Ge-

schwindigkeit sowie eine kurze Verschleißzeit und Übergabezeiten von großer Bedeutung für einen wirtschaftlichen Einsatz. Aufgrund der schlanken Geometrie neigen derartige Regalbediengeräte zu Schwingungen beim Fahrwegvorgang, insbesondere bei kurzen Verschleißzeiten, die sich jedoch positiv auf den Umsatz auswirken. Auftretende Schwingungen bedeuten eine höhere Materialbeanspruchung, beeinträchtigen somit die Lebensdauer, so dass die Verfügbarkeit sinkt und die Instandhaltungskosten steigen und wirken sich negativ auf einen optimalen Teileumsatz aus, da eine Aufnahme beziehungsweise Abgabe von Lasten im Schwingungszustand nicht möglich ist, da für eine optimale Ein beziehungsweise Auslagerung hohe Positionsgenauigkeiten des Lastaufnahmemittels erforderlich sind. Darüber hinaus muss zur betriebsfesten Auslegung eines Leichtbaumaschinen die Schwingung bei der Dimensionierung berücksichtigt werden, so dass die Wandstärken je nach Ausmaß der Schwingung angepasst werden muss und damit die Masse ansteigt. Eine höhere Masse verursacht neben größeren Antriebsmotoren auch erhöhte Energiekosten und zusätzlich einen erhöhten Verschleiß, beispielsweise an den Laufrollen.

[0005] Aus der DE 35 24 666 A1 ist ein Regalbediengerät mit einem Fahrwerk und einem vertikal daran angeordneten Mast bekannt, wobei das Fahrwerk über zwei Räderpaare abgestützt ist. Innerhalb des Regalsystems ist der Antrieb in einen Grobantrieb und einen Feintrieb unterteilt, wobei der Grobantrieb zum Anfahren der Zielposition und der Feintrieb zum Erreichen der exakten Endposition dient. Bei der Beschleunigung und Abbremsung während des Fahrprogramms kommt es dabei zu Mastschwingungen, insbesondere im oberen freien Mastende und bei einem langen Mast. Diese Schwingungen klingen sehr langsam ab, was insgesamt eine starke dynamische Beanspruchung zur Folge hat. Um die Mastschwingungen zu reduzieren sind Regalbediengeräte bekannt, beispielsweise aus der DE 44 07 862 A, bei denen der Mast in Leichtbauweise zur Verringerung seiner Masse ausgebildet ist, wobei der Mast gleichzeitig eine hohe Steifigkeit aufweist. Allerdings kann auch bei derartigen Konstruktionen eine unerwünschte Mastschwingung nicht allein wirkungsvoll unterdrückt werden.

[0006] Aus der DE 196 41 192 C2 ist ein Regalbediengerät mit einer Fahreinheit und einem daran befestigtem Mast bekannt, bei dem ein Sensor zur Ermittlung der jeweiligen Geschwindigkeit der Fahreinheit vorhanden ist. Im Bereich des freien Mastendes ist ein Messwertaufnehmer zur Erfassung der jeweiligen Mastgeschwindigkeit des freien Mastendes angeordnet. Dabei ist der Messwertaufnehmer als Istwertgeber für eine Positionsregelungseinrichtung verbunden. Die Soll-Geschwindigkeitsvorgabe der Positionsregelungseinrichtung wird mit einem Geschwindigkeitskorrekturwert beaufschlagt, der aus der Differenz der jeweiligen Mastgeschwindigkeit des freien Mastendes und der jeweiligen Geschwindigkeit der Fahreinheit gebildet ist. Ziel einer derartigen Ausgestaltung ist die Verminderung des Auftretens von

Schwingungen während des Fahrbetriebs, wozu ein extra Sensor und eine spezielle Regelung benötigt wird.

[0007] Aus der DE 691 19 913 T2 ist ein Verfahren zum Unterdrücken von Schwingungen bei pendelnden Lasten an Kranen bekannt. Zur Schwingungsdetektion ist ebenfalls Mess- und Regelungstechnik notwendig.

[0008] Die DE 197 09 381 A1 offenbart ein Verfahren zur Unterdrückung von Pendelbewegung einer zum Transport an einer Laufkatze hängenden Last im Zielort. Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass zu einem einzigen beliebigen Zeitpunkt der Beharrungsfahrt aus den ermittelten Momentanwerten der Auslenkung und Auslenkungsgeschwindigkeit der pendelnden Last ein Beschleunigungs-Zeit-Verlauf für die verbleibende Fahrt ermittelt wird, der so beschaffen ist, dass bei Beendigung der Fahrt im vorgegebenen Zielpunkt die Pendelung der Last gleich Null ist. Insgesamt bewirkt dieses Verfahren durch den mindestens zweistufigen Bremsvorgang eine nicht optimale Dynamik, da die verfügbare Motorleistung beim Fördervorgang nicht voll ausgeschöpft wird.

[0009] In der DE 10 2009 051 846 A1 ist ein Mast für ein Regalbediengerät beschrieben. Um das Nachpendeln des Mastes beim Beschleunigen oder Abbremsen zu verringern wird ein Mast vorgeschlagen, der eine hohe Steifigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht aufweist. Der Mast weist eine Tragstrebe und eine mit der Tragstrebe verbundene Verstärkungsstruktur auf, wobei die Tragstrebe wenigstens eine Führungsschiene für das Regalbediengerät aufweist. Es ist somit eine Aufteilung des Mastes in eine Tragstrebe und in eine Verstärkungsstruktur vorgesehen. Die Minimierung der Schwingungen wird somit über eine mechanische Lösung angestrebt, in dem eine steife und leichte Mastkonstruktion gewählt wird. Dieser rein mechanische Ansatz garantiert ohne Betrachtung des Antriebs keine Schwingungsvermeidung.

[0010] In der DE 199 07 989 B4 ist ein Verfahren zur Bahnregelung von Kranen und eine Vorrichtung zum bahngenauen Verfahren einer Last offenbart. Dieser Ansatz beruht auf einem Regelkreis, der als minimale Eingangsgrößen die Katzposition und den Lastwinkel benötigt.

[0011] Die DE 1 531 210 A offenbart eine Anordnung zum Vermindern von Schwingungen einer an einem Kran frei hängenden Last, wobei das Antriebsaggregat mit einer Synchronisierungsvorrichtung versehen ist, die nach jeder Beschleunigungsänderung automatisch eine zweite gleich große und gleich gerichtete Beschleunigungsänderung hervorruft und zwar nach einer Zeit, die der Hälfte der Schwingungsperiode der Last entspricht, um die aufgetretene Schwingung zu löschen. Eine derartige Anordnung ist bezüglich der Dynamik unbefriedigend, da die Geschwindigkeit nur stufenweise und damit langsam variiert werden kann. Außerdem garantiert dieses System nicht durchgehend eine geringe Belastung des Materials, da die Schwingungsvermeidung erst mit der zweiten Stufe beginnt, welche eventuell bereits schädigende

Belastungen der ersten Stufe löscht. Damit eignet sich dieses Verfahren nicht für alle dynamische Leichtbautragwerke. Insbesondere bei Tragwerken mit einer hohen ersten Eigenfrequenz in Belastungsrichtung und einer langen Beschleunigungsphase kann ein Schwingbeiwert von 1 nicht eingehalten werden, obwohl das Geräte am Bewegungsende schwingungsfrei ist.

[0012] In der DE 10 2005 005 358 A1 ist ein Bediengerät für ein Regallager, insbesondere ein Regalbediengerät für ein Hochregallager, beschrieben mit einem verfahrenbaren Element, das einen Antrieb zum Anfahren einer vorgegebenen Regalposition aufweist, wobei der Antrieb einen Antriebsmotor umfasst, der durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße gesteuert wird und wobei das Element während des Verfahrens zu in Fahrrichtung verlaufenden Eigenschwingungen neigt. Die Schwingungen werden dadurch minimiert, dass der zeitliche Verlauf der Führungsgröße so an das verfahrenbare Element angepasst ist, dass im Frequenzspektrum des zeitlichen Verlaufs die Grundfrequenz der Eigenschwingung fehlt oder zumindest unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegt, so dass von der Führungsgröße keine Eigenschwingungen des verfahrenbaren Elements angeregt werden beziehungsweise deren Schwingungsamplituden im Vergleich zu den nicht angepassten Verlauf wesentlich verringert sind. Für die Führungsgrößen werden Soll-Verläufe angenommen, die in der Praxis von den Ist-Verläufen abweichen und damit wesentlich die Schwingung erhöhen. Die Sollverläufe werden nach diesem Ansatz auf Basis eines maximalen Rucks ermittelt, was für die Schwingungsvermeidung nicht zielführend ist. Ein Mast mit einer beispielhaften Eigenperiodendauer von 1 s benötigt bei linearen Beschleunigungsänderungsverlauf eine Verschleißzeit von 1 s um schwingungsfrei zu sein. Falls sich die Beschleunigung von 5 m/s² auf 2,5 m/s² reduziert und sich die Verschleißzeit aus dem maximalen Ruck von 5 m/s³ errechnet, ergibt sich eine Verschleißzeit von nur 0,5 s und damit erhebliche Schwingungen. Speziell bei kurzen Distanzen wird die maximalen Beschleunigung häufig nicht erreicht.

[0013] Aus der DE 100 63 722 C2 ist ein Steuerungsverfahren zur ruckbegrenzten Geschwindigkeitsführung bekannt, die eine Abstimmung der zulässigen Ruckzeit (wird hier Verschleißzeit genannt) auf der Periodendauer des Systems erfolgt. Dabei wird ein linearer Beschleunigungsanstiegsverlauf unterstellt, der in Realität nur als Soll vorgegeben wird, aber nicht als Ist eingehalten wird, so dass dieser Ansatz Schwingungen nur reduziert aber nicht gänzlich vermeidet.

[0014] Aus der EP 0 685 779A1 ist eine Steuerung bekannt, die den Ruck auf die Eigenfrequenzen des Systems abstimmt, welche durch Messung der Schwingungen der Antriebsspannung bei elektrischen Motoren ermittelt werden. Es erfolgt keine Berücksichtigung der Abweichung zwischen Soll- und Ist- Beschleunigungsverläufen.

[0015] Aus der WO 1996/012992 A1 ist die Führung

einer Bahngeschwindigkeit bekannt, die in mehreren Schritten abhängig vom maximal zulässigen Ruck, angefahren wird. Die beschriebene Reduzierung der Ruckänderung sowie die Begrenzung des maximal zulässigen Rucks, erlauben keine maximal dynamische und zugleich schwingungsfreie Führung.

[0016] Aus der WO 2000/042479 A1 ist ein Steuerungsverfahren bekannt, das Beschleunigungsprofile, die nahe einer kritischen Eigenfrequenz liegen, mit einer reduzierten Beschleunigung ausführt. Der Ruck, also die Ableitung der Beschleunigung nach der Zeit, findet keine Beachtung, sondern vielmehr die einmalige harmonische Anregung, die nicht in der Eigenfrequenz erfolgen soll. Dieser Ansatz stellt nicht durchwegs eine Reduktion des Lastfalles sicher. Es wird von einem unrealistischen Anstieg der Beschleunigung mit einer Verschleißzeit von 0 s, also einem unendlich hohen Ruck ausgegangen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0017] Ausgehend von dem genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung das technische Problem beziehungsweise die Aufgabe zugrunde, eine Maschinenvorrichtung zum Transportieren von Gegenständen, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen und ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Vorrichtung anzugeben, die eine nahezu vollständige und durchgehende Schwingungsvermeidung ermöglicht, eine einfache Umsetzung ohne zwingend notwendige zusätzliche Sensoren oder Regelungstechnik aufweist, eine dauerhaft zuverlässige Funktion gewährleistet, die Beanspruchung aller Komponenten, wie beispielsweise vom Mast über den Fahrschenkel bis zu den Rollen, reduziert und eine Anpassung an die unterschiedlichen Vorrichtungssysteme ermöglicht.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 gegeben. Das erfindungsgemäße Verfahren ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 11 gegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind Gegenstand der von dem unabhängigen Anspruch 1 beziehungsweise 11 direkt oder indirekt abhängigen Ansprüche.

[0019] Die erfindungsgemäße Maschinenvorrichtung, die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit einer verfahrbaren Einheit, einem mit der verfahrbaren Einheit gekoppelten Aufnahmemittel zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise einer Last, einem ersten Antriebsaggregat zum Bewegen der verfahrbaren Einheit entlang eines Fahrweges von einer Anfangs- in eine Endposition, einer Steuereinrichtung zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit, wobei das erste Antriebsaggregat durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, insbesondere des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrich-

tung gesteuert wird und Vorrichtung während des Verfahrens zu in Verfahrensrichtung verlaufenden Schwingungen neigt, und wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Fahrweggeschwindigkeit einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf und einer Beschleunigungsänderungszeit, genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter negativer Beschleunigung aufweist, wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind, zeichnet sich demgemäß dadurch aus, dass eine Speichereinrichtung vorhanden ist, auf die die Steuereinrichtung zugreift, wobei in der Speichereinrichtung Führungsgrößenwerte abgespeichert sind, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/oder der Beschleunigungsänderungszeit bereit stellt, die vorab durch Simulationsberechnungen und/oder durch Messungen an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung ermittelt worden sind, wobei die abgespeicherten Werte neben den simulierten Eigenfrequenzen auch antriebspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebes berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.

[0020] Die Besonderheit der Erfindung besteht darin, dass alle relevanten Parameter für die Schwingungsentstehung bereits im Vorfeld durch Simulation und Messung erfasst werden. Die in der Realität bedeutenden und bisher vernachlässigten Abweichungen zwischen dem Soll- und Ist-Verlauf des Beschleunigungsanstieges wird durch einmalige Korrekturfaktoren für jede Antriebskonfiguration in der Berechnung erfasst und kann somit übertragen werden. Damit sind Schwingungen einfach und zuverlässig präventiv vermeidbar und alle damit verbundenen Belastungen an der Maschine entfallen. Zudem entfällt der Aufwand für aufwendige und fehleranfällige Mess- und Regelungstechnik. Damit ist dieses System der Schwingungsvermeidung für alle Maschinen sinnvoll, bei denen keine unvorhersehbaren Schwingungsanregungen, wie zum Beispiel Wind, auftreten. Die Erfindung ermöglicht eine einfache Vermeidung aller Schwingungen, die aus einer impulsförmigen Belastung der Maschinenvorrichtung durch Antriebe entstehen.

[0021] Die Erfindung basiert auf der Erfassung der Antriebsregelungsfehler. Da der Stand der Technik davon ausgeht, dass Ist- und Soll-Beschleunigungsverlauf ei-

nes Antriebes identisch sind, kann keine verlässliche Vermeidung der Schwingungen ohne zusätzlichen Mess- und Regelungstechnik erfolgen. Die Erfindung erfasst diesen nach dem Stand der Technik fehlenden Parameter um Schwingungen ohne zusätzliche Mess- und Regelungstechnik an jeder einzelnen Maschinenvorrichtung vollständig zu unterdrücken.

[0022] Dabei werden die Werte bevorzugt in der Speichereinrichtung in Form von Tabellen oder Kennkurven, in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/Last oder Kennfeldern, in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/Last und in Abhängigkeit der Masse des/der aufgenommenen Förderguts/ Last, abgelegt. Aufeinander abgestimmt werden damit die beiden für die Schwingung bestimmenden Bestandteile, das Tragwerk und die Anregung. Das Tragwerk kann über die Eigenfrequenz charakterisiert werden. Bei einem Regalbediengerät hat neben der Bauweise des Tragwerks die Position und Eigenmasse des Lastaufnahmemittels sowie die Masse der Zuladung darauf einen großen Einfluss. Die Anregung, beziehungsweise der Impuls, kann über den zeitlichen Beschleunigungsänderungsverlauf charakterisiert werden. Der an der Maschine messbare und für die Schwingung entscheidende Ist- Beschleunigungsänderungsverlauf weicht dabei von der Soll-Vorgabe ab. Neben diesen Regelungsfehlern haben mechanische Komponenten wie beispielsweise ein Riemen, der sich unter Belastung durch einen Antrieb erst vorspannt und damit nachgibt einen erheblichen Einfluss auf den Ist-Beschleunigungsänderungsverlauf der Maschine. Zudem führt ein höheres Gewicht wie durch die Aufnahme eines Fördergutes zu einer veränderten Abweichung zwischen Soll- und Ist- Beschleunigungsänderungsverlauf.

[0023] Die Simulationsberechnung kann gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung als finite Elementberechnung oder als Mehrkörpersimulation mit flexiblen Körpern durchgeführt werden. Die finite Elementberechnung kann sowohl zur Berechnung der Eigenfrequenzen als auch zur transienten Simulation der Schwingung des Tragwerkes bei unterschiedlichen Impulsen eingesetzt werden. Dabei kann auch die Dämpfung berücksichtigt werden.

[0024] Dabei werden gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung die Führungsgrößenwerte im Rahmen der Simulationsberechnung unter Berücksichtigung aller Eigenformen und den damit verbundenen Eigenfrequenzen der Vorrichtung berechnet.

[0025] Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung, die auch das Verfahren der Last beim Bremsvorgang berücksichtigt, zeichnet sich dadurch aus, dass eine mit der Steuereinrichtung kommunizierende erste Sensoreinheit vorhanden ist, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Masse des jeweils durch die Aufnahmemittel aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Ab-

hängigkeit der Höhe des Aufnahmemittels und/ oder der jeweiligen Masse des aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last abgespeichert sind und die Steuereinrichtung aus der Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat zuführt.

[0026] Um die Genauigkeit zu verbessern zeichnet sich eine vorteilhafte Ausgestaltung dadurch aus, dass an der verfahrbaren Einheit ein Beschleunigungssensor vorhanden ist, mittels dem die Soll-/Ist-Abweichung erfassbar ist und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte korrigiert.

[0027] In der Praxis zeichnet sich eine bevorzugte Ausführungsform dadurch aus, dass die Maschinenvorrichtung als Regalbediengerät für ein Regallager ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit über einen Regalmast mit einem Lastaufnahmemittel gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel entlang des Regalmastes über das zweite Antriebsaggregat höhenmäßig verfahrbar ist oder dass die Maschinenvorrichtung als Kraneinrichtung ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit über ein Seil beziehungsweise Zahnriemen mit dem Lastaufnahmemittel gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel durch Auf- oder Abrollen des Seiles mittels des zweiten Antriebsaggregats höhenmäßig verfahrbar ist oder die Maschinenvorrichtung als Roboter oder Fertigungsmaschine mit entsprechenden Antrieben zum Bewegen von Gegenständen ausgebildet ist.

[0028] Um die Schwingungen weiter zu reduzieren beziehungsweise zu unterdrücken, zeichnet sich eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung dadurch aus, dass bei der Simulation zur Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder ein antriebspezifischer und einmalig gemessener nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt wird.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer Maschinenvorrichtung der vorgenannten Art, zeichnet sich dadurch aus, dass dem ersten Antriebsaggregat Führungsgrößenwerte aus einer Speichereinrichtung zugeführt werden, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/oder die Beschleunigungsänderungszeit darstellen, die vorab durch Simulationsberechnung und/oder durch Messung an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung ermittelt worden und in der Speichereinrichtung abgespeichert werden.

[0030] In einer vorteilhaften Ausgestaltung greift die Speichereinrichtung zur Übermittlung an das erste Antriebsaggregat auf Führungsgrößenwerte zu, die aufgrund einer vorab durchgeführten Simulationsberechnung, bevorzugt als finite Elementberechnung oder als Mehr-Körper-System simuliert worden sind, insbesondere unter Berücksichtigung aller Eigenformen und der realen Ist-Beschleunigungsverläufe der Vorrichtung.

[0031] Ein besonders vorteilhaftes Verfahren, bei dem der Einfluss der jeweiligen Lasthöhe in Bezug auf mini-

mierte Schwingungen mit berücksichtigt wird, zeichnet sich dadurch aus, dass eine mit der Steuereinrichtung kommunizierende erste Sensoreinheit verwendet wird, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Größe der jeweils durch die Aufnahmemittel aufgenommenen Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe des Aufnahmemittels und/oder der jeweiligen Größe der aufgenommenen Last abgespeichert werden und die Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsagregat zuführt.

[0032] Zur Verbesserung der Dynamik zeichnet sich eine vorteilhafte Weiterbildung dadurch aus, dass an der verfahrbaren Einheit ein Beschleunigungssensor verwendet wird, mittels dem Soll-/Ist-Abweichung umfasst wird und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte entsprechend korrigiert.

[0033] Bevorzugt wird bei der Simulationsberechnung zu Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder ein nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt.

[0034] Die erfindungsgemäße Vorrichtung beziehungsweise das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich insgesamt durch einen neuartigen mechatronischen Ansatz aus. Durch die Simulation wird das gesamte Tragwerk mit allen Eigenformen erfasst. Die entscheidenden Kriterien für die Schwingungsanfälligkeit nämlich die Verschleißzeit und der Beschleunigungsanstiegsverlauf werden auf das Tragwerk abgestimmt und optimiert. Diese optimierten Werte werden in der Speichereinrichtung abgelegt.

[0035] Die Abstimmung im Rahmen des mechatronischen Ansatzes erfolgt somit durch Voruntersuchungen, nämlich nach Simulation des Antriebsstranges oder durch Messungen an einer vorhandenen Konstruktion, die die Abweichung von Soll/Ist je nach Antriebstyp berücksichtigt.

[0036] Die Abstimmung erfolgt hinsichtlich der Kriterien Schwingungsreduktion, hohe Dynamik der Vorrichtung beziehungsweise des Regalbediengeräts und Energieeffizienz des Gesamtsystems der Vorrichtung/des Regalbediengeräts. Als Ergebnis der Voruntersuchungen (Messungen oder Simulationen) werden Kennkurven oder Kennfelder erstellt, die schwingungsminimierte Führungsgrößen beinhalten, insbesondere auch unter Berücksichtigung der jeweiligen Lasthöhe, die sich in der Regel beim Bremsvorgang ändert. Diese Kennkurven/Kennfelder werden in die Steuerung integriert, sind jedoch komplett vorab berechnet beziehungsweise bezüglich der Antriebsabweichung Soll/Ist korrigiert.

[0037] Optional kann ein Beschleunigungssensor am Fahrschemel der Vorrichtung/des Regalbediengeräts angebracht werden, um Soll-/Ist-Abweichungen im Antrieb als Eingangsgröße für die Regelung festzustellen.

Durch geeignete Sensoren kann die genaue Lastposition und Größe der Last berücksichtigt werden und als Eingangsgröße für die Regelung dienen.

[0038] Ein wesentliches Merkmal ist die Berücksichtigung des Ist-Verlaufs der Beschleunigung durch Messung jedes Antriebstyps oder Simulation des Soll- und Ist-Verlaufes. Dabei kann unter anderem auch die Energieeffizienz des Gesamtsystems der Vorrichtung/des Regalbediengeräts berücksichtigt werden, insbesondere auch die Veränderung der Höhe der Last während des Bremsvorgangs durch den Energieaustausch beider Antriebe im Zwischenkreis.

[0039] So haben durchgeführte Messungen zum Ist-Verlauf bei der Vorgabe eines linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs ergeben, dass der Schwingbeiwert im Vergleich zum Soll-Verlauf nicht auf den Wert 1,0 sinkt, da zusätzliche Störgrößen wie Schienenunebenheiten ebenfalls Schwingungen in den Mast eines Regalbediengeräts induzieren und zusätzlich der nicht lineare Beschleunigungsanstiegsverlauf Schwingungen verursacht. Weiterhin ist festzustellen, dass je nach vorliegenden Antriebstyp das Minimum des Schwingbeiwertes im Ist-Verlauf bei einer größeren Beschleunigungsanstiegszeit liegt als bei dem Soll-Verlauf. Daraus resultiert eine Erhöhung der Verschleißzeit um Schwingungen zu reduzieren. Die Verschleißzeit tritt bei einer einzigen Fahrt von einer Position zur nächsten viermal auf. Je nach Antriebskonfiguration, die gekennzeichnet ist durch den Motor, Frequenzumrichter, Regelung, Getriebe, Wellenlänge, Art der Kraftübertragung (formschlüssig oder reibschlüssig, usw.) variiert die optimale Länge der Verschleißzeit bezüglich des Minimums. Durch die Berücksichtigung dieser Abweichung für eine spezifische Antriebskonfiguration und der Abspeicherung eines gezielt nicht linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs in der Motorsteuerung, kann der ideale Soll-Verlauf besser erreicht werden. Dadurch reduziert sich die Verschleißzeit und das Regalbediengerät ist mit gleichen Antrieben schneller und zugleich schwingungsfrei.

[0040] Erfindungsgemäß kann der exakte Verlauf eines verbesserten, nicht linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs, den die Antriebsregelung als Vorgabe bekommt, durch Simulationen oder Messungen ermittelt werden. Dieser verbesserte Beschleunigungsanstiegsverlauf wirkt den Veränderungen im Antriebsstrang gezielt entgegen, so dass im Endeffekt beispielsweise das Regalbediengerät bei realen Einsatz den idealen Eigenschaften des Soll-Verlaufes praktisch entspricht. Neben der Berücksichtigung der jeweiligen Höhe der Last für die Dauer der Verschleißzeit und der sich damit ergebenden Kennkurve ergibt sich durch die Berücksichtigung des Beschleunigungsanstiegsverlaufs eine Ergänzung. Diese kann beispielsweise durch eine Art konstante Korrektur des Beschleunigungsanstiegsverlaufs oder durch eine Erweiterung der Kennkurve (Berücksichtigung der LAM-Position) zu einem Kennfeld (Berücksichtigung der LAM-Position und der LAM-Zuladung) erfindungsgemäß erfolgen.

[0041] Mit der erfindungsgemäßen Maschinenvorrichtung beziehungsweise dem erfindungsgemäßen Verfahren können beispielsweise Regalbediengeräte, Krane, Roboter oder Fertigungsmaschinen umgesetzt werden, die eine hohe Dynamik aufweisen und zugleich nahezu schwingungsfrei sind.

[0042] Weitere Ausführungsformen und Vorteile der Erfindung ergeben sich durch die in den Ansprüchen ferner aufgeführten Merkmale sowie durch die nachstehend angegebenen Ausführungsbeispiele. Die Merkmale der Ansprüche können in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden, insoweit sie sich nicht offensichtlich gegenseitig ausschließen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0043] Die Erfindung sowie vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen derselben werden im Folgenden anhand der in der Zeichnung dargestellten Beispiele näher beschrieben und erläutert. Die der Beschreibung und der Zeichnung zu entnehmenden Merkmale können einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination erfindungsgemäß angewandt werden. Es zeigen:

Fig. 1 stark schematisierte Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Maschinenvorrichtung, die als Regalbediengerät ausgebildet ist, mit einem ersten Antriebsaggregat für das Verfahren des Regalbediengeräts, wobei das erste Antriebsaggregat über eine Steuereinrichtung angesteuert wird, die die jeweilige Führungsgröße für das erste Antriebsaggregat aus einer Speichereinrichtung abgreift, die vorab durch Simulationsberechnung oder Messung ermittelte Führungsgrößenwerte aufweist,

Fig. 2 stark schematisierte Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Maschinenvorrichtung, die als Kran ausgebildet ist, mit einem ersten Antriebsaggregat für das Verfahren des Regalbediengeräts, wobei das erste Antriebsaggregat über eine Steuereinrichtung angesteuert wird, die die jeweilige Führungsgröße für das erste Antriebsaggregat aus einer Speichereinrichtung abgreift, die vorab durch Simulationsberechnung oder -messung ermittelte Führungsgrößenwerte aufweist,

Fig. 3 Diagramm des zeitlichen Ablaufs der Beschleunigung beim Verfahrensvorgang (Anfahrphase A, Phase mit konstanter Geschwindigkeit C, Bremsphase B),

Fig. 4 schematisierte Blockdiagrammdarstellung des Zusammenwirkens der Speichereinrich-

tung mit der Steuereinrichtung, die über die Führungsgröße zur schwingungsfreien Bewegung das erste Antriebsaggregat des Regalbediengeräts ansteuert,

Fig. 5

Diagramm der Beschleunigung der Mastspitze in Abhängigkeit der Zeit bei einem nicht angepassten Verfahrensvorgang,

Fig. 6

Diagramm des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigung Soll und Ist im Vergleich zur idealen Beschleunigung,

Fig. 7

Diagramm des Schwingbeiwerts in Abhängigkeit des Quotienten aus Beschleunigungsanstiegszeit und Eigenperiode als Vergleich zwischen idealen Verlauf eines linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs mit dem Ist-Verlauf, der durch Messung ermittelt ist, bei der Vorgabe eines linearen Beschleunigungsanstiegsverlaufs

Fig. 8

Diagramm des Verlaufs der Beanspruchung (Spannung im Dehnmessungstreifen) bei einem Verfahrensvorgang mit einer Beschleunigungsanstiegszeit von 5 ms im Vergleich zu einer Beschleunigungsanstiegszeit von 160 ms,

Fig. 9

Diagramm des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigung bei linearem Ansatz mit unterschiedlicher Steigung beziehungsweise unterschiedlichen Beschleunigungsanstiegszeiten,

Fig. 10

Diagramm des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigung bei nicht linearem Ansatz mit unterschiedlicher Steigung beziehungsweise unterschiedlichen Beschleunigungsanstiegszeiten,

Fig. 11

Diagramm der optimalen Beschleunigungsänderungszeit in Abhängigkeit der jeweiligen Höhe des LAM (Kennkurve) und

Fig. 12

Diagramm der optimalen Beschleunigungsänderungszeit in Abhängigkeit der jeweiligen Höhe des LAM (Kennkurve) und der Masse des Ladegutes (Kennfeld).

WEGE ZUM AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

[0044] In Fig. 1 ist stark schematisiert ein erstes Ausführungsbeispiel einer Maschinenvorrichtung 10 dargestellt, die schwingungsanfällig ist und die als Regalbediengerät 10.1 ausgebildet ist. Das Regalbediengerät 10.1 verfährt entlang einer Fahrleiteinrichtung 30, die als Gasse innerhalb eines Regalsystems ausgebildet sein

kann. Das Regalbediengerät 10.1 besitzt eine verfahrbare Einheit 12 mit Radeinheiten 32. Um das Regalbediengerät 10.1 in Richtung des Fahrwegs F zu bewegen, ist ein erstes Antriebsaggregat 14 vorhanden. Alternativ kann das Regalbediengerät 10.1 über einen durch ein erstes Aggregat angetriebenen Zahnriemen gezogen werden, wodurch ausgeschlossen ist, dass die Radeinheiten 32 bei hohen Beschleunigungen durchdrehen. Oberseitig ist auf der verfahrbaren Einheit 12 ein als Kragträger ausgebildeter Mast 24 angeschlossen, an dem ein Lastaufnahmemittel 16 (LAM) in Längsrichtung (hier Vertikalrichtung) verfahrbar vorhanden ist, das fallweise das Fördergut beziehungsweise 18 aufnimmt, wobei ein zweites Antriebsaggregat 22 vorhanden ist, über das die jeweilige Höhenposition des Aufnahmemittels 16 eingestellt werden kann. Die Höhenrichtung bzw. der Hubweg ist in Fig. 1 mit dem Bezugszeichen H dargestellt und das jeweilige Höhenniveau des Aufnahmemittels 16 (Last 18) gegenüber der verfahrbaren Einheit 12 ist mit HLAM dargestellt.

[0045] Des Weiteren ist eine Steuereinrichtung 50 vorhanden, über die das erste Antriebsaggregat 14 und das zweite Antriebsaggregat 22 gesteuert wird.

[0046] Die Steuereinrichtung 50 steht mit einer übergeordneten Logistiksteuerungsvorrichtung in Kommunikationsverbindung, die in Fig. 1 nicht dargestellt ist und die dem Regalbediengerät 10.1 zum Ein- und Auslagern von Fördergut beziehungsweise Lasten 18 die jeweiligen Positionsangaben in Fahrrichtung F für die verfahrbare Einheit 12 und in Höhenrichtung H für das Lastaufnahmemittel 16 übermittelt. Des Weiteren wird über die zentrale Logistiksteuerungsvorrichtung bestimmt, ob das Fördergut 18 eingelagert oder ausgelagert werden soll. Hierzu ist das Lastaufnahmemittel 16 entsprechend ausgebildet.

[0047] Ein derartiges Regalbediengerät 10.1 neigt zu Schwingungen des Mastes 24 aufgrund der Beschleunigung der verfahrbaren Einheit 12 durch das erste Antriebsaggregat 14 infolge des Beschleunigungsvorgangs sowohl beim Anfahren als auch beim Abbremsen.

[0048] Die erfindungsgemäße Maschinenvorrichtung beziehungsweise als Ausführungsbeispiel das Regalbediengerät 10.1 zielt darauf ab, dass die auftretenden Schwingungen minimiert werden, das heißt praktisch keine Schwingungen auftreten, was eine deutlich reduzierte Materialbeanspruchung, ein Entfallen der Beruhigungszeiten und wirtschaftlichen Betrieb bedeutet. Hierzu ist eine Speichereinrichtung 52 vorhanden, die mit der Steuereinrichtung 50 in Kommunikationsverbindung steht, und in der Führungsgrößen für die Beschleunigung des ersten Antriebsaggregates 14 abgespeichert sind, die Steuereinrichtung 50 abgreift, wobei die Führungsgrößenwerte zuvor durch eine Simulationsberechnung des gesamten konkreten Tragwerks mit allen Eigenformen berechnet wird. Dabei werden die entscheidenden Kriterien der Schwingungsanfälligkeit, nämlich die Verschleißzeit und der Beschleunigungsänderungsverlauf, unter Abstimmung auf das konkrete Tragwerk

optimiert. Hierzu erfolgt die Abstimmung mit Voruntersuchungen (Messungen, Simulation des Antriebsstranges), welche die Abweichung von Soll und Ist je nach Antriebstyp berücksichtigen. Die Abstimmung erfolgt hinsichtlich der Kriterien Schwingungsreduktion, hohe Dynamik und Energieeffizienz des Gesamtsystems. Die Ergebnisse der Rechnungen beziehungsweise Messungen werden beispielsweise in Form von Kennkurven abgelegt, die die jeweils aktuelle Hubhöhe des Lastaufnahmemittels 16 berücksichtigt, da die jeweilige Höhe HLAM des Lastaufnahmemittels die auftretenden Schwingungen stark beeinflusst. Diese Kennkurven sind in der Steuerungseinrichtung 50 integriert, komplett vorab berechnet beziehungsweise die Antriebsabweichung Soll-Ist gemessen und berücksichtigt.

[0049] Grundsätzlich ist die Schwingung des Mastes abhängig von dem bei der Beschleunigung auftretenden Beschleunigungsänderungsverlauf und der Verschleißzeit, den jeweiligen Eigenformen, die abhängig sind von der Masthöhe, der Bauart, der Masse und der Höhenposition des Aufnahmemittels, der Größe der Beschleunigung selbst, der systembedingten vorhandenen Dämpfungseigenschaften und der Materialien und der Füge-technik.

[0050] In Fig. 2 ist ein zweites konkretes Ausführungsbeispiel einer schwingungsanfälligen Maschinenvorrichtung 10 dargestellt, die als Kranvorrichtung 10.2 ausgebildet ist. Gleiche Bauteile tragen dasselbe Bezugszeichen wie Fig. 1 und werden nicht nochmals erläutert.

[0051] Der grundsätzliche Unterschied zu dem Regalbediengerät gemäß Fig. 1 besteht bei dem Kran 10.2 gemäß Fig. 2 darin, dass die Last 18 an einem Seil 34 hängt, die den Mast 24 des Regalbediengeräts 10.1 ersetzt, wobei auch hier die Last 18 entlang einer Höhenrichtung beziehungsweise eines Hubwegs H in die jeweilige Höhenposition HLAM über das zweite Antriebsaggregat 22 verfahrbar ist und der Kran 10.2 über das erste Antriebsaggregat 14 innerhalb der Fahrleiteinrichtung 30 (zum Beispiel Schienenvorrichtung) verfahrbar ist.

[0052] In Fig. 3 ist schematisch ein Standardbeschleunigungsverlauf in Abhängigkeit der Zeit beim Verfahren eines Regalbediengeräts 10.1 schematisch dargestellt. Dabei können 3 Phasen prinzipiell unterschieden werden, nämlich die Anfahrphase A, die Bremsphase B und die Phase C der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit.

[0053] Die Anfahrphase A kann dabei unterteilt werden in einen Zeitraum der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} - auch Verschleißzeit genannt - mit einem ansteigenden Beschleunigungsänderungsverlauf a_v bis zum Erreichen einer konstanten Beschleunigung a_k über einen Zeitraum t_a und einem anschließenden abfallenden Beschleunigungsänderungsverlauf a_v innerhalb der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} bis die vorgegebene Geschwindigkeit erreicht ist. Diese Phase kann bei einer für das Tragwerk unpassenden Anregung Schwingungen des Mastes des Regalbediengeräts 10.1 zur Folge haben. In der anschließenden Phase C beträgt die Beschleunigung null und das Regalbediengerät 10.1 ver-

fährt über einen vorgegebenen Zeitraum t_v mit konstanter Geschwindigkeit, in der dann in der Phase B der Bremsvorgang stattfindet, der vom prinzipiellen Verlauf her dem Verlauf in der Phase A entspricht, jedoch mit umgekehrten Vorzeichen. Auch hier löst eine für das Tragwerk unpassende Anregung Schwingungen des Mastes 24 des Regalbediengeräts 10.1 aus. Der nicht lineare Verlauf der Beschleunigung innerhalb der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} , der durch die Abweichung am Motor am Fahrschemel auftritt, ist schematisch gestrichelt in Fig. 3 dargestellt.

[0054] In Fig. 5 ist stark schematisiert in vereinfachter Form der Beschleunigungsänderungsverlauf (Bezugszeichen am) der Spitze des Mastes 24 des Regalbediengeräts 10.1 in Abhängigkeit von der Zeit unter Zugrundelegung des Standardbeschleunigungsverlaufs gemäß Fig. 3 bei nicht schwingungsoptimiertem Verfahrenvorgang dargestellt.

[0055] Daraus ist deutlich zu erkennen, dass in den Intervallen, in denen sich die Beschleunigung ändert, das heißt während der Verschleißzeit jeweils Schwingungen induziert werden, die eine starke Schwankung der Beschleunigung der Spitze des Mastes 24 bewirken.

[0056] Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass sowohl die Größe der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} als auch der Beschleunigungsverlauf av innerhalb der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} einen großen Einfluss auf die induzierten Schwingungen nach sich ziehen.

[0057] In Fig. 8 ist dargestellt, wie sich die Dauer der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} auf die Beanspruchung der Bauteile auswirkt. Die Beanspruchung wurde über die Beanspruchung von aufgebrachten Dehnungsmessstreifen und damit der sich ändernden Normalspannung in den Dehnungsmessstreifen als Ordinatenwert in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Aus dieser Fig. 8 ist eindeutig ersichtlich, dass eine kurze Verschleißzeit t_{da} - im Ausführungsbeispiel 5 ms (gestrichelte Darstellung) - zu Beginn und am Ende der jeweiligen Beschleunigungsänderung eine erhöhte Beanspruchung ergibt im Vergleich zu einer Beschleunigungsänderungszeit t_{da} (im Ausführungsbeispiel 160 ms, durchgezogene Linie).

[0058] Die Fig. 9 zeigt ausschnittsweise den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung bei unterschiedlich gewählten Beschleunigungsänderungszeiten t_{da1} beziehungsweise t_{da2} unter Ansatz eines linearen Beschleunigungsänderungsverlaufs $av1$ beziehungsweise $av2$.

[0059] Die Fig. 10 zeigt denselben Zusammenhang jedoch unter Ansatz jeweils eines nicht linearen Beschleunigungsänderungsverlaufs $av1$ beziehungsweise $av2$ innerhalb der Zeitintervalle t_{da1} beziehungsweise t_{da2} .

[0060] In Fig. 6 ist der zeitliche Verlauf der Beschleunigung im Vergleich zur idealen linearen Beschleunigung (gestrichelte Linie 64) unter Messung der Ist-Beschleunigung/Regler (Linie 60) im Vergleich zur Soll-Beschleunigung/Regler (Linie 62) dargestellt. Die Messergebnisse sind direkt der Antriebsregelung entnommen, so dass weitere Abweichungen durch die Mechanik nicht erfasst werden. Dabei zeigen sich Abweichungen zwischen al-

len Beschleunigungsverläufen 60, 62, 64.

[0061] Die Fig. 6 stellt dies mit einer Messauflösung von 4 ms bei einem Regalbediengerät mit Reibradantrieb dar. Die Beschleunigungsänderungszeit beträgt 500 ms. Die Soll-Beschleunigung und die ideale Beschleunigung sind nur anfangs identisch. Da die Ist-Beschleunigung nicht exakt der Soll-Beschleunigung folgt, passt der Regler die Soll-Beschleunigung fortlaufend an, um der idealen Beschleunigung möglichst nahe zu kommen. In der Fig. 6 ist zu erkennen, dass die Ist-Beschleunigung und die ideale Beschleunigung deutlich voneinander abweichen.

[0062] Die Erfindung basiert unter anderem auf der Erfassung der Antriebsregelungsfehler. Der Stand der Technik geht davon aus, dass Ist- und Soll-Beschleunigungsverläufe eines Antriebs identisch sind. Dadurch kann keine verlässliche Vermeidung der Schwingungen ohne zusätzliche Mess- und Regelungstechnik erfolgen. Gemäß der erfindungsgemäßen Vorgehensweise erfasst diese die nach dem Stand der Technik fehlende Parameter, um Schwingungen ohne zusätzliche Mess- und Regelungstechnik an jedem einzelnen Gerät vollständig zu unterdrücken.

[0063] Bei einem Regalbediengerät mit anderen Antriebsherstellern und anderen Antriebsarten (zum Beispiel Omega-Antrieb) ist der Unterschied zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf anders ausgebildet und übt durch seine Andersartigkeit einen großen Einfluss auf die auftretenden Schwingungen aus.

[0064] Der Zusammenhang der Schwingungsanfälligkeit in Abhängigkeit der Beschleunigungsänderungszeit t_{da} an einer konkreten Regalbediengerätkonstruktion ist in Fig. 7 näher dargestellt. Der Ist-Verlauf 70 des Schwingbeiwertes (Ordinate) ist als durchgezogene Linie und der ideale Soll-Verlauf 72 als gestrichelte Linie dargestellt. Der Ist-Verlauf 70 ist durch Messungen bei Testfahrten ermittelt worden. Bei gleichbleibender Beschleunigung und Geschwindigkeit wurde die Verschleißzeit t_{da} in einem Zeitschritt von 10 ms, ausgehend von 300 ms, schrittweise reduziert. Innerhalb der Verschleißzeit t_{da} wird die Beschleunigung linear erhöht, so dass am Ende der Verschleißzeit t_{da} die maximale Beschleunigung anliegt. Die maximal gemessene Spannung an den aufgebrachten Dehnungsmessstreifen am Mast wird im Verhältnis zu der stets konstanten Mittelspannung, die aus der gleichbleibenden Beschleunigung entsteht, gesetzt und damit der Schwingbeiwert ermittelt. Die Messung der Spannung erfolgte über Dehnungsmessstreifen am Mast über dem Fahrschemel. Die Eigenfrequenz ist konstant, da sich das Hubwerk mit dem Lastaufnahmemittel (LAM) während der gesamten Untersuchung auf der gleichen Höhe befindet.

[0065] Der Soll-Verlauf ergibt bei einem Abszissenwert von 125 ms einen Schwingbeiwert von 1,0. Durch die Soll-Ist-Abweichung in der Antriebsregelung ergibt sich bei einer Verschleißzeit von 125 ms jedoch ein Schwingbeiwert von 1,25 durch die Messung. Im Vergleich zu dem gemessenen Ist-Verlauf 70 erkennt man,

dass der Schwingbeiwert bei der Messung nicht auf den Wert 1,0 sinkt, da zusätzliche Störgrößen wie Schienenunebenheiten ebenfalls Schwingungen in den Mast induzieren. Zudem wird deutlich, dass der Schwingbeiwert 2 bei einem Abszissenwert von 0 nicht erreicht wird, da der Motor einem derart kurzen Anstieg nicht folgen kann. Außerdem ist zu erkennen, dass das erste Minimum bei dem bei der Messung vorliegenden Antriebstyp um ca. 30 % weiter rechts liegt als bei der Berechnung. Dies bedeutet, dass ein Regalbediengerät nur bei einer verlängerten Verschleißzeit tda nahezu schwingungsfrei fährt. Bei einem höheren Regalbediengerät mit einer beispielhaften Periodendauer von 1 s resultiert damit eine Erhöhung der Verschleißzeit um 0,3 s. Die Verschleißzeit tritt bei einer einzigen Fahrt von einer Position zur nächsten insgesamt viermal auf (siehe Fig. 3).

[0066] Bei einer anderen Antriebskonfiguration, die gekennzeichnet durch den Motor, Frequenzumrichter, Getriebe, Wellenlänge, Art der Kraftübertragung (form-schlüssig oder reibschlüssig), Regelung usw. ist, variiert diese Abweichung. Durch die Berücksichtigung dieser Abweichung für eine spezifische Antriebskonfiguration und der Abspeicherung eines gezielt nicht linearen Beschleunigungsänderungsverlaufes in der Motorsteuerung, kann der ideale Soll-Verlauf 72 besser erreicht werden. Dadurch reduziert sich die Verschleißzeit tda und das Regalbediengerät ist mit gleichen Antrieben schneller und zugleich schwingungsfrei.

[0067] Den exakten Verlauf eines verbesserten nicht linearen Beschleunigungsänderungsverlaufes av, den der Motor als Vorgabe bekommt, kann durch Simulationen und Messungen ermittelt werden. Dieser verbesserte Beschleunigungsänderungsverlauf av wirkt den Veränderungen im Antriebsstrang gezielt entgegen, so dass im Endeffekt das Regalbediengerät beim realen Einsatz den idealen Eigenschaften des Soll-Verlaufs (Linie 72 in Fig. 7) entspricht.

[0068] Die Schwingungseigenschaften eines Regalbediengerätes werden darüber hinaus durch die jeweilige Höhe H_{LAM} des Lastaufnahmemittels (LAM) stark beeinflusst.

[0069] In Fig. 11 ist der Zusammenhang zwischen der Verschleißzeit tda (Ordinate) und der Lastaufnahmemhöhe H_{LAM} (Abszisse) in Form einer Kennkurve 75 dargestellt. Dabei ergibt sich die Tendenz, dass die Verschleißzeit tda zur Erzielung eines schwingungsfreien Regalbediengerätes mit zunehmender Lastaufnahmemhöhe H_{LAM} erhöht werden muss.

[0070] Wird darüber hinaus die Masse m des Förderguts 18 berücksichtigt ergibt sich das in Fig. 12 dargestellte Kennfeld 80.

[0071] Neben der Berücksichtigung der LAM-Höhe H_{LAM} für die Länge der Verschleißzeit tda und der sich damit ergebenden Kennkurve gemäß Fig. 11 für die Dauer der Verschleißzeit tda ergibt sich durch die Berücksichtigung des Beschleunigungsänderungsverlaufes av (nicht linear) eine Ergänzung. Dies kann beispielsweise durch eine konstante Korrektur des Beschleunigungsände-

rungsverlaufs oder durch eine Erweiterung der Kennkurve zu einem Kennfeld erfolgen. Die aus den Messungen und Berechnungen ermittelten Werte, werden in der Speichereinrichtung 52 abgelegt und dienen der Ansteuerung des ersten Antriebsaggregats 14 zur Erzielung eines schwingungsfrei verfahrenen Regalbediengeräts.

[0072] Neben der Höhe des Lastaufnahmemittels H_{LAM} beeinflusst auch die Größe der jeweils aufgenommenen Last das Schwingungsverhalten. Auch die Größe der jeweils aufgenommenen Last kann bei der Ermittlung der Kennkurven beziehungsweise Kennfelder berücksichtigt werden und entsprechend in der Speichereinrichtung 52 abgelegt werden (siehe Fig. 11).

[0073] In Fig. 4 ist stark schematisiert in einer Blockdiagrammdarstellung der prinzipielle Ablauf beziehungsweise die prinzipielle Vorgehensweise für ein schwingungsfreies verfahrbares Regalbediengerät 10.1 dargestellt.

[0074] Die Steuereinrichtung 50, die das erste Antriebsaggregat 14 zum Verfahren des Regalbediengeräts 10.1 ansteuert, greift auf Führungsgrößenwerte der Speichereinrichtung 52 zurück. In der Speichereinrichtung 52 sind durch Messungen beziehungsweise Vorab-berechnungen festgelegte Führungsgrößenwerte für den Beschleunigungsverlauf, insbesondere die Beschleunigungsänderungszeit tda unter Berücksichtigung der Ist-Werte abgelegt. Der Steuereinrichtung 50 werden aktuelle Werte der Höhe H_{LAM} des Lastaufnahmemittels und der Größe der jeweils aufgenommenen Last zugeführt. Gleichzeitig erhält die Steuereinrichtung 50 von der übergeordneten Logistiksteuervorrichtung Werte bezüglich der Anfangs- und Endfahrzielposition, des Fahrweges und der vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit. Unter Rückgriff auf die in der Speichereinrichtung 52 hinterlegten Werte des Beschleunigungsverlaufes wird dann das erste Antriebsaggregat 14 angesteuert, so dass ein nahezu praktisch schwingungsfreies Verfahren des Regalbediengeräts 10.1 erfolgt.

[0075] Gemäß dem erfindungsgemäßen Konzept ist dabei der Beschleunigungsverlauf, die Beschleunigungsänderungszeit (Verschleißzeit), das schwingende System, das sich bei energieeffizienter Steuerung ändert, das Lastaufnahmemittel während des Bremsens verfährt, zu jedem Zeitpunkt aufeinander abgestimmt. Die Abstimmung erfolgt durch Simulation beziehungsweise Messung, dabei wird der realen Beschleunigungs-verlauf an konkret vorgegebenen Regalsystem (Ist- und nicht Soll) berücksichtigt.

[0076] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden folgende neue Ansätze berücksichtigt: Das gesamte Tragwerk wird mit allen Eigenformen durch die Simulationsberechnung erfasst. Die entscheidenden Kriterien Verschleißzeit und Beschleunigungsänderungsverlauf werden auf das konkret vorliegende Tragwerk abgestimmt. Die Abstimmung erfolgt mit Voruntersuchungen (Messung, Simulation des Antriebsstranges), welche die Abweichung von Soll/Ist je nach Antriebstyp berücksichtigen. Dabei erfolgt die Abstimmung hinsichtlich der Kri-

terien Schwingungsreduktion, hohe Dynamik des Regalbediengerätes und Energieeffizienz des Gesamtsystems.

[0077] Als Ergebnis wird auf eine Kennkurve/ein Kennfeld zurückgegriffen, die unter Berücksichtigung der jeweiligen Höhe des Lastaufnahmemittels und/oder der jeweiligen Masse des Förderguts hinterlegt ist, wobei die Kennkurve in die Steuerung integriert ist, aber komplett vorab berechnet beziehungsweise die Antriebsabweichung Soll/Ist gemessen worden ist.

[0078] Optional kann ein Beschleunigungssensor am Fahrschemel angebracht werden um die Soll-/Ist-Abweichung im Antrieb als Eingangsgröße für die Regelung festzustellen. Optional kann weiterhin die genaue Last des Ladegutes durch geeignete Sensoren berücksichtigt werden und als Eingangsgröße für die Regelung dienen. Eine optionale Erweiterung besteht darin, dass der Beschleunigungsverlauf in einem Kennfeld hinterlegt wird, auf das die Speichereinrichtung zugreift.

[0079] Durch die erfindungsgemäße Vorgehensweise der Simulationsberechnung am konkreten System und der Berücksichtigung des tatsächlich vorhandenen Antriebsstranges wird auch berücksichtigt, dass sich während der Beschleunigungsänderungszeit der Mast verbiegt und dabei "Federenergie/Dehnungsenergie" aufnimmt und diese beim Beschleunigungsabstieg wieder freigibt, wenn der Mast in die Ausgangslage zurückschwingt. Bisher wird dieses Verhalten nicht berücksichtigt und es gibt keinen Unterschied bei der Steuerung zwischen Anstieg und Abstieg, so dass durch diese Nichtberücksichtigung Schwingungen entstehen. Es ist sogar möglich, dass der Mast derart viel "Federenergie" frei gibt, dass der Motor während der Beschleunigungsänderungszeit Bremsen muss, um die Soll-Verläufe einzuhalten. Dies wird bezüglich der erfindungsgemäßen Vorgehensweise vollständig berücksichtigt, so dass auch dieser Aspekt zur Energieeffizienz beiträgt.

[0080] Das gesamte konkrete System (Regalbediengerät) wird durch Simulationsberechnung bezüglich minimaler Schwingungen berechnet.

[0081] Wesentlich beeinflusst wird aber auch das Schwingungsverhalten durch den jeweils konkret vorhandenen Antriebsstrang. Dieser Einfluss wird durch konkrete Messungen ermittelt und mit den von der Simulationsberechnung ermittelten Werten kombiniert. Dadurch wird eine nahezu schwingungsfreie Bewegung des Regalbediengeräts ermöglicht.

Patentansprüche

1. Maschinenvorrichtung (10.1, 10.2), die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit

- einer verfahrbaren Einheit (12),
- einem mit der verfahrbaren Einheit (12) gekop-

pelten Aufnahmemittel (16) zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise Last,

- einem ersten Antriebsaggregat (14) zum Bewegen der verfahrbaren Einheit (12) entlang eines Fahrweges (F) von einer Anfangs- in eine Endposition,

- einer Steuereinrichtung (50) zum Steuern der Fahrbewegung der verfahrbaren Einheit (12),

- wobei das erste Antriebsaggregat (14) durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, insbesondere des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung (50) gesteuert wird und die Vorrichtung (10.1, 10.2) während des Verfahrens zu in Fahrtrichtungsrichtung auftretende Schwingungen neigt, und

- wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Fahrtrichtungsrichtung einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich (ak) mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsbereich mit konstanter negativer Beschleunigung aufweist,

- wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine Speichereinrichtung (52) vorhanden ist, auf die die Steuereinrichtung (50) zugreift, wobei in der Speichereinrichtung (52) Führungsgrößenwerte abgespeichert sind, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und/oder der Beschleunigungsänderungszeit (tda) bereit stellt, die vorab durch Simulationsberechnungen und/oder durch Messungen an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung ermittelt worden sind, wobei die abgespeicherten Werte neben den simulierten Eigenfrequenzen auch antriebspezifische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Beschleunigungsverlauf des Antriebs berücksichtigen, so dass alle die Schwingungen verursachenden Parameter erfasst sind, um eine Schwingungsvermeidung zu realisieren.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Werte in der Speichereinrichtung (52) in Form von Tabellen oder Kennkurven (75), in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/ Last (18) oder Kennfeldern (80), in Abhängigkeit der jeweiligen Position des/der aufgenommenen Förderguts/ Last (18) und in Abhängigkeit der Masse des/der aufgenommenen Förderguts/Last (18), abgelegt sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Simulationsberechnung auf einer finite Elementberechnung (FEM) oder einer Mehr-Komponenten-Systemberechnung (MKS) basiert, welche die Auswirkung der Abweichung zwischen Soll und Ist der Antriebsregelung erfasst.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Führungsgrößenwerte im Rahmen der Simulationsberechnung unter Berücksichtigung aller Eigenformen der Vorrichtung berechnet sind.

5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine mit der Steuereinrichtung (50) kommunizierende erste Sensoreinheit vorhanden ist, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels (16) ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Masse des jeweils durch die Aufnahmemittel (16) aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe (HLAM) des Aufnahmemittels (16) und/oder der jeweiligen Masse des aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last (18) abgespeichert sind und die Steuereinrichtung aus der Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat (14) zuführt.

6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- an der verfahrbaren Einheit (12) ein Messinstrument zur direkten oder indirekten Messung

der Beschleunigung vorhanden ist, mittels dem die Soll-/Ist-Abweichung erfassbar ist und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte korrigiert.

7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Vorrichtung als Regalbediengerät (10.1) für ein Regallager ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit (14) über einen Regalmast (24) mit einem Lastaufnahmemittel (16) gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel (16) entlang des Regalmastes (24) über das zweite Antriebsaggregat (22) höhenmäßig verfahrbar ist.

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Vorrichtung als Kraneinrichtung ausgebildet ist, die verfahrbare Einheit über ein Seil mit dem Lastaufnahmemittel gekoppelt ist und das Lastaufnahmemittel durch Auf- oder Abrollen des Seiles mittels des zweiten Antriebsaggregats (22) höhenmäßig verfahrbar ist.

9. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Maschinenvorrichtung als Roboter oder Fertigungsmaschine mit entsprechenden Antrieben zum Bewegen von Gegenständen ausgebildet ist.

10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- bei der Simulationsberechnung zur Berechnung minimierter Schwingbeiwerte ein linearer oder nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt wird.

11. Verfahren zum Betreiben einer Maschinenvorrichtung, die aus einer impulsförmigen Antriebsbelastung zu Schwingungen neigt, insbesondere Regalbediengerät, Fertigungsmaschine, Roboter, Kran oder dergleichen mit

- einer verfahrbaren Einheit (12),

- einem mit der verfahrbaren Einheit (12) gekoppelten Aufnahmemittel (16) zur Aufnahme eines Förderguts beziehungsweise Last,

- einem ersten Antriebsaggregat (14) zum Bewegen der verfahrbaren Einheit (12) entlang ei-

nes Fahrweges (F) von einer Anfangs- in eine Endposition,

- einer Steuereinrichtung (50) zum Steuern der Bewegung der verfahrbaren Einheit (12),

- wobei das erste Antriebsaggregat (14) durch Vorgabe des zeitlichen Verlaufs einer Führungsgröße, nämlich des zeitlichen Beschleunigungsverlaufs, über die Steuereinrichtung (50) gesteuert wird und Vorrichtung (10.1, 10.2) während des Verfahrens zu in Fahrtrichtung verlaufenden Schwingungen neigt, und

- wobei der zeitliche Beschleunigungsverlauf beim Anfahren bis zum Erreichen einer vorgegebenen Fahrtrichtungsänderung einen ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven oder negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, und meist einem zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Beschleunigungsänderungsbereich liegenden Beschleunigungsänderungsbereich (ak) mit konstanter positiver Beschleunigung aufweist, und beim Abbremsen bis zum Stillstand ein erster und zweiter Beschleunigungsänderungsbereich mit einem positiven und negativen Beschleunigungsänderungsverlauf (av) und einer Beschleunigungsänderungszeit (tda), genannt Verschleißzeit, aufweist,

- wobei die Führungsgröße so angepasst ist, dass die Schwingungen möglichst klein sind,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- dem ersten Antriebsaggregat (14) Führungsgrößenwerte aus einer Speichereinrichtung zugeführt werden, die schwingungsminimierte Werte für den Beschleunigungsänderungsverlauf und/oder die Beschleunigungsänderungszeit darstellen, die vorab durch Simulationsberechnung und/oder durch Messung an der jeweils konkret konstruktiv ausgebildeten Vorrichtung ermittelt worden und in der Speichereinrichtung abgespeichert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Simulationsberechnung als finite Elementberechnung (FEM) oder als Mehrkörpersimulation (MKS) durchgeführt wird unter Berücksichtigung aller Eingangsformen der Vorrichtung.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine mit der Steuereinrichtung (50) kommunizierende erste Sensoreinheit verwendet wird, die die aktuelle Höhe des Aufnahmemittels (16) ermittelt und/oder eine zweite Sensoreinheit vorhanden ist, die die Masse des jeweils durch

die Aufnahmemittel (16) aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last ermittelt, wobei die Funktionsgrößenwerte in Abhängigkeit der Höhe (HLAM) des Aufnahmemittels (16) und/oder der jeweiligen Masse des aufgenommenen Förderguts beziehungsweise Last (18) abgespeichert werden und die Steuereinrichtung aus der Speichereinrichtung in Abhängigkeit der jeweils von der ersten beziehungsweise zweiten Sensoreinheit ermittelten Werte die Führungsgrößenwerte abgreift und dem ersten Antriebsaggregat (14) zuführt.

14. Verfahren nach Anspruch 11, 12 oder 13

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- an der verfahrbaren Einheit (12) ein Beschleunigungssensor verwendet wird, mittels dem Soll-/Ist-Abweichung umfasst wird und die Steuereinrichtung aufgrund der Soll-/Ist-Abweichung die Führungsgrößenwerte entsprechend korrigiert.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 14,

- **dadurch gekennzeichnet, dass**

- bei der Simulationsberechnung (FEM, MKS) zu Berechnung minimierter Beschwingbeiwerte ein linearer oder ein nicht linearer Beschleunigungsänderungsverlauf angesetzt wird.

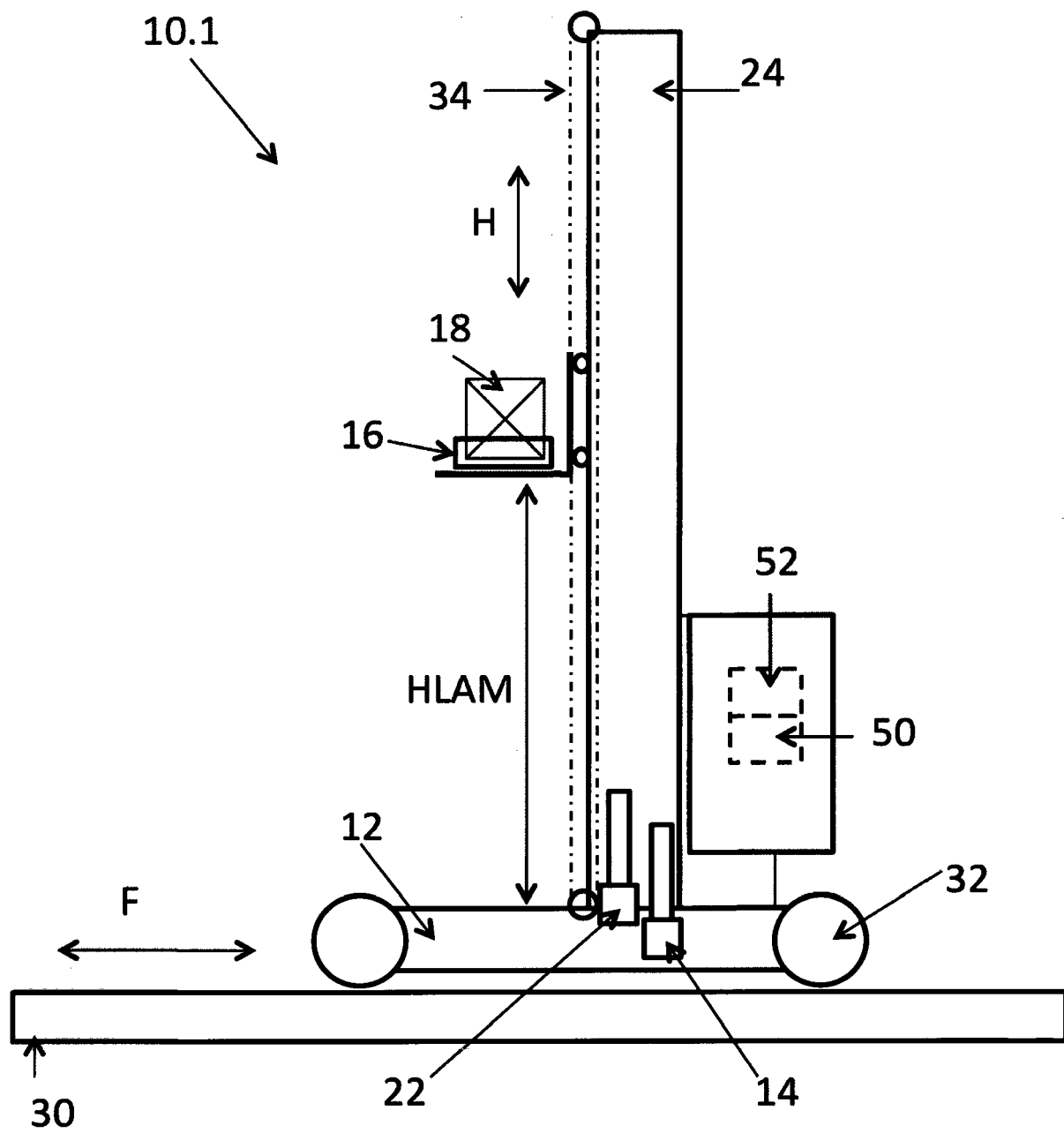


Fig. 1

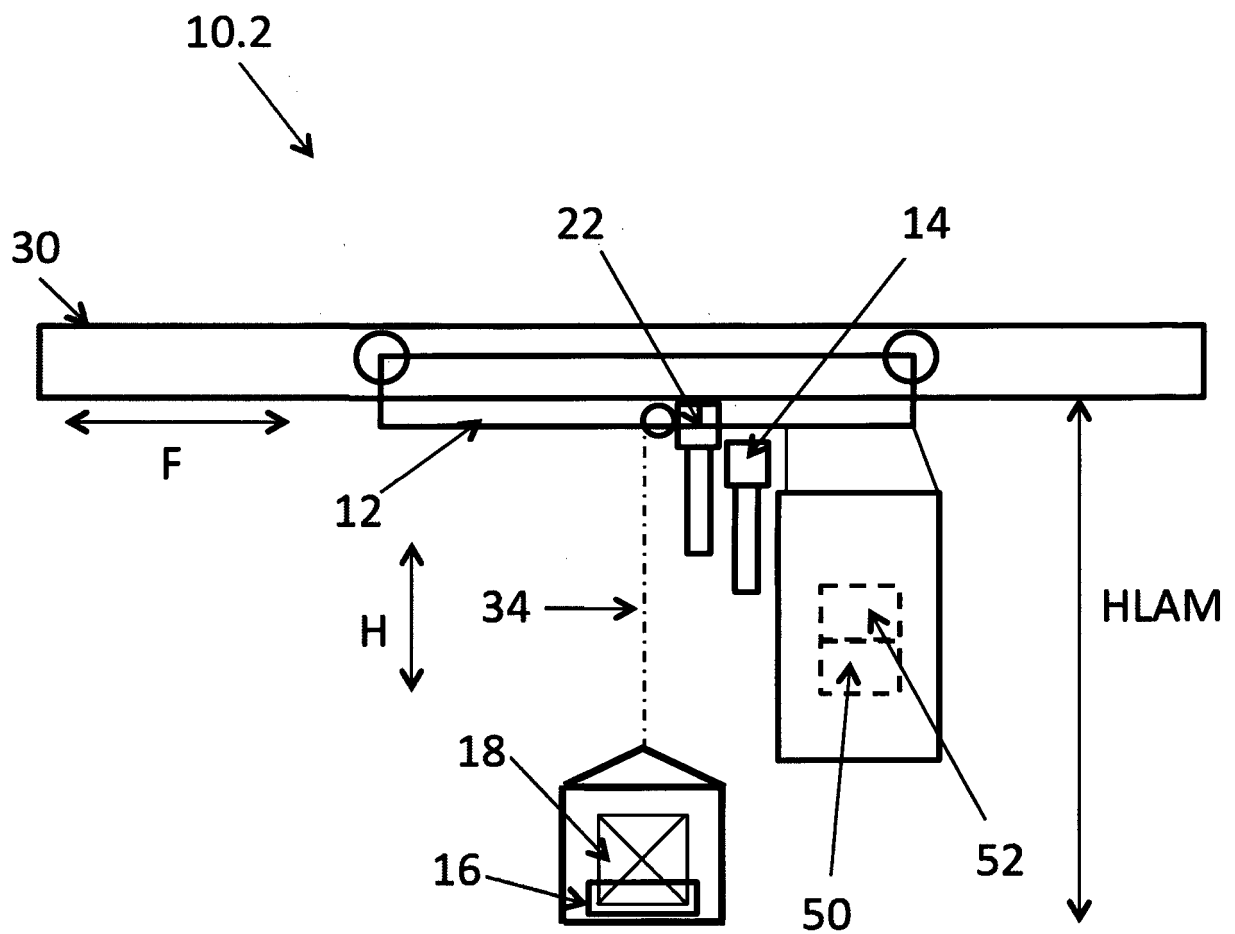


Fig. 2

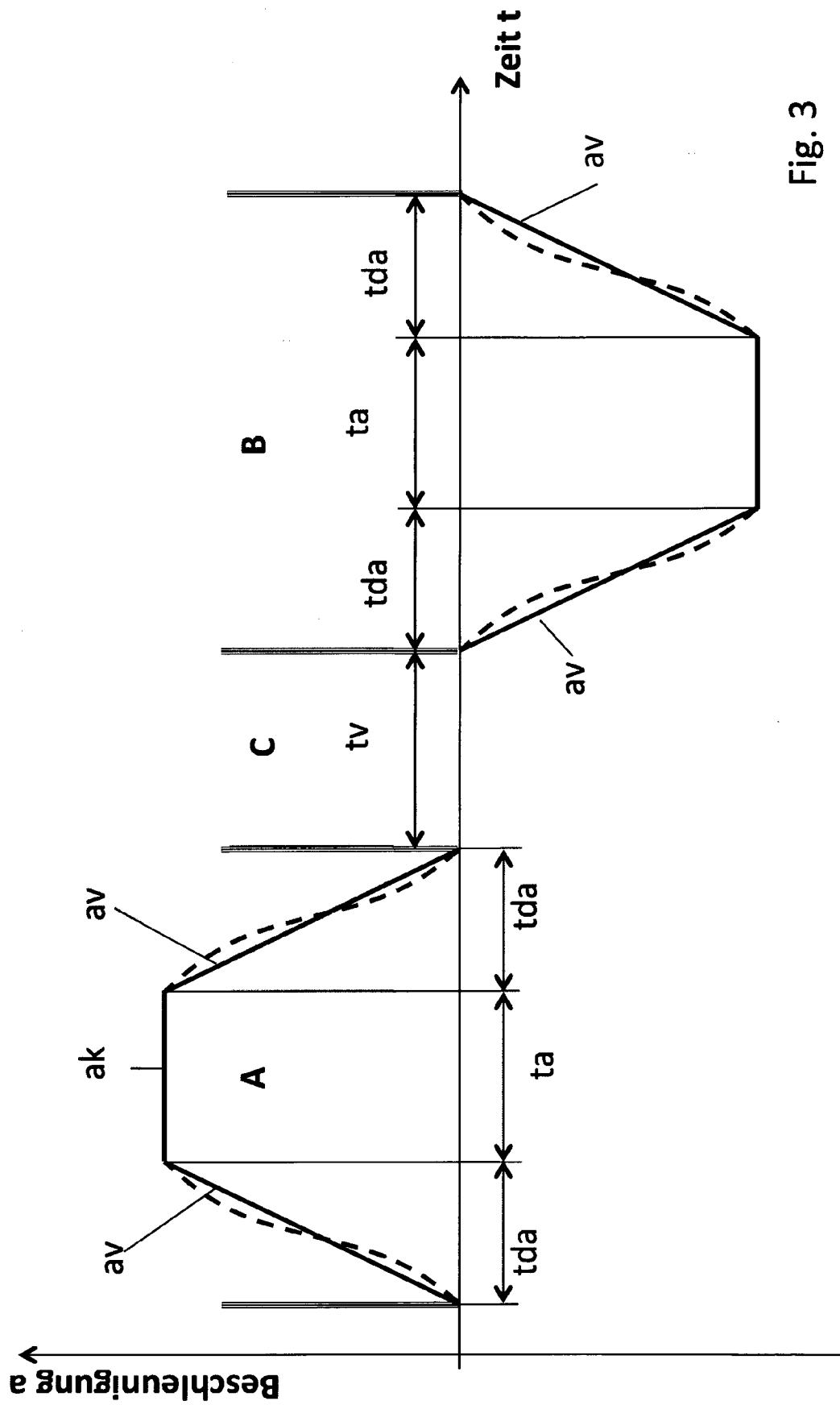


Fig. 3

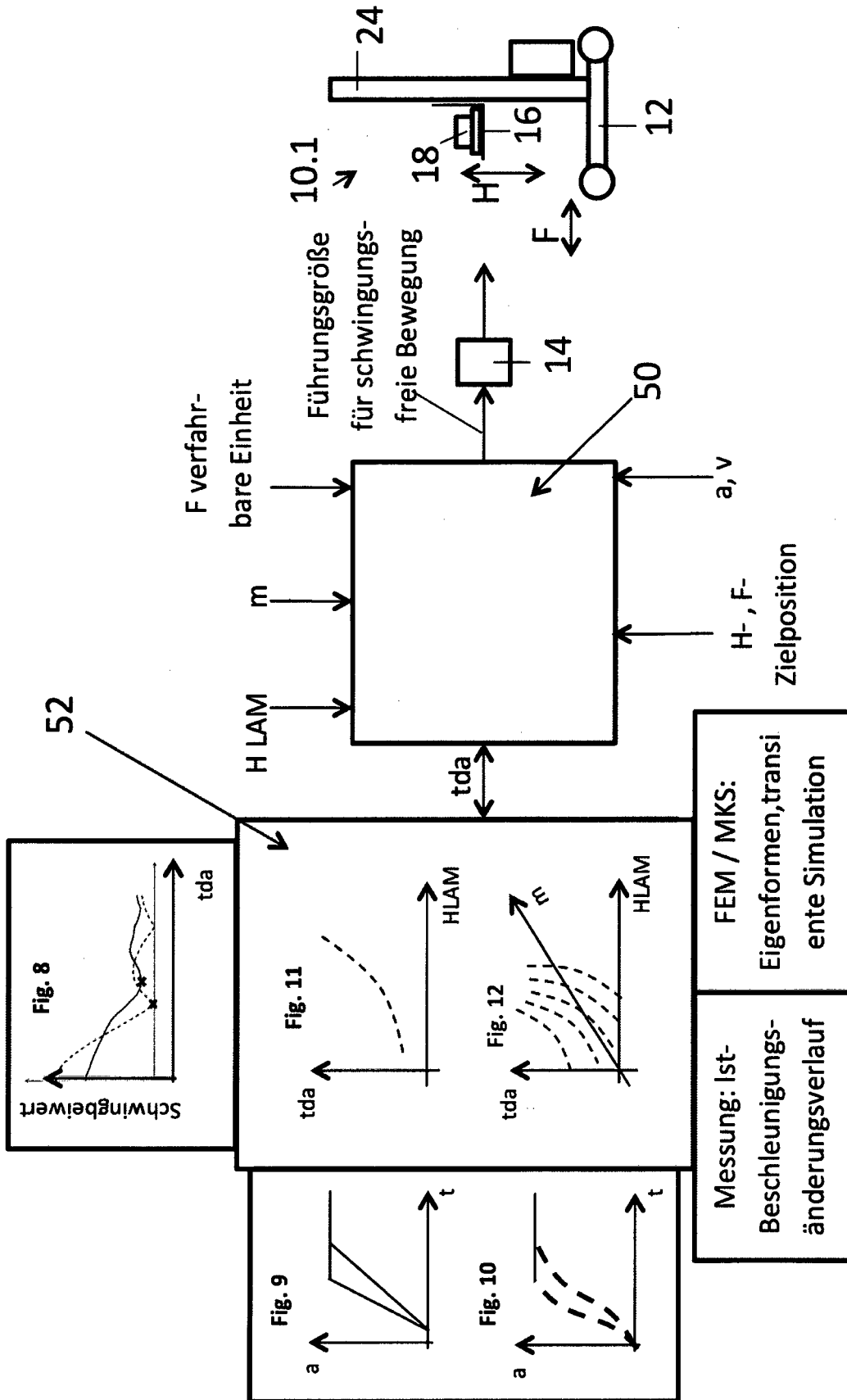


Fig. 4

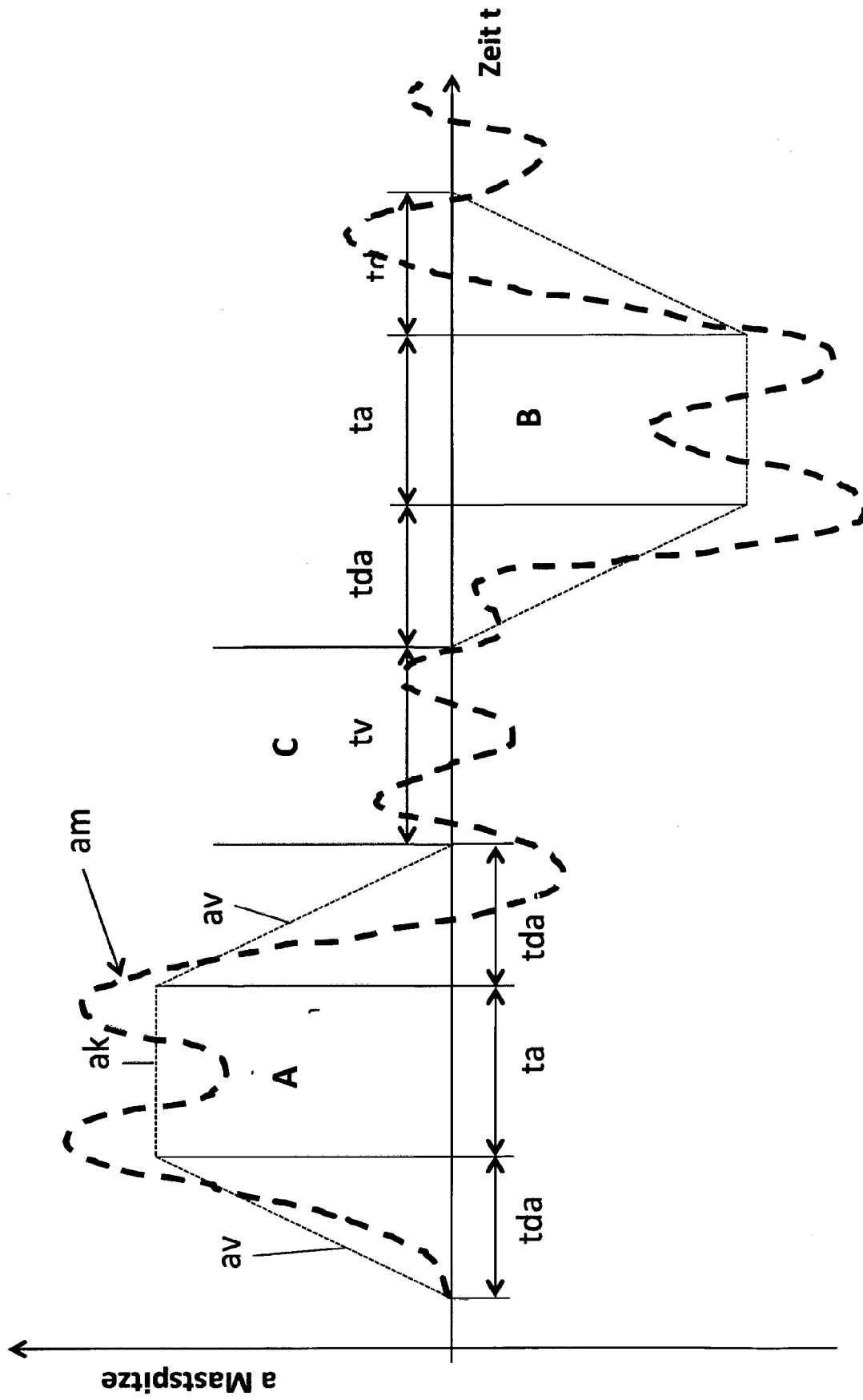


Fig. 5

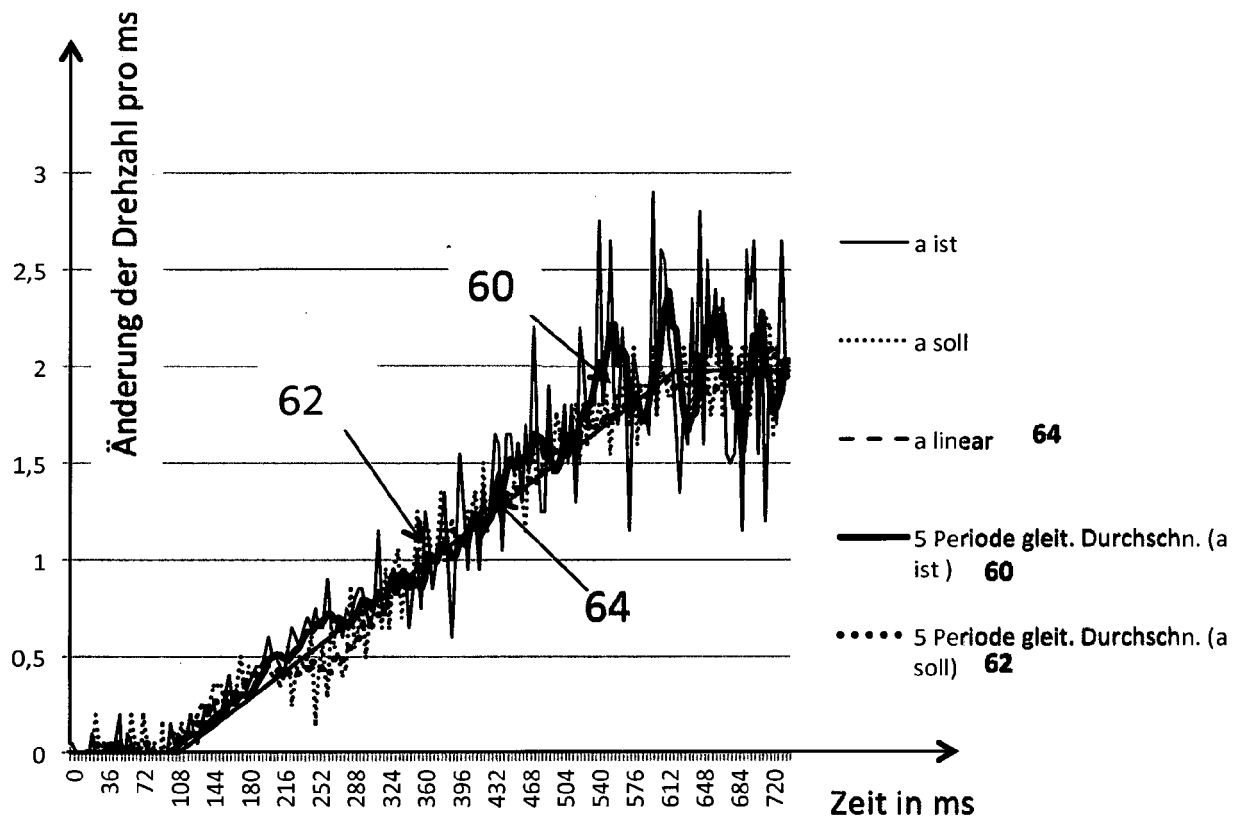


Fig. 6

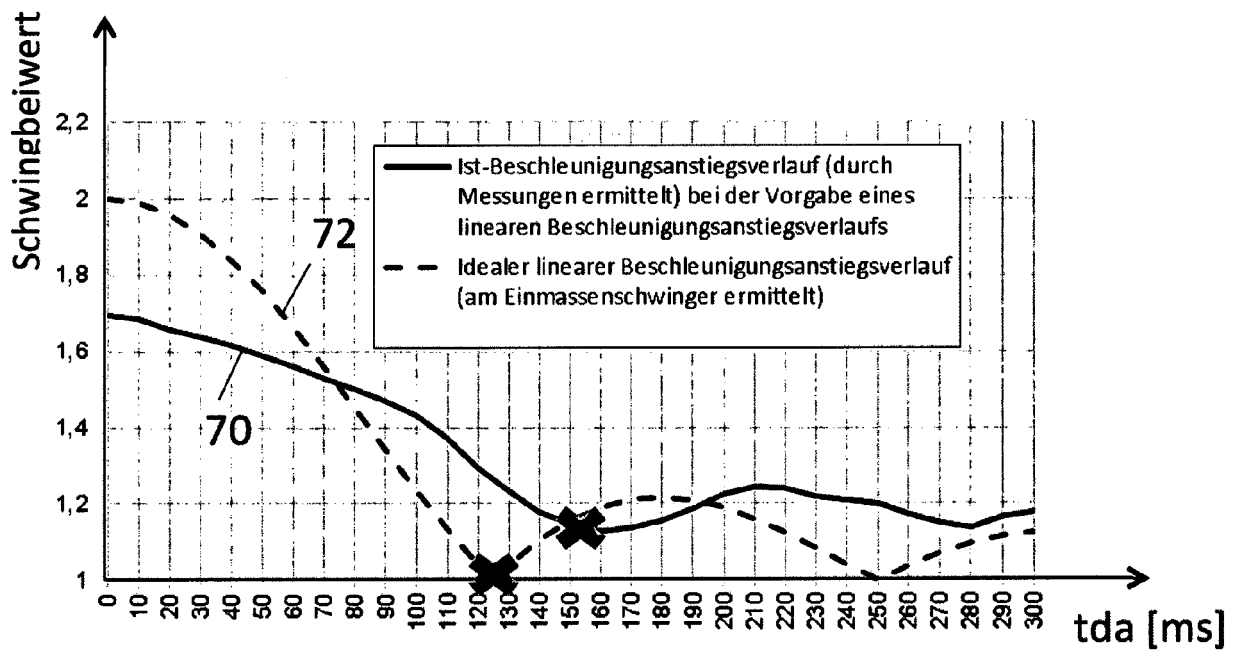


Fig. 7

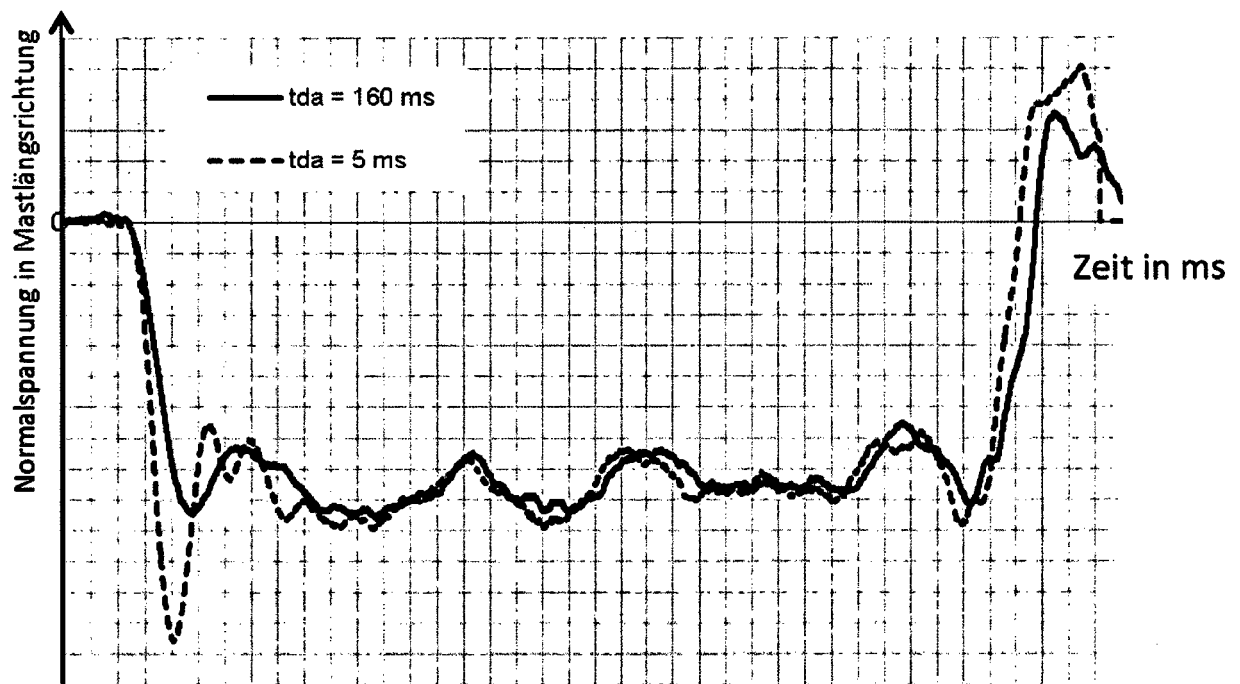


Fig.8

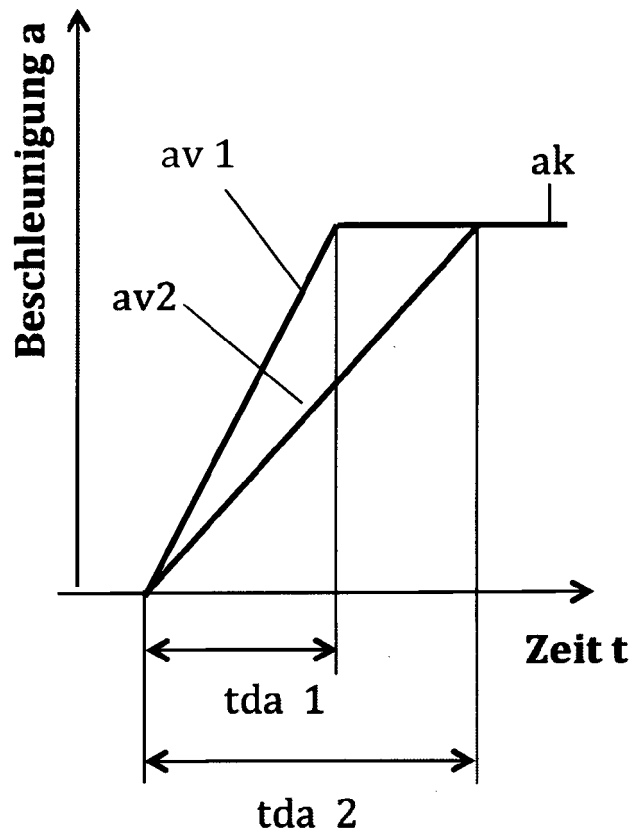


Fig. 9

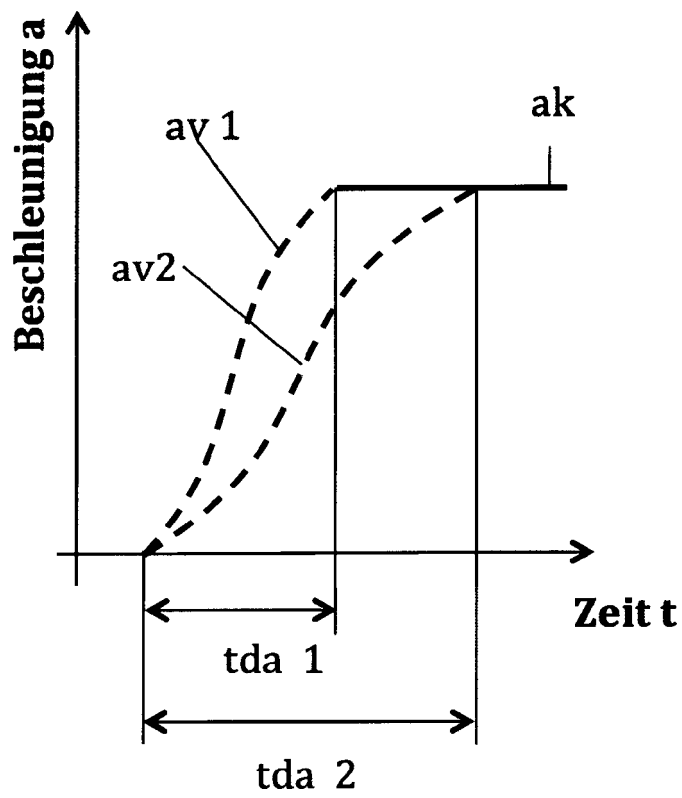


Fig. 10

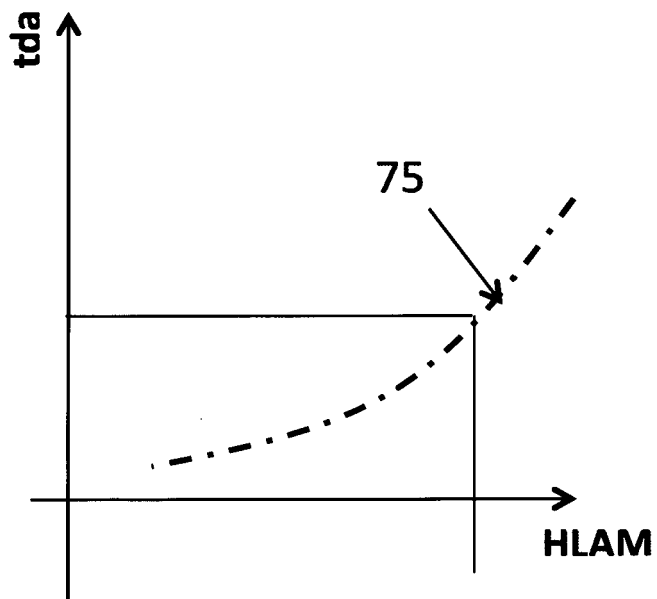


Fig. 11

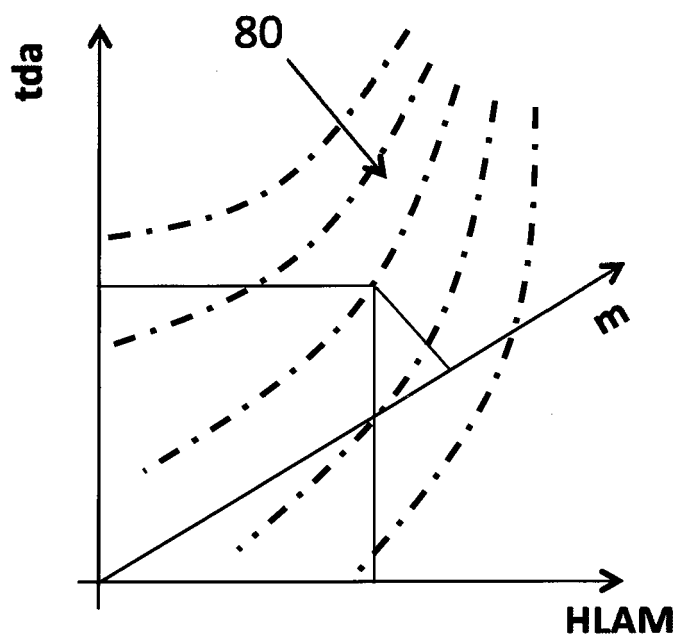


Fig. 12



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 16 00 1465

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	DE 199 07 989 B4 (HOFER EBERHARD [DE]; SAWODNY OLIVER [DE]) 19. März 2009 (2009-03-19)	11	INV. B66C13/06 B66F9/07
Y	* Zusammenfassung * * Seite 2 * * Ansprüche * * Abbildungen *	1	
X,D	DE 100 63 722 C2 (SIEMENS AG [DE]) 3. Juli 2003 (2003-07-03)	11	
A	* Zusammenfassung * * Anspruch 1 * * Abbildungen *	1	
Y	US 2011/006023 A1 (SCHNEIDER KLAUS [DE] ET AL) 13. Januar 2011 (2011-01-13)	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B66C B66F
	* Zusammenfassung * * Absatz [0005] - Absatz [0038] * * Absatz [0054] * * Ansprüche * * Abbildungen *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 30. November 2016	Prüfer Sheppard, Bruce
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 : nichtschriftliche 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 16 00 1465

5 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.

30-11-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19907989 B4	19-03-2009	KEINE	
DE 10063722 C2	03-07-2003	DE 10063722 A1	11-07-2002
		US 2002074964 A1	20-06-2002
US 2011006023 A1	13-01-2011	AT 544719 T	15-02-2012
		CN 101948082 A	19-01-2011
		DE 102009032270 A1	13-01-2011
		EP 2272785 A1	12-01-2011
		ES 2378218 T3	10-04-2012
		US 2011006023 A1	13-01-2011

EPO FORM P0461

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

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 3524666 A1 [0005]
- DE 4407862 A [0005]
- DE 19641192 C2 [0006]
- DE 69119913 T2 [0007]
- DE 19709381 A1 [0008]
- DE 102009051846 A1 [0009]
- DE 19907989 B4 [0010]
- DE 1531210 A [0011]
- DE 102005005358 A1 [0012]
- DE 10063722 C2 [0013]
- EP 0685779 A1 [0014]
- WO 1996012992 A1 [0015]
- WO 2000042479 A1 [0016]