



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.03.2024 Patentblatt 2024/12

(21) Anmeldenummer: **23195077.5**

(22) Anmeldetag: **04.09.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E02F 3/20 (2006.01) **E02D 17/13** (2006.01)
E02F 3/47 (2006.01) **E02F 9/20** (2006.01)
E02F 9/26 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E02F 3/205; E02D 17/13; E02F 3/475;
E02F 9/2016; E02F 9/265

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **16.09.2022 DE 102022123785**

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

(72) Erfinder:
• **FLATZ, Lukas**
6844 Altach (AT)

- **BLANK, Mathias**
6822 Satteins (AT)
- **GLÜCK, Tobias**
1020 Wien (AT)
- **BISCHOF, Bernhard**
1160 Wien (AT)
- **KUGI, Andreas**
1200 Wien (AT)

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

(54) **ARBEITSGERÄT MIT EINEM MECHANISCHEN SCHLITZWANDGREIFER UND VERFAHREN ZUM DURCHFÜHREN EINES ARBEITSSCHRITTS EINES SOLCHEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Arbeitsgerät, insbesondere einen Seilbagger, umfassend einen mechanischen Schlitzwandgreifer mit zwei Greiferschaufeln, welcher über ein Hubseil und ein Schließseil am Arbeitsgerät aufgehängt ist, eine Hubseilwinde, auf der das Hubseil zum insbesondere im Wesentlichen vertikalen Verstellen des Schlitzwandgreifers auf- und abwickelbar gelagert ist, eine Schließseilwinde, auf der das Schließseil zum Betätigen der Greiferschaufeln auf- und abwickelbar gelagert ist, eine Messeinrichtung mit mindestens einem Sensor zur Erfassung einer aktuellen Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung, eine mit der Messeinrichtung verbundene Steuereinheit, über welche die Hub- und Schließseilwinden betätigbar sind, sowie ein mit der Steuereinheit verbundenes Eingabemittel zur Steuerung des Schlitzwandgreifers. Erfindungsgemäß ist die Steuereinheit eingerichtet, zur Durchführung eines den Schlitzwandgreifer involvierenden Arbeitsschritts in Abhängigkeit von Messdaten der Messeinrichtung und von Soll-Vorgaben des Eingabemittels die Hubseilwinde und/oder die Schließseilwinde über eine Kaskadenregelung zu regeln. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Durchführen eines Arbeitsschritts mittels eines erfindungsgemäßen Arbeitsgeräts.

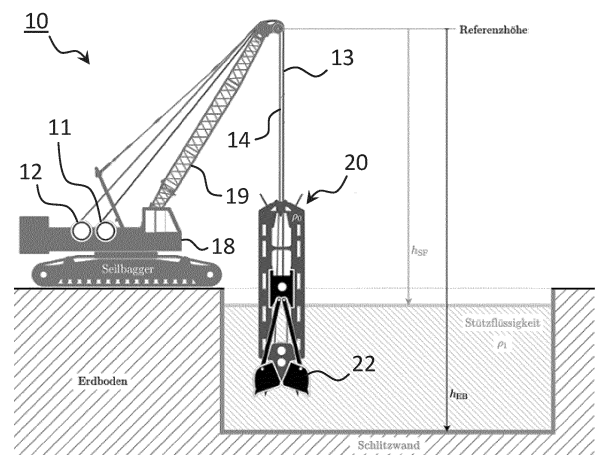


Fig. 1

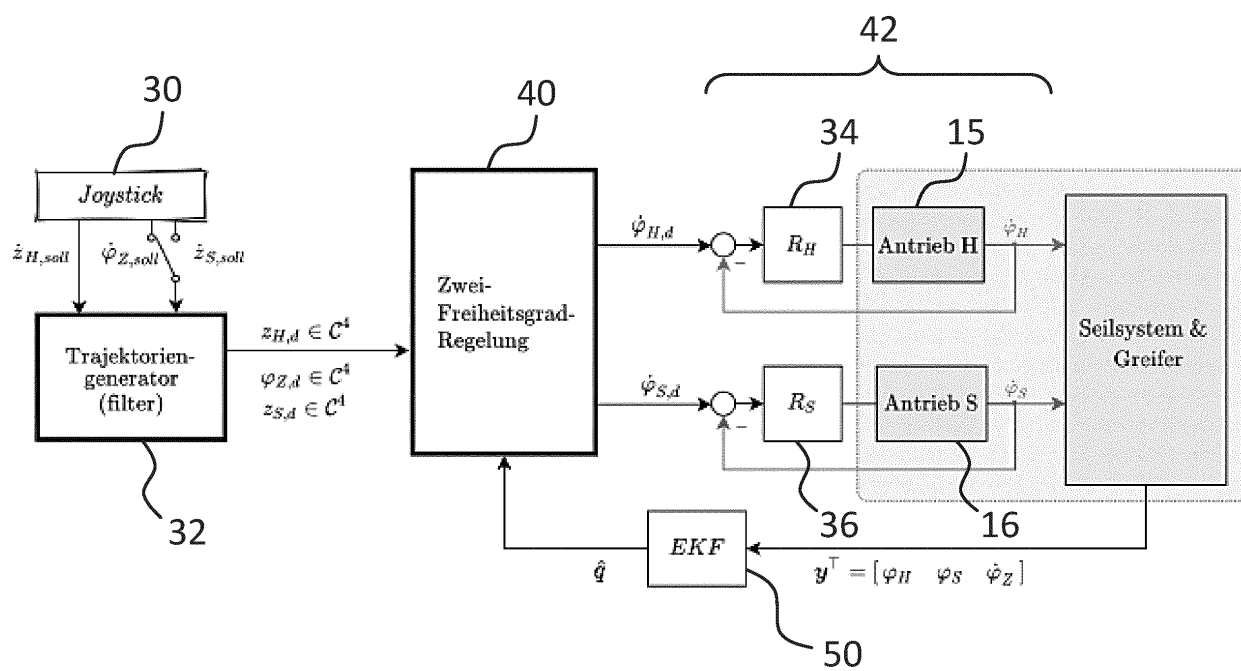


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Arbeitsgerät nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie Verfahren zum Durchführen eines Arbeitsschritts mittels eines solchen Arbeitsgeräts.

[0002] Schlitzwände werden im Tiefbau u.a. zur Sicherung von Baugruben verwendet. Für die Erstellung einer solchen Schlitzwand wird in der Regel zunächst ein vertikaler Schlitz entlang von Leitwänden aus dem Boden ausgehoben, welcher anschließend mit Stahlbeton betoniert wird. Die dadurch entstehende Schlitzwand stützt die weitere Gründung der baulichen Anlage.

[0003] Für das Ausheben derartiger Schlitzwände werden typischerweise Seilbagger mit Schlitzwandfräsen oder alternativ mit speziellen Zwei-Schalen-Greifern, sogenannten Schlitzwandgreifern, verwendet. Beim Schlitzwandgreifer werden im Wesentlichen zwei Ausführungen unterschieden: mechanische Schlitzwandgreifer und hydraulische Schlitzwandgreifer. Beim hydraulischen Schlitzwandgreifer werden die Greiferschaukeln hydraulisch betätigt, während beim mechanischen Schlitzwandgreifer die Öffnung und Schließung der Greiferschaukeln über ein Seilzugsystem mittels eines hierfür vorgesehenen Schließseils erfolgt.

[0004] Hydraulische Schlitzwandgreifer erfreuen sich aufgrund ihrer einfachen Bedienbarkeit, z.B. durch einen hydraulischen Drehzylinder am Greiferkopf, zunehmender Beliebtheit und Verbreitung. Neben der einfachen Bedienbarkeit weisen hydraulische Schlitzwandgreifer jedoch gegenüber mechanischen Schlitzwandgreifern auch einige Nachteile auf. So muss für den Betrieb des hydraulischen Greifers beispielsweise an einer Schottplatte des Seilbaggers die Hydraulikversorgung für den Greifer zur Verfügung gestellt werden, welche anschließend zusätzlich zu den Stahlseilen über Schlauchtrommeln in bis zu 50m Tiefe zum Greiferkopf geführt werden muss. Die dazu notwendigen Schlauchtrommeln sind kostenintensiv und wartungsanfällig.

[0005] Ein mechanischer Schlitzwandgreifer ist typischerweise nur über zwei Stahlseile (Hubseil und Schließseil) am Trägergerät aufgehängt. Der mechanische Schlitzwandgreifer ist damit im Gegensatz zum hydraulischen Schlitzwandgreifer unteraktuiert, da mit lediglich zwei Winden (Hubseilwinde und Schließseilwinde) die Bewegung von drei Freiheitsgraden (Heben / Senken des Schlitzwandgreifers, Drehen des Schlitzwandgreifers und Öffnen / Schließen der Greiferschaukeln) aktuiert wird.

[0006] Das Ausheben eines Schlitzes mit einem mechanischen Schlitzwandgreifer erfolgt in zyklischen Grabvorgängen. Dafür wird das abzutragende Erdreich zuerst gelöst und anschließend zu einem Materialabwurfpoint transportiert. Um die gewünschte Grabtiefe in minimaler Zyklenanzahl zu erreichen, muss der Schlitzwandgreifer bei jedem Zyklus maximal gefüllt werden. Das Einfädeln des Greifers in den Schlitz stellt dabei üblicherweise die längste Arbeitsphase dar.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Bedienung eines gattungsgemäßen mechanischen Schlitzwandgreifers zu erleichtern. Insbesondere soll der Bediener bei der Durchführung der Arbeitsschritte unterstützt und dadurch der Bedienkomfort sowie die Effizienz des Arbeitsvorgangs erhöht werden.

[0008] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Arbeitsgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

[0009] Demnach wird einerseits ein Arbeitsgerät, insbesondere ein Seilbagger, vorgeschlagen, welcher einen mechanischen Schlitzwandgreifer mit zwei Greiferschaukeln umfasst, der über ein Hubseil und ein Schließseil am Arbeitsgerät aufgehängt ist. Das Hubseil dient dem Verstellen des Schlitzwandgreifers, insbesondere in einer im Wesentlichen vertikalen Richtung, während das Schließseil dem Betätigen, d.h. dem Öffnen bzw. Schließen der Greiferschaukeln dient.

[0010] Dabei können zum Verstellen des Schlitzwandgreifers und/oder zum Öffnen bzw. Schließen der Greiferschaukeln auch beide Seile verwendet werden. So werden zum Verstellen des Schlitzwandgreifers insbesondere beide Seile gemeinsam auf- bzw. abgewickelt. Darüber hinaus kann ein Öffnen der Greiferschaukeln entweder durch Abwickeln des Schließseils oder durch Aufwickeln des Hubseils oder eine Kombination davon erfolgen. Ebenso kann ein Schließen der Greiferschaukeln entweder durch Aufwickeln des Schließseils oder durch Abwickeln des Hubseils oder eine Kombination davon erfolgen. Vorzugsweise wird zum Betätigen der Greiferschaukeln das Schließseil verwendet, welches insbesondere über einen Seilzugmechanismus des Schlitzwandgreifers geführt ist, um eine hohe Schließkraft zu ermöglichen.

[0011] Das erfindungsgemäße Arbeitsgerät umfasst weiterhin eine Hubseilwinde, auf der das Hubseil auf- und abwickelbar gelagert ist, sowie eine Schließseilwinde, auf der das Schließseil auf- und abwickelbar gelagert ist. Die Seilwinden werden insbesondere über entsprechende Aktuatoren bzw. Motoren betätigt.

[0012] Darüber hinaus umfasst das erfindungsgemäße Arbeitsgerät eine Messeinrichtung mit mindestens einem Sensor zur Erfassung einer aktuellen Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung mindestens einer Komponente des Arbeitsgeräts. Dies kann den Schlitzwandgreifer als Ganzes und/oder eines der Seile oder beide Seile (bzw. die entsprechenden Winden oder Aktuatoren) betreffen.

[0013] Schließlich umfasst das erfindungsgemäße Arbeitsgerät eine mit der Messeinrichtung verbundene Steuereinheit, über welche die Hub- und Schließseilwinden ansteuerbar sind, sowie mindestens ein mit der Steuereinheit verbundenes Eingabemittel zur Steuerung des Schlitzwandgreifers. Bei dem Eingabemittel kann es sich beispielsweise um einen oder mehrere Joysticks

und/oder Schalter in einer Fahrerkabine des Arbeitsgeräts handeln.

[0014] Der Begriff "Steuereinheit" ist dabei nicht so auszulegen, dass es sich dabei um eine einzige Einheit bzw. Komponente handeln muss, sondern kann auch ein System aus mehreren einzelnen, miteinander kommunikativ verbundenen Steuereinheiten bzw. Rechnern bezeichnen. Die im Folgenden diskutierten Funktionen, die durch die Steuereinheit ausgeführt werden, können daher von einer einzelnen Einheit ausgeführt werden oder auf mehrere Einheiten verteilt sein. Im Folgenden wird der Einfachheit halber jedoch nur von einer Steuereinheit gesprochen.

[0015] Im Folgenden werden die Begriffe "Schlitzwandgreifer" und "Greifer" synonym verwendet.

[0016] Erfindungsgemäß ist die Steuereinheit eingerichtet, zur Durchführung eines den Schlitzwandgreifer involvierenden Arbeitsschritts (z.B. ein Heben / Senken des Schlitzwandgreifers, ein Drehen des Schlitzwandgreifers, ein Öffnen / Schließen der Greiferschaufeln oder eine beliebige Kombination davon) in Abhängigkeit von Messdaten der Messeinrichtung und von Soll-Vorgaben des Eingabemittels die Hubseilwinde und/oder die Schließseilwinde über eine Kaskadenregelung zu regeln.

[0017] Unter einer Kaskadenregelung ist vorliegend eine Regelung mit Hilfe mehrerer, d.h. mindestens zweier, ineinander verschachtelter Regelkreise zu verstehen. Insbesondere dient dabei eine Ausgangsgröße eines äußeren bzw. überlagerten Reglers bzw. Regelkreises als Führungsgröße, d.h. als Soll-Wert eines inneren bzw. unterlagerten Reglers bzw. Regelkreises. Die inneren Regelkreise sind dabei insbesondere schneller als die jeweils äußeren Regelkreise.

[0018] Die Kaskadenregelung der Seilwinden ermöglicht eine schnelle, genaue und stabile Regelung des Bewegungsvorgangs. Aufgrund dieser Regelungsstruktur kann beispielsweise durch Einbindung einer automatischen Planung, welche ggf. auch physikalische Beschränkungen des Arbeitsgeräts bzw. Greifers berücksichtigt, ein Assistenzsystem bereitgestellt werden, das den Benutzer bei der Bedienung des Arbeitsgeräts unterstützt und den Bedienkomfort wesentlich erhöht.

[0019] In einer möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Kaskadenregelung einen unterlagerten Regelkreis zur Regelung eines Drehwinkels, einer Drehwinkelgeschwindigkeit und/oder einer Drehwinkelbeschleunigung der Hub- und/oder der Schließseilwinde sowie einen überlagerten Regelkreis zur Regelung einer Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Schlitzwandgreifers umfasst. Vorzugsweise umfasst die Kaskadenregelung eine unterlagerte Regelung der Drehwinkelgeschwindigkeiten der Hub- und Schließseilwinden sowie eine überlagerte Regelung der Schlitzwandgreiferposition, d.h. eine überlagerte Positionsregelung.

[0020] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass für die Kaskadenregelung als Stell-

glieder nur Antriebe bzw. Motoren der Hub- und Schließseilwinden verwendet werden. Insbesondere werden sowohl für die unterlagerten als auch für die überlagerten Regelkreise die besagten Antriebe der Hub- und Schließseilwinden als Stellglieder verwendet. Andere Aktuatoren bzw. Stellglieder kommen insbesondere nicht zum Einsatz, was die Regelung vereinfacht.

[0021] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist die Steuereinheit eingerichtet, eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers über mehrere Teilregelungen anhand von jeweils nur zwei Freiheitsgraden des Schlitzwandgreifers durchzuführen. Mit anderen Worten ist die Positionsregelung aufgeteilt in zwei reduzierte Teilsysteme bzw. Teilregelungen mit je nur zwei Bewegungsfreiheitsgraden. Damit kann die unteraktuierte Regelungsaufgabe zur Bewegung des Schlitzwandgreifers in zwei exakte, d.h. nicht unteraktuierte Teilprobleme aufgeteilt werden.

[0022] Vorzugsweise betrifft eine der Teilregelungen eine Position der Greiferschaufeln und eine Position, insbesondere Vertikalposition, des Schlitzwandgreifers. Alternativ oder zusätzlich betrifft eine der Teilregelungen eine Orientierung, insbesondere einen Drehwinkel, und eine Position, insbesondere Vertikalposition, des Schlitzwandgreifers.

[0023] Insbesondere wird die Positionsregelung in die beiden vorgenannten Teilregelungen aufgeteilt, da diese Bewegungsvorgänge (insbesondere die Betätigung der Greiferschaufeln und das Drehen des Schlitzwandgreifers) üblicherweise nicht gleichzeitig, sondern nacheinander durchgeführt werden. Beispielsweise wird der Schlitzwandgreifer zum Einfädeln in die Leitwände in einem ersten Modus der Positionsregelung um dessen Hochachse gedreht. Anschließend wird der Schlitzwandgreifer in den Schlitz abgesenkt und dort dann in einem zweiten Modus der Positionsregelung die Greiferschaufeln geöffnet bzw. geschlossen. Hierbei wird die Verdrehung des Schlitzwandgreifers während des Öffnens und Schließens insbesondere vernachlässigt. Dies ist bei Öffnen gerechtfertigt, da die Drehung des Greifers ohnehin durch den Schlitz blockiert ist. Ebenso beim Entleeren des Greifers, bei dem die Verdrehung des Greifers den Prozess kaum beeinflusst. Somit ist eine exakte Regelung der Bewegungsvorgänge nur mit den beiden Seilwinden ohne Beeinträchtigung möglich.

[0024] Der erste Modus kann also das Heben bzw. Senken sowie das Drehen des geschlossenen Greifers ermöglichen und als "Drehen" bezeichnet werden. Der zweite Modus kann das Heben bzw. Senken sowie das Öffnen bzw. Schließen des Greifers ermöglichen und als "Greifen" bezeichnet werden.

[0025] Durch diese Aufteilung kann die Positionsregelung als schaltende Trajektorienfolgeregelung ausgeführt werden. Die jeweilige Trajektorienfolgeregelung kann beispielsweise anhand einer Umschaltlogik je nach Anforderung der Greiferöffnung und der aktuellen Greiferöffnung ausgewählt werden. Die Positionsregelung kann sich bevorzugt standardmäßig im ersten Modus

(Drehen) befinden und den entsprechenden Sollvorgaben des geschlossenen Greifers folgen. Es kann vorgesehen sein, dass, sobald durch den Bediener das Öffnen des Greifers angefordert wird, die Positionsregelung automatisch in den zweiten Modus ("Greifen") wechselt und dann den nun geltenden Sollvorgaben folgt. Hierbei wird vorzugsweise die Rotation des geöffneten Greifers ignoriert. Es kann vorgesehen sein, dass wieder automatisch zurück in den ersten Modus (Drehen) geschaltet wird, sobald der Greifer wieder vollständig geschlossen ist.

[0026] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist die Steuereinheit eingerichtet, über die Kaskadenregelung eine Position des Schlitzwandgreifers zu regeln, wobei die Hub- und/oder Schließseilwinden über ein Vorsteuermitte vorsteuerbar sind, welches eingerichtet ist, anhand von Soll-Vorgaben des Eingabemittels und eines mathematischen Modells eine Position, insbesondere eine Trajektorie, des Schlitzwandgreifers vorzugeben und/oder zu verändern. Vorzugsweise umfasst das Vorsteuermitte einen Trajektoriengenerator und/oder Trajektorienfilter oder stellt einen solchen dar. Das Vorsteuermitte kann eingerichtet sein, die Eingabe des Bedieners über das Eingabemittel zu verarbeiten und eine Solltrajektorie für die Kaskadenregelung, insbesondere für eine überlagerte Positionsregelung, zu generieren.

[0027] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass für die Kaskadenregelung mittels der Messeinrichtung lediglich Drehwinkel der Hub- und Schließseilwinden sowie eine Drehwinkelgeschwindigkeit und/oder Orientierung (insbesondere ein Drehwinkel) des Schlitzwandgreifers gemessen werden. Eine Erfassung weiterer Messgrößen ist für die erfindungsgemäße Regelung insbesondere nicht nötig.

[0028] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass zumindest ein Regelkreis der Kaskadenregelung, vorzugsweise alle Regelkreise, einen PI-Regler umfasst. Alternativ oder zusätzlich kann mindestens ein Regler als Vorsteuerung mit zusätzlichem PD-Regler ausgebildet sein, beispielsweise für eine überlagerte Positionsregelung.

[0029] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist ein mit der Messeinrichtung verbundenes Schätzmittel vorgesehen, welches eingerichtet ist, anhand von Messdaten der Messeinrichtung eine momentane Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Schlitzwandgreifers zu ermitteln. Bei den in das Schätzmittel eingehenden Messdaten kann es sich um Drehwinkel der Seilwinden und/oder eine Drehgeschwindigkeit des Schlitzwandgreifers handeln. Vorzugsweise umfasst das Schätzmittel ein Kalman-Filter, insbesondere ein erweitertes Kalman-Filter mit Zustandsbeschränkung. Das Schätzmittel stellt insbesondere einen Zustandsbeobachter bzw. virtuellen Sensor zur Schätzung der genauen Position bzw. Orientierung des Schlitzwandgreifers aus den erfassten Messdaten dar. Mit anderen Worten wird durch das Schätzmittel vorzugsweise ein aktueller Zustand des Schlitzwandgreifers aus den Messdaten rekonstruiert, da dieser Zustand insbeson-

dere nicht direkt gemessen werden kann. Das Schätzmittel kann eine mit der Steuereinheit verbundene, separate Einheit darstellen oder aber Teil der Steuereinheit sein (z.B. als Softwarebaustein).

[0030] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Schlitzwandgreifer nicht an einem Mäkler geführt, sondern über die Hub- und Schließseile an einem Ausleger des Arbeitsgeräts aufgehängt, insbesondere frei aufgehängt, ist. Die Bewegung des Schlitzwandgreifers erfolgt dabei über die Aktuierung der Hub- und Schließseilwinden.

[0031] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass ein Heben, Senken, Öffnen, Schließen und/oder Drehen des Schlitzwandgreifers ausschließlich über eine Betätigung der Hub- und/oder Schließseilwinden erfolgt.

[0032] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Hubseil und das Schließseil jeweils als nicht-verdrehungsfreie Seile, insbesondere als Litzenseile aus Stahl, ausgebildet sind. Die Seile weisen vorzugsweise entgegengesetzte Schlagrichtungen auf. Dabei erzeugt jedes Seil in Abhängigkeit seiner Seilzugspannung ein Torsionsdrehmoment. Die beiden Seile tordieren durch ihre entgegengesetzte Schlagrichtung und Befestigung am Schlitzwandgreifer in entgegengesetzte Richtungen. Damit kann, je nach Kraftverteilung zwischen den Seilen, der Schlitzwandgreifer vorzugsweise im Bereich von $\pm 180^\circ$ gedreht werden.

[0033] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Durchführen eines Arbeitsschritts mittels eines erfindungsgemäßen Arbeitsgeräts. Das Verfahren umfasst dabei die folgenden Schritte (welche nicht zwangsläufig in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden müssen):

- Erzeugung von mindestens einer Soll-Vorgabe zur Durchführung des Arbeitsschritts, insbesondere durch Betätigung des Eingabemittels,
- Erfassung mindestens einer aktuellen Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung der Hubseilwinde und/oder der Schließseilwinde, insbesondere mittels eines oder mehrerer Sensoren der Messeinrichtung, und
- Regelung und vorzugsweise Steuerung (insbesondere Vorsteuerung) der Hubseilwinde und/oder der Schließseilwinde durch die Steuereinheit anhand von Messdaten der Messeinrichtung und der mindestens einen Soll-Vorgabe derart, dass sich der Schlitzwandgreifer entsprechend der mindestens einen Soll-Vorgabe bewegt.

[0034] Hinsichtlich der Eigenschaften, Vorteile und möglichen Ausführungsformen des Arbeitsgeräts gelten die vorherigen Ausführungen analog, sodass auf eine wiederholende Beschreibung weitgehend verzichtet wird.

[0035] In einer möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass im Rahmen einer unterlagerten Regelung

ein Drehwinkel, eine Drehwinkelgeschwindigkeit und/oder eine Drehwinkelbeschleunigung der Hubseilwinde und/oder der Schließseilwinde und im Rahmen einer überlagerten Regelung eine Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Schlitzwandgreifers (direkt oder aber indirekt über die Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung der Seilwinde(n)) geregelt wird, wobei die Hubseilwinde und/oder die Schließseilwinde vorzugsweise zusätzlich zur Regelung über eine modellbasierte Vorsteuerung gesteuert wird / werden. Vorzugsweise erfolgt eine unterlagerte Regelung der Drehwinkelgeschwindigkeiten der Hub- und Schließseilwinden sowie eine überlagerte Regelung der Schlitzwandgreiferposition, d.h. eine überlagerte Positionsregelung.

[0036] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers auf der Grundlage von lediglich zwei Freiheitsgraden erfolgt, welche sich vorzugsweise für mindestens zwei unterschiedliche den Schlitzwandgreifer involvierende Arbeitsschritte voneinander unterscheiden. Vorzugsweise betrifft eine Teilregelung eine Position der Greiferschaufeln und eine Position, insbesondere Vertikalposition, des Schlitzwandgreifers. Alternativ oder zusätzlich betrifft eine Teilregelung eine Orientierung, insbesondere einen Drehwinkel, und eine Position, insbesondere Vertikalposition, des Schlitzwandgreifers.

[0037] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass eine momentane Position des Schlitzwandgreifers durch ein Schätzmittel ermittelt bzw. geschätzt und der Steuereinheit für eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers bereitgestellt wird, insbesondere als Ist-Wert.

[0038] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend anhand der Figuren erläuterten Ausführungsbeispielen. Es zeigen:

Figur 1: ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Arbeitsgeräts in einer Seitenansicht;

Figur 2: eine schematische Darstellung der für die Kaskadenregelung relevanten Komponenten und Größen des erfindungsgemäßen Arbeitsgeräts gemäß einem Ausführungsbeispiel; und

Figur 3: ein Blockschaltbild der Kaskadenregelung gemäß einem Ausführungsbeispiel.

[0039] In der Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Arbeitsgeräts 10 in einer Seitenansicht dargestellt, wobei der Untergrund sowie ein im Untergrund erstellter, mit einer Stützflüssigkeit gefüllter Bodenschlitz in einer schematischen Schnittansicht zu sehen sind. Bei dem Arbeitsgerät 10 handelt es sich in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel um einen Seilbagger 10 mit einem ein Raupenfahrwerk umfassenden Unter-

wagen, einen darauf um eine vertikale Drehachse gelagerten Oberwagen 18 und einen schwenkbar am Oberwagen 18 befestigten Gittermastausleger 19.

[0040] Am Ausleger 19 ist ein mechanischer Schlitzwandgreifer 20 über zwei Stahlseile aufgehängt, welche über entsprechende Rollen an einem Auslegerkopf zum Oberwagen 18 geführt sind: ein Hubseil 13, welches auf einer am Oberwagen 18 befestigten Hubseilwinde 11 auf- und abwickelbar gelagert ist und ein Schließseil 14, welches auf einer ebenfalls am Oberwagen 18 befestigten Schließseilwinde 12 auf- und abwickelbar gelagert ist.

[0041] Der Schlitzwandgreifer 20 weist am unteren Ende zwei schwenkbar an einem Greifferrahmen gelagerte Greiferschaufeln 22 auf, welche durch Betätigung des Schließseils 14 (bzw. der Schließseilwinde 12) geöffnet und geschlossen werden können. Die Greiferschaufeln 22 sind an einem Korpus 26 angelenkt über nicht dargestellte Stangen gelenkig mit einem Greiferschlitten 27 verbunden. Das Schließseil 14 wird über einen Flaschenzug bzw. ein Seilzugsystem 24 (vgl. Fig. 2) im Greifer untersetzt, um eine höhere Schließkraft zu erreichen, und ist an einem Ende an einem Greiferschlitten 27 des Schlitzwandgreifers 20 befestigt. Das Hubseil 13 ist direkt (d.h. ohne Seilzugsystem) am Greiferschlitten 27 befestigt. Die Umlenkrollen des Seilzugsystems 24 sind bevorzugt teils mit dem Greiferschlitten 27, teils mit dem Korpus 26 verbunden.

[0042] Der Schlitzwandgreifer 20 hängt frei am Ausleger 19, sodass sämtliche Bewegungen (Heben, Senken, Drehen um eine vertikale Achse sowie Öffnen / Schließen der Greiferschaufeln 22) nur durch Aktivierung der Hub- und Schließseilwinden 11, 12 erfolgen. Die Hub- und Schließwinden 11, 12 sind insbesondere baugleich.

[0043] Für die beiden Seile 13, 14 werden nicht-verdrehungsfreie Stahllitzenseile verwendet, welche entgegengesetzte Schlagrichtung aufweisen. Auf den Schlitzwandgreifer 20 wirken außerhalb des Bodenschlitzes keine externen Kräfte. Sobald der Schlitzwandgreifer 20 jedoch in die Stützflüssigkeit eintaucht, welche in den Bodenschlitz eingebracht ist, wird die Drehung des Schlitzwandgreifers 20 durch die Leitwände gesperrt. Zusätzlich wirkt durch die Stützflüssigkeit eine Auftriebskraft und sobald die Greiferschaufeln 22 den Erdboden erreichen, werden die gesamten Potentialkräfte kompensiert.

[0044] Die Auslegerposition des Seilbaggers 10 wird für die folgende Diskussion als fixiert angenommen.

[0045] Die Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung der für die Kaskadenregelung relevanten Komponenten und Größen des erfindungsgemäßen Arbeitsgeräts, wobei insbesondere die generalisierten Koordinaten und Abmessungen für den Greifer 20 zu erkennen sind. Zur Modellbildung ist das Gesamtsystem in die drei Teilsysteme Antriebsstrang, Seilsystem und mechanischer Greifer 20 (im Folgenden werden die Begriffe "Schlitzwandgreifer" und "Greifer" synonym verwendet) aufgeteilt.

[0046] Das erste Teilsystem umfasst die beiden Antriebsstränge der Arbeitswinden 11, 12 des Seilbaggers 10. Für jeden Antriebsstrang wird ein lineares Ersatzmodell umfassend einen Motor, ein Getriebe sowie die jeweilige Windentrommel 11, 12 verwendet.

[0047] Im Greiferbetrieb des mechanischen Schlitzwandgreifers 20 werden als Hub- und Schließseile 13, 14 zwei nicht-drehungsfreie Litzenseile aus Stahl mit entgegengesetzter Schlagrichtung eingesetzt. Für die Modellbildung ist die Elastizität sowie die Torsion der Hub- und Schließseile 13, 14 vorzugsweise berücksichtigt. Die Verwendung von nicht-drehungsfreien Seilen 13, 14 ermöglicht es, den mechanischen Schlitzwandgreifer 20 um die vertikale Achse drehen zu können. Dabei erzeugt jedes Seil 13, 14 in Abhängigkeit seiner Seilzugspannung ein Torsionsdrehmoment. Die beiden Seile 13, 14 tordieren durch ihre entgegengesetzte Schlagrichtung und Befestigung am Greifer 20 in entgegengesetzte Richtungen. Damit kann, je nach Kraftverteilung zwischen den Seilen 13, 14, der Greifer 20 im Bereich von $\pm 180^\circ$ gedreht werden.

[0048] Das dritte Teilsystem beschreibt den mechanischen Schlitzwandgreifer 20 selbst, welcher über die Hub- und Schließseile 13, 14 aktuiert wird. Die Bedienung des Schlitzwandgreifers 20 erfolgt durch Ansteuerung der beiden Winden 11, 12. Um den Greifer 20 bzw. die Greiferschaukeln 22 zu schließen, wird das Schließseil 14 eingezogen. Wenn der Greifer 20 komplett geschlossen ist (hierfür ist vorzugsweise ein unterer Anschlag vorgesehen) führt ein weiteres Einziehen des Schließseils 14 dazu, dass sich der gesamte Greifer 20 im geschlossenen Zustand anhebt, wobei die ganze Last auf der Schließseilwinde 12 liegt. Wenn der Greifer 20 bzw. die Greiferschaukeln 22 maximal geöffnet ist, stehen die Greiferschaukeln 22 an einem Endanschlag an und ein weiteres Abwickeln des Schließseils 14 führt zu keiner weiteren Bewegung des Greifers 20, sondern lediglich zu einer Lockerung des Schließseils 14. Für das Heben im geschlossenen Zustand ohne unerwünschtes Öffnen der Greiferschaukeln 22 darf daher der untere Anschlag nie verlassen werden. Gleiches gilt sinngemäß für das Senken des Greifers 20 im geöffneten Zustand.

[0049] Neben der Greiferrhöhe und dem Öffnungswinkel der Greiferschaukeln 22 kann über das zuvor beschriebene Torsionsmoment der Seile 13, 14 der Greifer 20 um eine vertikale Achse rotiert werden. Beim Öffnen bzw. Schließen des Greifers 20 folgt daraus auch eine unweigerliche Verdrehung des Greifers 20.

[0050] Die Koordinaten des Greifers 20 ergeben sich über die Seillängen der Hub- und Schließseile 13, 14 sowie dem Drehwinkel φ_S des Greifers 20 um die vertikale Achse. Um die Bewegungsgleichungen herzuleiten, werden zusätzlich die generalisierten Koordinaten gemäß Fig. 2 eingeführt. Für das unterlagerte Regelungskonzept können die Bewegungsgleichungen des Gesamtsystems vorteilhaft in aktuierte Koordinaten

$q_A^T = [\varphi_H, \varphi_S]$ und unaktuierte Koordinaten

$q_U^T = [z_H, z_S, \varphi_Z]$ partitioniert werden. Damit können die Bewegungsgleichungen anhand der Energien und durch Anwendung des Lagrange-Formalismus hergeleitet werden.

[0051] Die Figur 3 zeigt ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Kaskadenregelung. Anhand der Figur 3 wird im Folgenden nun die erfindungsgemäße Regelung im Rahmen eines konkreten Ausführungsbeispiels erläutert.

[0051] Die Figur 3 zeigt ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Kaskadenregelung. Anhand der Figur 3 wird im Folgenden nun die erfindungsgemäße Regelung im Rahmen eines konkreten Ausführungsbeispiels erläutert.

I. Überblick

[0052] Durch Betätigung eines Joysticks 30 (= Eingabemittel) in der Fahrerkabine des Seilbaggers 10 zur Durchführung einer Arbeitsbewegung des Schlitzwandgreifers 20 werden Soll-Vorgaben $\dot{z}_{H,soll}$, $\dot{z}_{S,soll}$, $\varphi_{Z,soll}$ generiert. Diese Werte werden einem Trajektoriengenerator bzw. -planer 32 zur Verfügung gestellt, welcher die für die Regelung tatsächlich verwendeten Soll-Werte $z_{H,d}$, $z_{S,d}$, $\varphi_{Z,d}$ anhand eines mathematischen Modells berechnet und dabei die physikalischen Beschränkungen des Greifersystems berücksichtigt. Die Ist-Werte für die Regelung werden durch Sensoren eines Messsystems erfasst und einem als Zustandsbeobachter fungierenden Schätzmittel 50 bereitgestellt, welches daraus die aktuelle Position und/oder Orientierung des Schlitzwandgreifers als in die Regelung tatsächlich eingehende Ist-Werte abschätzt.

[0053] Bei der Kaskadenregelung erfolgt eine unterlagerte Drehwinkelgeschwindigkeitsregelung über einen unterlagerten Regelkreis 42, wobei als Stellglieder die Motoren bzw. Antriebe 15 und 16 der Hub- und Schließseilwinden 11, 12 dienen. Als Regler dienen zwei PI-Regler 34, 36. Die Drehwinkelgeschwindigkeiten $\dot{\varphi}_H$ und $\dot{\varphi}_S$ werden anhand der Motordrehmomente $\tau_{M,H}$ und $\tau_{M,S}$ von den unterlagerten Motoren 15, 16 geregelt.

[0054] Über einen überlagerten Regelkreis 40 erfolgt eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers 20. Eine Aufteilung des unteraktuierten Systems in zwei reduzierte Teilsysteme ermöglicht dabei eine überlagerte (Zwei-Freiheits-Grade-) Positionsregelung. Auch hier dienen als Stellglieder die Motoren bzw. Antriebe 15 und 16 der Hub- und Schließseilwinden 11, 12. Der überlagerte Regelkreis 40 kann eine Vorsteuerung mit mindestens einem zusätzlichem PD-Regler umfassen.

[0055] Die überlagerte Positionsregelung ist in diesem Ausführungsbeispiel als eine schaltende Positionsregelung für das unaktuierte Teilsystem konzipiert. Der Trajektorienplaner 32 verarbeitet die Eingabe des Bedieners und generiert die Solltrajektorie $z_{H,d}$, $z_{S,d}$, $\varphi_{Z,d}$. Der Zustandsbeobachter 50 wird verwendet, um den Zustand aus den Messgrößen y^T zu rekonstruieren. Die Messgrößen y^T des Systems sind die Drehwinkel φ_H , φ_S der Seilwinden 11, 12 sowie die Drehgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_Z$ des Greifers. Mithilfe der Schätzung und der Solltrajektorie

wird in der Positionsregelung die Sollgeschwindigkeit $\dot{\varphi}_H, \dot{\varphi}_S$ für die unterlagerte Geschwindigkeitsregelung vorgegeben.

[0056] Das Heben und Senken des Schlitzwandgreifers 20 und das Drehen um dessen (in der Figur 1 vertikale) Hochachse werden typischerweise bei gänzlich geschlossenen (bzw. vielleicht auch bei geöffneten) Greiferschaufeln 22 durchgeführt. Dadurch kann die Positionsregelung der drei Freiheitsgrade des Greifers 20 in zwei getrennte Regelungen mit je nur zwei Freiheitsgraden aufgeteilt werden. Damit kann die (unteraktuierte) Regelungsaufgabe in Form von zwei exakten Teilproblemen aufgeteilt werden:

Teilproblem 1: Öffnen/Schließen des Greifers 20 und dessen Vertikalbewegung: In diesem Modus wird für die Positionsregelung ein virtueller Ausgang $[z_H, z_S]$ verwendet. Zusammen mit einem mathematischen Modell kann eine modellbasierte Vorsteuerung berechnet werden.

Teilproblem 2: Greiferdrehung im Anschlag und Vertikalbewegung: Die gezielte Greiferdrehung ist vor allem beim Einfädeln des Greifers 20 in den Bodenschlitz gefordert. Diese Manöver erfolgen mit geschlossenen (bzw. geöffneten) Greiferschaufeln 22. In diesem Modus wird für die Positionsregelung ein virtueller Ausgang $[z_H, \varphi_Z]$ vorgegeben. Wiederum kann eine modellbasierte Vorsteuerung anhand des genannten mathematischen Modells bestimmt werden.

[0057] Um auch im Falle von Modell- bzw. Parameterabweichungen der vorgegebenen Trajektorie folgen zu können, werden vorzugsweise beide Vorsteuerungen um PD-Regler erweitert.

[0058] Für die Stabilisierung der Trajektorie, welche in den unaktuerten Koordinaten $q_{U,d}$ geplant wird, werden die unaktuerten Koordinaten q_U und deren zeitliche Ableitungen benötigt. Um diese Systemgrößen aus dem messbaren Ausgang zu schätzen, kann das genannte Schätzmittel 50 in Form eines erweiterten Kalman-Filters mit Zustandsbeschränkung eingesetzt werden.

[0059] Die beiden Vorsteuerungen benötigen für die Bestimmung der Stellgrößen (Motordrehzahlen) zweifach stetig differenzierbare Trajektorien. Zusätzlich sollen diese Trajektorien in ihren Ableitungen beschränkt sein, damit die zur Verfügung stehenden Stellgrößen optimal genutzt werden können. Diese Planung erfolgt anhand von Zustandsvariablen-Filtern.

[0060] II. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten der erfindungsgemäßen Kaskadenregelung genauer erläutert.

1. Reglermodell

[0061] Für die Regelung werden insbesondere die Reibungen in den Seilkräften vernachlässigt. Zusätzlich wird

die Wirkung des Schlitzes auf den Greifer 20 vernachlässigt und somit angenommen, dass sich der Schlitzwandgreifer 20 im freien Raum bewegt.

2. Unterlagerte Geschwindigkeitsregelung

[0062] Für die Trajektorienfolgeregelung ist erfindungsgemäß eine kaskadierte Reglerstruktur gewählt. Dafür wird für beide Motoren eine unterlagerte Geschwindigkeitsregelung entworfen, welche die angeforderte Geschwindigkeit einregelt. Der überlagerte Regelkreis erhält damit näherungsweise die Geschwindigkeiten $\dot{\varphi}_H, \dot{\varphi}_S$ als neue Eingangsgrößen. Für den Entwurf der Geschwindigkeitsregelungen werden die Seilkräfte insbesondere als Störung betrachtet. Damit erhält man für den Antriebsstrang eine lineare Systemdynamik und es wird insbesondere ein PI-Regler mit Hilfe des Frequenzkennlinienverfahrens dimensioniert.

3. Positionsregelung

[0063] Im Rahmen der Positionsregelung wird zwischen zwei Modi unterschieden:

i) Bedienung des geschlossenen Greifers 20 - erster Modus. Das Einfädeln in den Schlitz erfordert eine Kontrolle über die Drehung des geschlossenen Greifers 20 sowie das Heben / Senken. Ferner ist für das Herausheben des abgetragenen Materials wichtig, dass der Greifer 20 bis zum Erreichen des Materialabwurfpunkts geschlossen bleibt. Dieser erste Modus, welcher das Heben bzw. Senken sowie das Drehen des geschlossenen Greifers 20 ermöglicht, wird im Weiteren als Modus "Drehen" bezeichnet.

ii) Bedienung des Greifermechanismus - zweiter Modus. Dabei wird die Verdrehung φ_Z des Greifers 20 während des Öffnens bzw. Schließens vernachlässigt. Diese Funktionalität wird beim Graben innerhalb des Schlitzes benötigt. Dabei ist die Drehung des Greifers 20 ohnehin durch den Schlitz blockiert. Ebenso beim Entleeren des Greifers, bei dem die Verdrehung des Greifers 20 den Prozess kaum beeinflusst. Dieser zweite Modus, welcher das Heben bzw. Senken sowie das Öffnen bzw. Schließen des Greifers 20 ermöglicht, wird im Weiteren als Modus "Greifen" bezeichnet.

[0064] Durch diese Aufteilung kann die Positionsregelung als schaltende Trajektorienfolgeregelung (TFR) ausgeführt werden. Basis für den Entwurf sind die unaktuerten Teilsysteme der Modelle. Anhand einer Umschaltlogik wird je nach Anforderung der Greiferöffnung und der aktuellen Greiferöffnung die jeweilige Trajektorienfolgeregelung ausgewählt.

[0065] Vorzugsweise befindet sich die Positionsregelung standardmäßig im ersten Modus und folgt damit den beiden Sollvorgaben des geschlossenen Greifers 20.

Sobald durch den Bediener das Öffnen des Greifers 20 angefordert wird, wechselt die Positionsregelung insbesondere automatisch in den Modus "Greifen" und folgt damit den nun geltenden Sollvorgaben. Die Vorgabe der Rotation des geöffneten Greifers wird dabei ignoriert und die Rotation des Greifers 20 folgt der Systemdynamik. Sobald der Schlitzwandgreifer wieder vollständig geschlossen ist, wird bevorzugt automatisch zurück in den Modus Drehen geschaltet.

4. Implementierung und Robustheit der TFR

[0066] Zur Erhöhung der Robustheit wird für die Auswertung der Zustandsrückführungen die Solltrajektorie und deren zeitlichen Ableitungen anstelle der tatsächlichen Größen bzw. deren Schätzung verwendet. Für die Trajektorienfehler in den Zustandsregelgesetzen werden die Abweichungen der Solltrajektorien mit den nicht messbaren Zustandsgrößen sowie deren zeitlichen Ableitungen benötigt. Da diese Größen keiner Messung zugänglich sind, wird der bereits erwähnte Zustandsbeobachter 50 verwendet und für die Stabilisierung werden die geschätzten Zustände herangezogen. Durch die Auswertung an den Solltrajektorien entsprechen die Zustandsrückführungen (flachheitsbasierten) Vorsteuerungen und durch die Hinzunahme der Zustandsregelgesetze ergibt sich eine Zwei-Freiheitsgrade-Regelung.

[0067] Im Rahmen der Regelung wird vorzugsweise die Wirkung des Schlitzes auf den Greifer 20 vernachlässigt. Durch die Blockierung der Drehung im Schlitz kann allerdings eine bleibende Regelabweichung entstehen, welche sich negativ auf die Regelung auswirkt. Gleiches gilt für die Vernachlässigung der Auftriebskräfte und das Erreichen des Schlitzbodens. Um das Assistenzsystem in diesen Fällen robuster zu machen, können die Zustandsrückführungen durch Nullsetzen der Parameter deaktiviert werden, solange sich der Schlitzwandgreifer 20 innerhalb des Schlitzes befindet. Die Zwei-Freiheitsgrade-Regelung vereinfacht sich damit zu einer reinen (flachheitsbasierten) Vorsteuerung.

5. Zustandsbeobachter

[0068] Um die zuvor genannte schaltende Trajektorienfolgeregelung zu implementieren, müssen die nicht messbaren Zustände und deren Zeitableitungen geschätzt werden. Dazu wird ein Zustandsbeobachter 50 verwendet. Dieser kann beispielsweise als zeitdiskretes und zustandsbeschränktes erweitertes Kalman-Filter (EKF) für das vollständige und das Ersatzmodell ausgeführt sein. Das Umschalten zwischen den EKF's erfolgt insbesondere anhand der geschätzten Zustände. Dem EKF kann ein zeitdiskreter, zustandsbeschränkter Algorithmus zugrunde liegen, welcher vorzugsweise einen Prädiktions- und einem Korrekturschritt umfasst.

[0069] Für die Implementierung des Beobachters werden vorzugsweise zwei EKF's verwendet, welche je nach geschätztem Modellzustand umgeschaltet werden. Zu-

sätzlich wird beim Eintauchen in den Schlitz die Rotation des Greifers 20 über eine Zustandsbeschränkung im Beobachter vorzugsweise blockiert. Das Umschalten erfolgt insbesondere anhand der geschätzten Position bzw. der geschätzten Seilkraft des Schließseils 14. Als Startwert des einschaltenden EKF's kann der letzte geschätzte Zustand des auszuschaltenden EKF's verwendet werden.

10 6. Trajektorienplanung

[0070] Die Positionsregelung benötigt insbesondere dreifach stetig differenzierbare Solltrajektorien der Greiferkoordinaten. Im Folgenden wird die Vorgabe der Sollpositionen durch den Bediener und die anschließende Trajektorienplanung mit trapezförmigen Beschleunigungsprofilen beschrieben.

[0071] Die Vorgabe der Sollposition für die Trajektorienplanung erfolgt insbesondere durch drei Steuersignale des Bedieners. Mit einem ersten Steuersignal gibt der Bediener vorzugsweise die Sollposition vor. Dadurch wird die Höhe der Greiferschaukeln bzw. des Greiferkorpus mit diesem Steuersignal vorgegeben, welche für den Bediener vorteilhafter als die Vorgabe der Höhe des Greiferschlittens 27 ist. Ein zweites Steuersignal gibt bevorzugt das Greifen direkt über eine entsprechende Koordinate vor. Mit einem dritten Steuersignal gibt der Bediener insbesondere den Sollwinkel für die Greiferrotation vor. Die drei Trajektoriengeneratoren (TG) unterscheiden sich vorzugsweise nur in ihren Beschränkungen und liefern die dreifach stetigen Solltrajektorien.

[0072] Die Solltrajektorien müssen in ihren Ableitungen beschränkt werden, damit einerseits die Stellgrößenbeschränkungen der Motoren eingehalten werden und sich andererseits der geschlossene Greifer 20 bei Drehbewegungen nicht unbeabsichtigt öffnet. Dafür werden die Bedingungen für das Umschalten der Modellstruktur anhand der Seilkräfte im stationären Fall betrachtet. Im stationären Fall kompensieren die Seilkräfte die Potentialkräfte. Damit liegen die möglichen Kräfteverteilungen der Seile auf der Gerade zwischen zwei Extrempunkten. In einem ersten Extrempunkt hängt das ganze Gewicht des Greifers 20 am Schließseil 14 und dieser befindet sich daher im geschlossenen Anschlag mit maximalem Torsionsmoment. Umgekehrt hängt in einem zweiten Extrempunkt das ganze Gewicht des Greifers 20 am Hubseilseil 13 und dieser befindet sich daher im geöffneten Anschlag. In einem zwischen den beiden genannten Extrempunkt auf der genannten Geraden liegenden Zwischenpunkt verlässt der Greifer 20 den Anschlag und es findet ein Schalten von den Ersatzmodellen auf das vollständige Modell statt. Durch eine Bestimmung der kritischen Seilkraft und damit der Lage des Zwischenpunkts kann eine untere Schranke der Schließseilkraft angegeben werden, welche im Betrieb des geschlossenen Greifers 20 nicht unterschritten werden darf.

[0073] Ferner können die Beschränkungen der Seil-

kräfte auf Beschränkungen der Drehbeschleunigung umgerechnet werden. Damit kann durch eine Fallunterscheidung der beiden genannten Extrempunkte eine minimale (negative) Drehbeschleunigung sowie eine maximale (positive) Drehbeschleunigung für die Trajektorienplanung des geschlossenen Greifers bestimmt werden. Die Umrechnung hängt aufgrund der Torsionsmomente und des Rückstellmoments vom aktuellen Drehwinkel ab und müsste abhängig vom geplanten Sollverlauf bestimmt werden. Für die Implementierung wird vorzugsweise näherungsweise der mittlere Drehwinkel zwischen Start- und Endpunkt verwendet.

[0074] Zusammengefasst bildet das in diesem Ausführungsbeispiel gezeigte System ein Assistenzsystem, welches die Bedienbarkeit des mechanischen Schlitzwandgreifers 20 für den Baggerfahrer vereinfacht. Das Assistenzsystem unterstützt den Baggerfahrer bei der Bedienung des Seilbaggers 10, in dem es, basierend auf einer modellbasierten Regelung, die beiden Seilwinden 11, 12 je nach Arbeitsschritt steuert. Durch einen Trajektoriengenerator 32 werden dabei physikalische Beschränkungen berücksichtigt und die jeweiligen Arbeitsschritte (Heben / Senken, Drehen, Öffnen / Schließen) realisiert. Die nicht messbaren Zustandsgrößen werden über einen Beobachter (virtuellen Sensor) 50 bestimmt.

Bezugszeichenliste:

[0075]

10	Arbeitsgerät (Seilbagger)	
11	Hubseilwinde	
12	Schließseilwinde	
13	Hubseil	
14	Schließseil	
15	Aktuator / Motor	
16	Aktuator / Motor	
18	Oberwagen	
19	Ausleger	
20	Schlitzwandgreifer 22 Greiferschaukel	
24	Seilzugsystem	
26	Korpus	
27	Greiferschlitten	
30	Eingabemittel	
32	Trajektoriengenerator	
34	PI-Regler	
36	PI-Regler	
40	Überlagerter Regelkreis	
42	Unterlagerter Regelkreis	
50	Schätzmittel (erweitertes Kalman-Filter)	

Patentansprüche

1. Arbeitsgerät (10), insbesondere Seilbagger, umfassend einen mechanischen Schlitzwandgreifer (20) mit zwei Greiferschaukeln (22), welcher über ein Hubseil (13) und ein Schließseil (14) am Arbeitsgerät

(10) aufgehängt ist, eine Hubseilwinde (11), auf der das Hubseil (13) zum insbesondere im Wesentlichen vertikalen Verstellen des Schlitzwandgreifers (20) auf- und abwickelbar gelagert ist, eine Schließseilwinde (12), auf der das Schließseil (14) zum Betätigen der Greiferschaukeln (22) auf- und abwickelbar gelagert ist, eine Messeinrichtung mit mindestens einem Sensor zur Erfassung einer aktuellen Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung, eine mit der Messeinrichtung verbundene Steuereinheit, über welche die Hub- und Schließseilwinden (11, 12) betätigbar sind, sowie ein mit der Steuereinheit verbundenes Eingabemittel (30) zur Steuerung des Schlitzwandgreifers (20),

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinheit eingerichtet ist, zur Durchführung eines den Schlitzwandgreifer (20) involvierenden Arbeitsschritts in Abhängigkeit von Messdaten der Messeinrichtung und von Soll-Vorgaben des Eingabemittels (30) die Hubseilwinde (11) und/oder die Schließseilwinde (12) über eine Kaskadenregelung zu regeln.

2. Arbeitsgerät (10) nach Anspruch 1, wobei die Kaskadenregelung einen unterlagerten Regelkreis (42) zur Regelung eines Drehwinkels, einer Drehwinkelgeschwindigkeit und/oder einer Drehwinkelbeschleunigung der Hub- und/oder der Schließseilwinde sowie einen überlagerten Regelkreis (40) zur Regelung einer Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Schlitzwandgreifers (20) umfasst.
3. Arbeitsgerät (10) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei für die Kaskadenregelung als Stellglieder nur Antriebe (15, 16) der Hub- und Schließseilwinden (11, 12) verwendet werden.
4. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit eingerichtet ist, eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers (20) über mehrere Teilregelungen anhand von jeweils nur zwei Freiheitsgraden des Schlitzwandgreifers (20) durchzuführen, wobei vorzugsweise eine Teilregelung eine Position der Greiferschaukeln (22) und eine Position, insbesondere Vertikalposition, des Schlitzwandgreifers (20) und/oder eine Teilregelung eine Orientierung, insbesondere Drehwinkel, und eine Position, insbesondere Vertikalposition, des Schlitzwandgreifers (20) betrifft.
5. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit eingerichtet ist, über die Kaskadenregelung eine Position des Schlitzwandgreifers (20) zu regeln, wobei die Hub- und/oder Schließseilwinden (11, 12) über ein Vorsteuermittel vorsteuerbar sind, welches eingerichtet ist, anhand von Soll-Vorgaben des Eingabemittels (30) und eines mathematischen Modells eine Posi-

tion des Schlitzwandgreifers (20) vorzugeben und/oder zu verändern, wobei das Vorsteueremittel vorzugsweise einen Trajektoriengenerator (32) und/oder -filter darstellt oder umfasst.

6. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für die Kaskadenregelung mittels der Messeinrichtung lediglich Drehwinkel der Hub- und Schließseilwinden (11, 12) sowie eine Drehwinkelgeschwindigkeit und/oder Orientierung des Schlitzwandgreifers (20) gemessen werden.

7. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest ein Regelkreis (40, 42) der Kaskadenregelung einen PI-Regler (34, 36) umfasst.

8. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend ein mit der Messeinrichtung verbundenes Schätzmittel (50), welches eingerichtet ist, anhand von Messdaten der Messeinrichtung eine momentane Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Schlitzwandgreifers (20) zu ermitteln, wobei das Schätzmittel (50) vorzugsweise ein Kalman-Filter, insbesondere ein erweitertes Kalman-Filter mit Zustandsbeschränkung, umfasst.

9. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schlitzwandgreifer (20) nicht an einem Mäkler geführt, sondern über die Hub- und Schließseile (13, 14) an einem Ausleger (19) des Arbeitsgeräts (10) aufgehängt, insbesondere frei aufgehängt, ist.

10. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Heben, Senken, Öffnen, Schließen und/oder Drehen des Schlitzwandgreifers (20) nur über eine Betätigung von Hubseilwinde (11), Schließseilwinde (12) oder beiden erfolgt.

11. Arbeitsgerät (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Hubseil (13) und das Schließseil (14) jeweils als nicht-verdrehungsfreie Seile, insbesondere Litzenseile aus Stahl, ausgebildet sind, welche vorzugsweise entgegengesetzte Schlagrichtungen aufweisen.

12. Verfahren zum Durchführen eines Arbeitsschritts mittels eines Arbeitsgeräts (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend die Schritte:

- Erzeugung von mindestens einer Soll-Vorgabe zur Durchführung des Arbeitsschritts,
- Erfassung mindestens einer aktuellen Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung der Hubseilwinde (11) und/oder der Schließseilwinde (12),

- Regelung und vorzugsweise Steuerung der Hubseilwinde (11) und/oder der Schließseilwinde (12) durch die Steuereinheit anhand von Messdaten und der mindestens einen Soll-Vorgabe derart, dass sich der Schlitzwandgreifer (20) entsprechend der mindestens einen Soll-Vorgabe bewegt.

13. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei im Rahmen einer unterlagerten Regelung ein Drehwinkel, eine Drehwinkelgeschwindigkeit und/oder eine Drehwinkelbeschleunigung der Hubseilwinde (11) und/oder der Schließseilwinde (12) und im Rahmen einer überlagerten Regelung eine Position, Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung des Schlitzwandgreifers (20) geregelt wird, wobei die Hubseilwinde (11) und/oder die Schließseilwinde (12) vorzugsweise über eine modellbasierte Vorsteuerung gesteuert wird.

14. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers (20) auf der Grundlage von lediglich zwei Freiheitsgraden erfolgt, welche sich vorzugsweise für mindestens zwei unterschiedliche den Schlitzwandgreifer (20) involvierende Arbeitsschritte voneinander unterscheiden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei eine momentane Position des Schlitzwandgreifers (20) durch ein Schätzmittel (50) aus Messdaten ermittelt und der Steuereinheit für eine Positionsregelung des Schlitzwandgreifers (20) bereitgestellt wird.

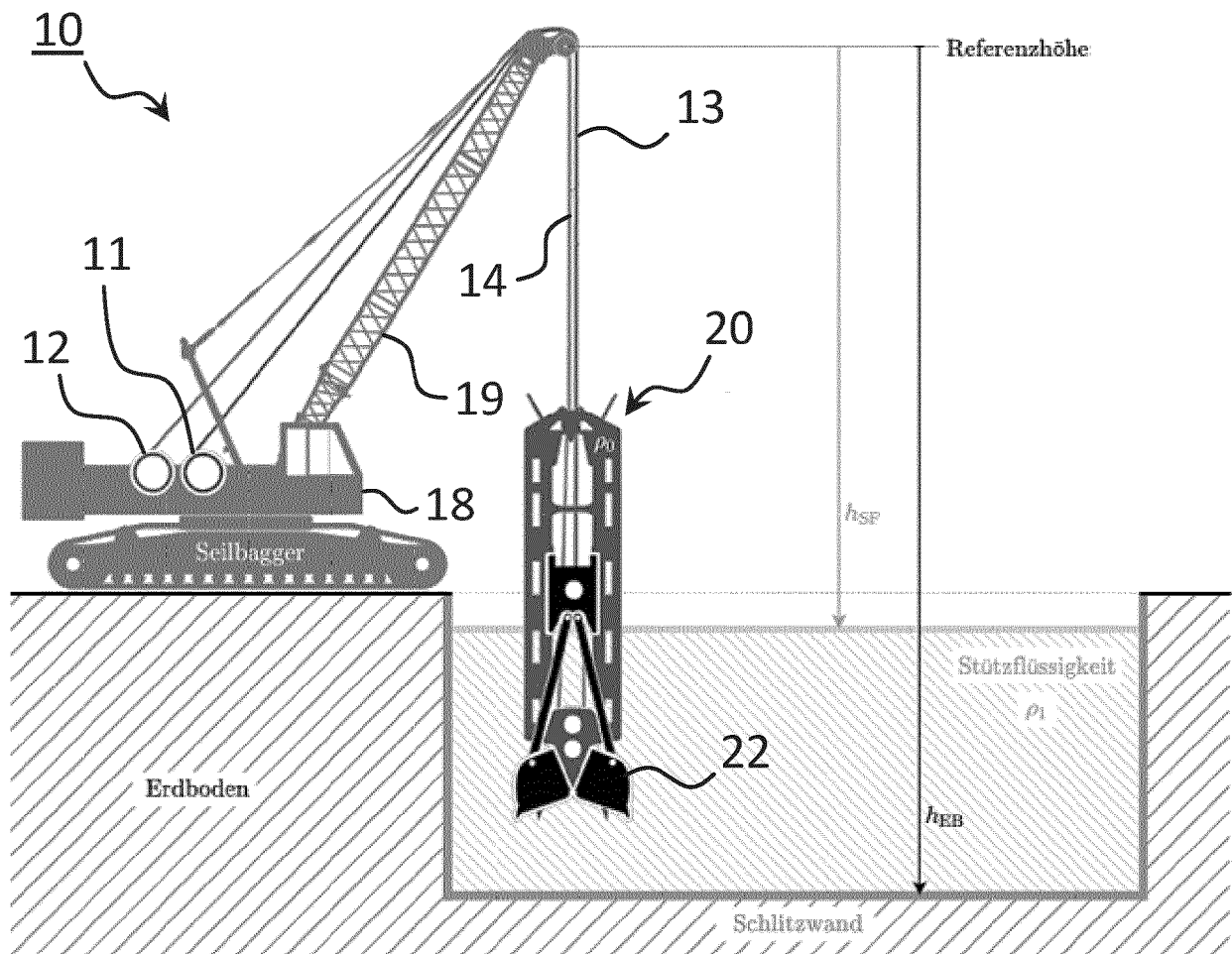


Fig. 1

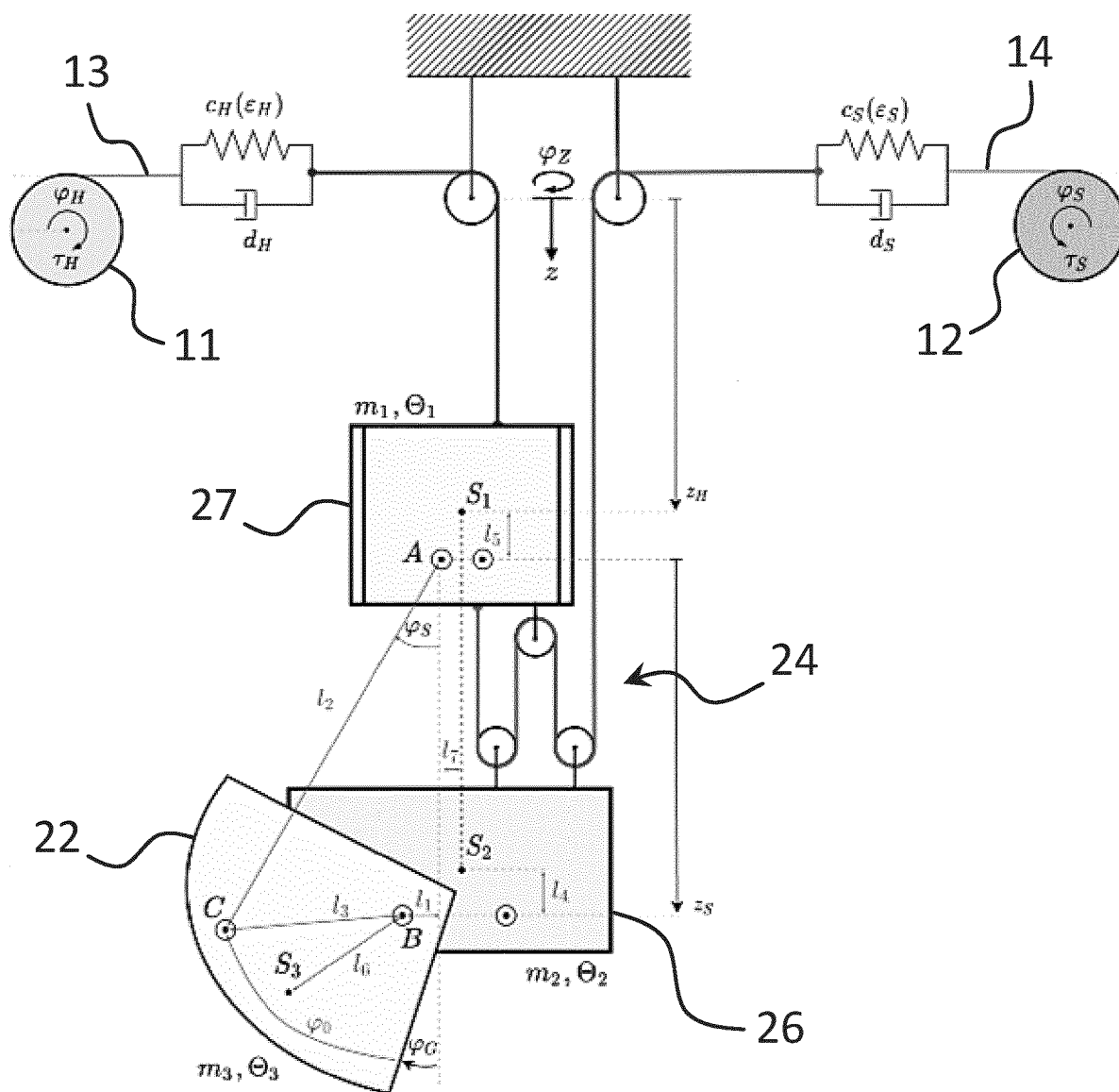


Fig. 2

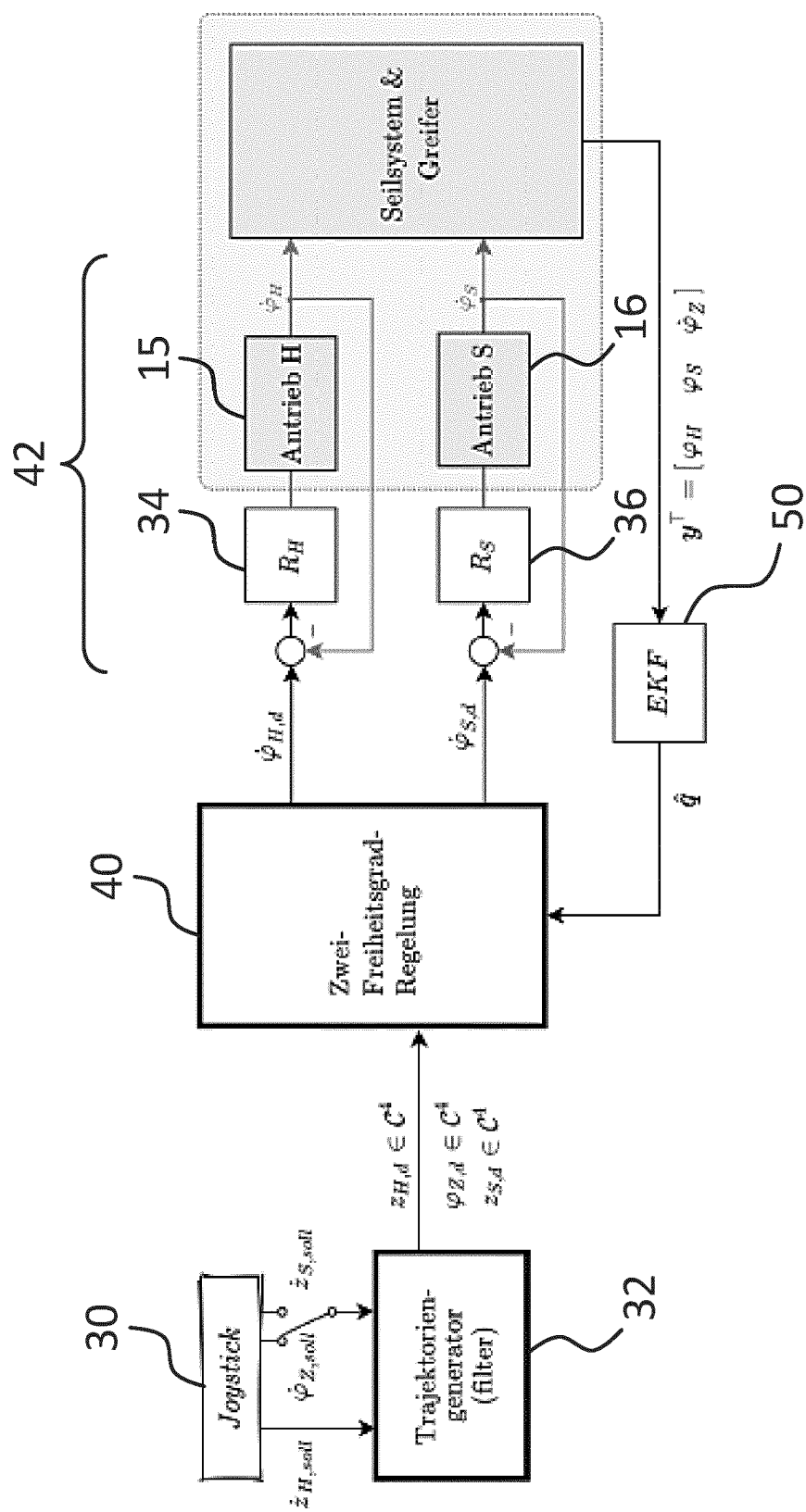


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 19 5077

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	DE 198 06 047 A1 (PORR TECHNOBAU AG [AT]) 24. September 1998 (1998-09-24) * Spalte 3, Zeile 37 - Zeile 39; Abbildungen 1-4c *	1-15	INV. E02F3/20 E02D17/13 E02F3/47 E02F9/20 E02F9/26
Y	JP H07 26414 B2 (KOBE STEEL LTD) 22. März 1995 (1995-03-22) * Abbildungen 1,2 *	1-15	
Y	EP 3 725 955 A1 (BAUER MASCHINEN GMBH [DE]) 21. Oktober 2020 (2020-10-21) * Absatz [0010] *	2, 4, 6, 13, 14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02F E02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 5. Februar 2024	Prüfer Bultot, Coralie
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	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.****EP 23 19 5077**

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

05-02-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	DE 19806047	A1	24-09-1998	AT	408919 B	25-04-2002
				DE	19806047 A1	24-09-1998
15	JP H0726414	B2	22-03-1995	JP	H0726414 B2	22-03-1995
				JP	H05321287 A	07-12-1993
	EP 3725955	A1	21-10-2020	CN	111827384 A	27-10-2020
20				EP	3725955 A1	21-10-2020
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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