



(11)

EP 4 130 394 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.02.2023 Patentblatt 2023/06

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E02F 3/43 ^(1985.01) **E02F 9/20** ^(1968.09)
E02F 9/26 ^(1968.09)

(21) Anmeldenummer: **22185087.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E02F 9/265; E02F 3/437; E02F 9/2029

(22) Anmeldetag: **15.07.2022**

(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:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **RENNER, Anton**
70563 Stuttgart (DE)
• **WIND, Hannes**
70563 Stuttgart (DE)
• **SAWODNY, Prof. Dr. Oliver**
70563 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **27.07.2021 DE 102021119455**

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

(71) Anmelder: **Liebherr-France SAS**
68005 Colmar Cedex (FR)

(54) **VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG UND/ODER DURCHFÜHRUNG EINER BEWEGUNG EINES ARBEITSGERÄTS SOWIE ARBEITSGERÄT UND COMPUTERPROGRAMMPRODUKT**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung und/oder Durchführung einer Bewegung eines Arbeitsgeräts, insbesondere eines Baggers, wobei das Arbeitsgerät eine Bewegungseinrichtung mit einem Werkzeug zum Aufnehmen von Material, welche mindestens zwei Komponenten umfasst, die jeweils über mindestens einen Aktuator bewegbar sind, sowie eine Steuerung, mittels welcher die Aktuatoren der Bewegungseinrichtung steuerbar und/oder regelbar sind, umfasst. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte: (i) Erfassen von Zustandsinformationen betreffend wenigstens eine aktuelle Position und/oder Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung von mindestens zwei Komponenten der Bewegungseinrichtung, (ii) Berechnen von

Drehmomenten, welche aufgrund einer aktuellen Konfiguration des Arbeitsgeräts an Komponenten angreifen, wobei hierfür die genannten Zustandsinformationen sowie Bauteilinformationen der Komponenten berücksichtigt werden, (iii) Erfassen von an Komponenten tatsächlich angreifenden Drehmomenten, (iv) Vergleichen der berechneten und der erfassten Drehmomente sowie Ermitteln eines an einem definierten Angriffspunkt des Arbeitsgeräts tatsächlich angreifenden Kraftvektors anhand des genannten Vergleichs, und (v) Ausführen einer Aktion in Abhängigkeit des berechneten Kraftvektors. Die Erfindung betrifft ferner ein Arbeitsgerät und ein Computerprogrammprodukt zum Ausführen des Verfahrens.

EP 4 130 394 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung und/oder Durchführung einer Bewegung eines Arbeitsgeräts nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, ein Arbeitsgerät, welches zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt ist, sowie ein Computerprogrammprodukt

[0002] Bei der Durchführung von Erdaushubarbeiten bzw. Grabprozessen mithilfe von Baggern entstehen Kräfte, die am Werkzeug (z.B. Baggerlöffel) angreifen. Diese Kräfte muss der Bagger überwinden, um den Grabprozess fortführen zu können. Wird zu tief gegraben oder befindet sich ein Hindernis auf der Grabtrajektorie, können ggf. die auftretenden Kräfte nicht mehr überwunden werden. Das Gleiche gilt bei anderen Erdaushubgeräten oder bei Materialumschlaggeräten, welche ein Werkzeug zum Aufnehmen bzw. Greifen von Material aufweisen und ebenfalls auf Hindernisse stoßen können. Die zugrundeliegende Problematik wird im Folgenden anhand von Grabarbeiten durchführenden Baggern beschrieben, wobei die folgenden Ausführungen analog für andere Erdaushub- oder Materialumschlaggeräte gelten.

[0003] Traditionell erfolgt die Steuerung eines Baggers manuell und der Bediener muss selbstständig den Zustand der Maschine und des Grabprozesses beurteilen. Im manuellen Betrieb des Baggers kann dem Bediener ein Feedback bezüglich der während des Grabprozesses wirkenden Kräfte gegeben werden.

[0004] Seit einigen Jahren erfolgt zunehmend eine Automatisierung des Baggerbetriebs, beispielsweise über Assistenzfunktionen wie die Tool-Center-Point-Steuerung, die dem Fahrer assistieren, jedoch nicht den Prozess vollständig automatisieren. Für einen autonomen oder teilautonomen Betrieb des Baggers ist es notwendig, die geplante Grabtrajektorie adaptiv anhand der wirkenden Kräfte und der vom Bagger aufbringbaren Kräfte anzupassen, um so einen reibungslosen Betrieb zu garantieren. Für einen automatisierten Betrieb ist daher der Einbezug der beim Grabprozess auftretenden (Grab-)Kräfte nötig, um auf die jeweiligen Umwelteinflüsse reagieren und Abweichungen des Bewegungsablaufs oder gar Schäden vermeiden zu können.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Automatisierung derartiger Arbeitsvorgänge von Erdaushub- oder Materialumschlaggeräten zu ermöglichen bzw. zu verbessern.

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Arbeitsgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 17 sowie ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Demnach ist gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Überwachung und/oder Durchführung einer Bewegung eines Arbeitsgeräts, vorzugsweise eines Materialumschlag- oder Erdbewegungsgeräts und insbesondere eines Baggers, vorgesehen, wobei das Arbeitsgerät eine Bewegungseinrichtung mit einem Werkzeug zum Aufnehmen von Material besitzt, welche mindestens zwei Komponenten umfasst, die jeweils über mindestens einen Aktuator bewegbar sind. Ferner umfasst das Arbeitsgerät eine Steuerung, mittels welcher die Aktuatoren der Bewegungseinrichtung steuerbar und/oder regelbar sind.

[0008] Bei der Bewegungseinrichtung kann es sich um einen Ausleger, insbesondere einen Baggerausleger handeln. Bei dem Werkzeug kann es sich beispielsweise um einen Baggerlöffel oder Schalengreifer handeln. Das Werkzeug kann dabei als eine der genannten mindestens zwei Komponenten der Bewegungseinrichtung angesehen werden, was allerdings nicht zwingend der Fall sein muss. Selbstverständlich können mehr als zwei Komponenten mit jeweils zugeordneten Aktuatoren vorgesehen sein, von denen eine der Komponenten das Werkzeug darstellen kann. Die anderen Komponenten können beispielsweise ein Ausleger und ein Stiel sein. Bei den Aktuatoren kann es sich um Hydraulikzylinder und/oder Motoren (beispielsweise ein Drehwerksmotor) handeln. Ein Oberwagen bzw. ein Drehwerk des Arbeitsgeräts kann ebenfalls zu den Komponenten der Bewegungseinrichtung zählen.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst folgende Schritte:

- 1) Erfassen von Zustandsinformationen betreffend wenigstens eine aktuelle Position und/oder eine aktuelle Geschwindigkeit und/oder eine aktuelle Beschleunigung von mindestens zwei Komponenten der Bewegungseinrichtung,
- 2) Berechnen von Drehmomenten, welche aufgrund einer aktuellen Konfiguration des Arbeitsgeräts an Komponenten angreifen (d.h. von modellbasierten bzw. theoretischen Drehmomenten), wobei hierfür die genannten Zustandsinformationen sowie Bauteilinformationen der Komponenten berücksichtigt werden,
- 3) Erfassen von an Komponenten tatsächlich angreifenden Drehmomenten,
- 4) Vergleichen der in Schritt 2) berechneten Drehmomente und der in Schritt 3) erfassten Drehmomente sowie Ermitteln eines an einem definierten Angriffspunkt des Arbeitsgeräts tatsächlich angreifenden Kraftvektors anhand des genannten Vergleichs, und
- 5) Ausführen einer Aktion in Abhängigkeit des in Schritt 4) berechneten Kraftvektors.

[0010] Diese Schritte müssen nicht zwangsläufig alle hintereinander oder in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden.

[0011] Wenn vorliegend von einer Erfassung eines Drehmoments die Rede ist, wird davon auch der Fall umfasst, dass die eigentliche Messung eine andere Größe (z.B. einen Druck oder eine Kraft) betrifft und eine geeignete Umrechnung in ein Drehmoment erfolgt (z.B. kann eine gemessene Kraft über das Kreuzprodukt mit einem Positionsvektor in ein Drehmoment umgerechnet werden, wobei der Positionsvektor als Bauteilinformation oder als eine daraus abgeleitete Information bekannt sein kann).

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren berücksichtigt die tatsächlich während der Durchführung eines Arbeitsvorgangs auf die Bewegungseinrichtung wirkenden Kräfte in Form eines Kraftvektors, welcher auf einen definierten Angriffspunkt bezogen ist. Letzterer kann idealerweise festlegbar sein und befindet sich vorzugsweise am Werkzeug oder einem Endeffektor. Im Falle eines Baggers, welcher einen Grabvorgang durchführt, handelt es sich bei besagtem berechnetem Kraftvektor insbesondere um eine momentan tatsächlich angreifende Grabkraft.

[0013] Die Berechnung der theoretischen Drehmomente in Schritt 2) und die Erfassung der tatsächlich wirkenden Drehmomente in Schritt 3) beziehen sich insbesondere auf dieselben Komponenten, sodass ein direkter Vergleich stattfinden und daraus auf einen tatsächlich angreifenden Kraftvektor geschlossen werden kann. Um letzteren möglichst genau zu charakterisieren, müssen die Drehmomente von mindestens zwei unterschiedlichen Komponenten miteinander verglichen werden, sodass wenigstens zwei nicht parallel zueinander stehende Komponenten des Kraftvektors ermittelt werden können. Je mehr Komponenten der Bewegungseinrichtung in den Vergleich einbezogen werden, desto genauer kann der Kraftvektor ermittelt werden.

[0014] Allerdings könnte m Prinzip selbst bei parallel zueinander ausgerichteten Komponenten (bzw. den zugehörigen Positionsvektoren) eine ausreichende Abschätzung der tatsächlich angreifenden Kraft funktionieren, da die nicht beobachtete Kraftkomponente durch die Struktur des Arbeitsgeräts aufgenommen würde und die Aktuatoren daher nur den beobachtbaren (bzw. durch den genannten Vergleich ermittelbaren) Anteil des Kraftvektors überwinden müssten.

[0015] Der Begriff "Vergleich" ist breit auszulegen. Der genannte Vergleich kann daher jegliche Methode umfassen, die es ermöglicht, aus den berechneten Drehmomenten und den ermittelten Drehmomenten die tatsächliche angreifende Kraft zu ermitteln bzw. abzuschätzen. So kann der Vergleich eine Bestimmung der tatsächlich angreifenden Kraft über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate umfassen oder ein anderes Schätzverfahren, insbesondere rekursives Schätzverfahren, zum Einsatz kommen.

[0016] Die Berücksichtigung der Grabkraft ermöglicht eine Automatisierung des Grabvorgangs, beispielsweise indem eine geplante Trajektorie für eine Bewegung im Rahmen des Grabvorgangs (d.h. eine Grabtrajektorie) entsprechend an die Grabkraft angepasst wird und/oder bei Überschreitung eines Grenzwerts ein Hinweis an den Bediener des Arbeitsgeräts ausgegeben wird. Eine Anpassung kann beispielsweise in Form einer Neuplanung der Grabtrajektorie oder einer Beendigung des Grabvorgangs erfolgen.

[0017] Die Anpassung der Grabtrajektorie und die Ausgabe eines Hinweises sind lediglich Beispiele für die genannte Aktion, welche in Abhängigkeit des berechneten Kraftvektors ausgeführt wird. Hier sind selbstverständlich andere Aktionen denkbar wie z.B. eine Anpassung von Maschinenparametern. Darüber hinaus kann beispielsweise eine Anpassung der Grabtrajektorie von weiteren Bedingungen abhängen wie z.B. der Überschreitung eines zeitlichen Schwellenwerts und/oder dem Vorliegen eines minimalen Trajektorienfolgefehlers.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren kann aber nicht nur bei Grabprozessen, sondern generell bei allen Arbeitsabläufen zum Einsatz kommen, bei denen externe Kräfte auf das Werkzeug (bzw. die Bewegungseinrichtung) des Arbeitsgeräts wirken, welche eine Berücksichtigung wie beispielsweise eine Anpassung einer vorgegebenen Trajektorie im Rahmen automatischer Bewegungsabläufe erfordern können. Ein solcher Arbeitsablauf kann z.B. das Aufnehmen von Material mit dem Greifwerkzeug eines Materialumschlaggeräts sein. Hier könnte beispielsweise das Verkleben von zu bewegendem Material zum Auftreten erhöhter Kräfte führen, welche für einen automatischen Umschlagprozess berücksichtigt werden müssen. Als externe Kräfte werden vorliegend insbesondere auch sämtliche Kräfte verstanden, welche aufgrund des Arbeitsablaufs des Arbeitsgeräts, beispielsweise beim Graben, beim Heben bzw. Bewegen von Material, beim Aufnehmen von Material etc. auftreten können.

[0019] In einer möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Bauteilinformationen eine Masse, ein Trägheitsmoment und/oder einen Schwerpunkt der jeweiligen Komponenten betreffen. Idealerweise werden geometrische Informationen bzw. Abmessungen der Komponenten als Bauteilinformationen zur Verfügung gestellt. Hier wären auch datengetriebene Modelle denkbar, die nur die Zustandsinformationen und Drehmomentmessungen benötigen. Die Bauteilinformationen werden benötigt, um modellbasierte Drehmomente zu ermitteln, welche - ohne Berücksichtigung externer bzw. durch den Arbeitsprozess auftretender Kräfte - allein aufgrund der Konfiguration (bzw. des Rüstzustands) und der aktuellen Stellung des Arbeitsgeräts bzw. der Bewegungseinrichtung auf die einzelnen Komponenten wirken.

[0020] Die Bauteilinformationen können auf einem Speicher des Arbeitsgeräts abgelegt sein, welcher beispielsweise Teil der Steuerung oder ein externer, mit der Steuerung verbundener Baustein sein kann. Die Bauteilinformationen können ebenfalls in einer mit der Steuerung insbesondere drahtlos in kommunikativer Verbindung stehenden externen Rechneinheit wie z.B. einer Cloud gespeichert und durch die Steuerung abrufbar sein. Alternativ oder zusätzlich können die Bauteilinformationen durch ein Modellierungsmittel der Steuerung anhand eines statischen oder dynamischen Modells des Arbeitsgeräts bzw. der Bewegungseinrichtung generiert werden.

[0021] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der definierte Angriffspunkt am Werkzeug, insbesondere an einem Endeffektor (d.h. am Tool Center Point bzw. TCP) der Bewegungseinrichtung, liegt. Der Angriffspunkt kann festlegbar bzw. variierbar sein, z.B. durch den Bediener des Arbeitsgeräts.

[0022] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die berechneten (modellbasierten bzw. theoretischen) und die erfassten (tatsächlichen) Drehmomente jeweils auf dieselben Referenzpunkte der Bewegungseinrichtung bezogen sind. Dadurch ist es möglich, durch einen Vergleich der lediglich aufgrund der Konfiguration und Stellung der Bewegungseinrichtung vorhergesagten Drehmomente und der tatsächlich gemessenen Drehmomente auf eine zusätzlich wirkende, äußere Kraft wie z.B. eine Grabkraft zu schließen. Bei den Referenzpunkten handelt es sich vorzugsweise um Gelenke bzw. Drehgelenke der Bewegungseinrichtung, über die die Komponenten miteinander (bzw. mit dem Werkzeug, wobei letzteres ebenfalls als Komponente der Bewegungseinrichtung angesehen werden kann) drehbar verbunden sind.

[0023] Die Gelenke der eine kinematische Kette bildenden Komponenten der Bewegungseinrichtung definieren insbesondere Positionsvektoren, welche zur Charakterisierung der aktuellen Stellungen bzw. Bewegungen der Komponenten und zur Berechnung der Drehmomente herangezogen werden. So kann beispielsweise ein an einen Oberwagen des Arbeitsgeräts über ein erstes Gelenk angelenkter Ausleger, welcher über ein zweites Gelenk schwenkbar mit einem Stiel verbunden ist, durch einen vom ersten zum zweiten Gelenk verlaufenden Positionsvektor repräsentiert sein. Ein auf den Ausleger am Ort des ersten Gelenks wirkendes Drehmoment ist dann das Kreuzprodukt von besagtem Positionsvektor und einer auf den Ausleger am Ort des zweiten Gelenks wirkenden Kraft. Dasselbe gilt für die übrigen gelenkig miteinander verbundenen Komponenten wie Stiel, Werkzeug etc.

[0024] Entsprechend dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist einer weiteren möglichen Ausführungsform vorgesehen, dass die Referenzpunkte für die berechneten Drehmomente ausgehend von einem Gelenk einer Komponente an einem Oberwagen des Arbeitsgeräts Positionsvektoren definieren, welche bei der Erfassung der Drehmomente nicht parallel zueinander stehen. Das Drehmoment an einem Drehgelenk aufgrund der äußeren Kraft (z.B. Grabkraft) ist das Kreuzprodukt aus Positionsvektor und besagter Kraft. Somit hat nur der zum Positionsvektor orthogonale Anteil des Kraftvektors einen Einfluss auf das Drehmoment. Es werden daher mindesten zwei Drehmomentmessungen zur Schätzung des Kraftvektors in der Ebene benötigt, deren Positionsvektoren nicht parallel zueinander verlaufen.

[0025] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Zustandsinformationen mittels an der Bewegungseinrichtung angeordneter Sensoren erfasst werden. Hier kann beispielsweise eine Kombination aus Positions- und/oder Geschwindigkeits- und/oder Beschleunigungssensoren vorgesehen sein.

[0026] Das Arbeitsgerät kann generell eine Reihe von Sensoren zur Erfassung unterschiedlicher Größen umfassen.

[0027] So kann das Arbeitsgerät mindestens einen Drucksensor zur Messung eines an einem Aktuator anliegenden Hydraulikdrucks aufweisen. Die Bewegungseinrichtung kann einen oder mehrere Hydraulikzylinder als Aktuatoren aufweisen, um die einzelnen Komponenten zu bewegen. Vorzugsweise ist pro Hydraulikzylinder mindestens ein Drucksensor vorgesehen, welcher den jeweils vorherrschenden bzw. anliegenden Hydraulikdruck misst. Idealerweise werden pro Hydraulikzylinder zwei Drucksensoren verwendet, wobei sowohl die Stangen- als auch die Bodenseite jedes Hydraulikzylinders mit je einem Drucksensor ausgestattet sind. Über den so ermittelten Druck kann die auf den Aktuator wirkende Kraft berechnet werden, welche schließlich über die bekannte räumliche Position des Aktuators bzw. Hydraulikzylinders als Vektor definiert werden kann. Die aus den geometrischen Aktuatorparametern und den erfassten Drücken berechneten Kraftvektoren der Aktuatoren werden vorliegend vereinfachend auch als Druckvektoren bezeichnet.

[0028] Aus dem Druckvektor eines Aktuators lässt sich unter Berücksichtigung der entsprechenden Bauteilinformationen der durch den Aktuator bewegbaren Komponente und deren aktueller Position bzw. Stellung eine auf eines der Gelenke der Komponente wirkende Kraft und somit das entsprechende Drehmoment berechnen. Die Bauteilinformationen der Bewegungseinrichtung umfassen vorzugsweise auch Informationen zu den jeweiligen Aktuatoren wie z.B. die Anlenkpunkte von Zylinder und Stange an den jeweiligen Komponenten, die Kolbenflächen, Reibungswerte, die Massen der Aktuatoren etc., um aus den Druckmessungen die entsprechenden Kräfte ermitteln zu können.

[0029] Alternativ oder zusätzlich kann das Arbeitsgerät mindestens einen Drehmomentgeber zur Messung eines angreifenden Drehmoments umfassen. Es ist denkbar, dass pro Aktuator mindestens ein Drehmomentgeber vorgesehen ist, um die auf die jeweiligen Komponenten wirkenden Drehmomente zu erfassen.

[0030] Alternativ oder zusätzlich kann das Arbeitsgerät mindestens einen Winkelsensor zur Messung eines aktuellen Winkels einer Komponente umfassen. Bei dem gemessenen Winkel kann es sich um den Winkel einer Komponente relativ zu einer anderen Komponente, zu einem Oberwagen des Arbeitsgeräts oder zum Werkzeug handeln. Der Winkelsensor ist idealerweise im Bereich eines Drehgelenks einer Komponente angeordnet. Vorzugsweise ist pro Drehgelenk ein Winkelsensor vorgesehen, um die Stellungen der einzelnen Komponenten der kinematischen Kette vollständig zu erfassen. Alternativ oder zusätzlich kann mindestens ein Sensor vorgesehen sein, welcher die Ausschublänge mindestens eines Hydraulikzylinders misst. Durch die festgelegte Geometrie der bewegbaren Komponente ergibt sich daraus eine entsprechende Winkelstellung.

[0031] Alternativ oder zusätzlich kann das Arbeitsgerät mindestens einen Positionssensor zur Messung einer aktuellen Position einer Komponente aufweisen. Bei der erfassten Position kann es sich um eine absolute Position handeln,

welche beispielsweise mittels eines an der entsprechenden Komponente angebrachten GPS-Moduls oder einer GNSS-Antenne (samt Receiver) gemessen wird. Ebenfalls kann ein GPS-Modul / eine GNSS-Antenne an einer anderen Stelle des Arbeitsgeräts wie z.B. an einem Oberwagen vorgesehen sein, beispielsweise um eine Position des Arbeitsgeräts zu erfassen. Eine Schätzung der Lage und Position des Arbeitsgeräts kann auch durch eine Kombination aus GNSS-Antennen und IMUs erfolgen (z.B. kann hierfür eine IMU an einem Oberwagen des Arbeitsgeräts verbaut sein). Dadurch kann es möglich sein, Geländeinformationen einfließen zu lassen, was z.B. für einen autonomen Betrieb des Arbeitsgeräts und/oder für einen Kippschutz sinnvoll sein kann. Beispielsweise könnten bei zu hohen auftretenden Grabkräften dadurch intelligente Trajektorien zur Fortführung eines autonomen Grabvorgangs generiert werden.

[0032] Alternativ oder zusätzlich kann das Arbeitsgerät mindestens einen Inertialsensor zur Messung einer aktuellen Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung einer Komponente aufweisen, beispielsweise einen Beschleunigungssensor und/oder einen Drehratensensor. Bei dem Inertialsensor kann es sich um eine inertielle Messeinheit ("inertial measurement unit" bzw. IMU) handeln. Vorzugsweise ist an mehreren Komponenten, insbesondere an jeder für die Erfassung der tatsächlich wirkenden Kraft herangezogenen Komponente der Bewegungseinrichtung, ein Inertialsensor bzw. eine IMU vorgesehen, bei einem Baggerausleger also insbesondere am Ausleger und am Stiel sowie ggf. am Werkzeug. Um die Lage des Arbeitsgeräts zu ermitteln, kann ebenfalls eine IMU auf einem drehbaren Oberwagen des Arbeitsgeräts verbaut sein.

[0033] Alternativ oder zusätzlich kann das Arbeitsgerät mindestens einen Sensor zur Erfassung eines aktuellen Füllstands und/oder Füllgewichts des Werkzeugs aufweisen. Damit ist es beispielsweise möglich, eine aktuelle Füllung eines Baggerlöffels zu detektieren. Es kann vorgesehen sein, dass bei Erreichen einer maximalen Füllmenge ein aktueller, automatischer Grabvorgang beendet wird, beispielsweise um den Löffel an einer bestimmten Abladeposition zu leeren. Alternativ könnte das Füllgewicht durch einen geeigneten Algorithmus bestimmt werden, welcher Informationen aus verschiedenen Quellen wie Positions- und Lageschätzung, Geländeinformationen, verfahrenre Trajektorie etc. verwendet.

[0034] Alternativ oder zusätzlich kann das Arbeitsgerät mindestens einen akustischen Sensor zur Erfassung eines Geräuschs des Arbeitsgeräts während des Betriebs aufweisen, dessen Signale vorzugsweise mittels eines Analysemoduls ausgewertet werden, um auf einen aktuellen Betriebszustand des Arbeitsgeräts wie z.B. das Erreichen einer Leistungsgrenze zu schließen. Zur Analyse der Sensorsignale kann ein maschinelles Lernverfahren bzw. künstliches neuronales Netz zum Einsatz kommen, um unterschiedliche Maschinenzustände zuverlässig anhand der aufgenommenen Geräusche zu identifizieren und ggf. entsprechende Aktionen auszuführen.

[0035] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der tatsächlich angreifende Kraftvektor mittels eines rekursiven Verfahrens ermittelt wird, beispielsweise einem "Recursive Least Squares"-Algorithmus oder mittels eines Beobachters wie einem Kalman Filter.

[0036] Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass der tatsächlich angreifende Kraftvektor mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert wird. Dadurch können Unsicherheiten in der Ermittlung der theoretischen Drehmomente zugrundeliegenden Modell berücksichtigt und somit eine maximale Belastungsgrenze der Bewegungseinrichtung sicher eingehalten werden. Der Gewichtungsfaktor kann von einem aktuellen Zustand der Bewegungseinrichtung oder des Arbeitsgeräts oder von dem ermittelten tatsächlich angreifenden Kraftvektor abhängen.

[0037] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die ausgeführte Aktion das Ausgeben einer Warnung oder eines Hinweises umfasst, insbesondere optisch und/oder akustisch. Dadurch kann beispielsweise der Bediener des Arbeitsgeräts darauf hingewiesen werden, dass eine maximale Kraft (z.B. Grabkraft) überschritten, eine maximale Füllung des Werkzeugs erreicht, ein Sicherheitsbereich bezüglich der Kippsicherheit des Arbeitsgeräts überschritten oder eine Trajektorie angepasst wurde. Ferner kann vorgesehen sein, dass eine Nachricht bzw. ein Signal an ein externes Gerät oder eine Cloud gesendet wird.

[0038] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuerung eingerichtet ist, die Aktuatoren derart automatisch anzusteuern, dass sich das Werkzeug entlang einer Trajektorie bewegt. Die Steuerung ist also für eine autonome oder teilautonome Steuerung des Arbeitsgeräts ausgelegt und kann Bewegungen entlang vorgegebener Trajektorien durchführen. Die Aktion in Abhängigkeit des berechneten Kraftvektors kann dabei eine Änderung der Trajektorie und/oder ein Eingreifen in die automatische Bewegung entlang der Trajektorie umfassen.

[0039] Bei der Trajektorie kann es sich um eine Grabtrajektorie handeln, d.h. eine vorgegebene Trajektorie, entlang derer sich das Werkzeug bei einem Grabprozess bewegt. Der Arbeitsvorgang kann in mehrere Arbeitsschritte bzw. Phasen unterteilt sein, wobei für jede der Phasen eine oder mehrere Trajektorien vorgegeben sein können.

[0040] Beispielsweise kann ein automatisch durchgeführter Grabprozess in drei Phasen unterteilt sein, wobei eine erste Phase das eigentliche Graben betrifft, bei welchem Material mit einem Baggerlöffel aufgenommen wird und die dabei auftretenden Grabkräfte mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens berücksichtigt werden, eine zweite Phase das Abladen des Materials beispielsweise auf einem LKW betrifft, und in einer dritten Phase die Bewegung des Baggerlöffels von der Abladestelle zur nächsten Grabposition erfolgt. Selbstverständlich ist eine Unterteilung in mehr oder weniger Phasen möglich mit einer oder mehreren Trajektorien pro Phase.

[0041] Das erfindungsgemäße Verfahren kann dabei nicht nur beim Graben selbst zur Anwendung kommen, sondern

auch in den anderen Phasen. So kann beispielsweise beim Abladen ebenfalls eine Kraft auf das Werkzeug bzw. die Bewegungseinrichtung wirken, welche bei entsprechender Berücksichtigung zu einer Adaption der Trajektorie führen kann.

[0042] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der ermittelte Kraftvektor mit mindestens einem Vergleichskraftvektor verglichen und auf Grundlage des genannten Vergleichs die Aktion ausgeführt wird, wobei der mindestens eine Vergleichskraftvektor vorzugsweise einer maximal möglichen Kraft (z.B. einer maximal möglichen Grabkraft) entspricht. Überschreitet beispielsweise der Betrag des ermittelten Kraftvektors den Betrag des Vergleichskraftvektors, kann eine Anpassung bzw. Neuberechnung einer Trajektorie oder gar eine Beendigung des aktuellen Arbeitsprozesses erfolgen. Ebenfalls ist die Ausgabe eines Hinweises denkbar.

[0043] Der Vergleichskraftvektor kann auf einem Speicher hinterlegt sein oder durch ein Modellierungsmittel während des Arbeitsprozesses anhand eines statischen oder dynamischen Modells unter Berücksichtigung einer aktuellen Stellung des Arbeitsgeräts bzw. der Bewegungseinrichtung berechnet werden.

[0044] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass mindestens ein anhand eines maximal möglichen Drucks an einem Aktuator berechneter Kraftvektor auf einen Referenzvektor projiziert wird, um den Vergleichskraftvektor zu erhalten. Für jeden Aktuator der Bewegungseinrichtung kann ein entsprechender Kraftvektor ermittelt und auf den Referenzvektor projiziert werden, sodass mehrere Vergleichskraftvektoren berechnet werden. Für jeden dieser Vergleichskraftvektoren kann ein Vergleich mit der tatsächlich angreifenden Kraft erfolgen und ggf. eine bestimmte Aktion durchgeführt werden.

[0045] Bei dem Referenzvektor kann es sich um den ermittelten tatsächlich angreifenden Kraftvektor, einen Geschwindigkeitsvektor, welcher eine von der Bewegungseinrichtung abgefahrte Trajektorie repräsentiert, oder einen anderweitig definierbaren oder definierten Vektor handeln. Entspricht der Referenzvektor nicht dem ermittelten tatsächlich angreifenden Kraftvektor, so wird Letzterer vorzugsweise ebenfalls auf den Referenzvektor projiziert, sodass die Projektionen der aus den Aktuatordrücken ermittelten Kraftvektoren und die Projektion des tatsächlich angreifenden Kraftvektors miteinander sinnvoll verglichen werden können.

[0046] Um die Kraftvektoren für den Vergleich mit der ermittelten tatsächlich angreifenden Kraft zu erhalten, kann es erforderlich sein, für die einzelnen Aktuatoren geltende Kraft- oder Druckvektoren in entsprechende Kraftvektoren umzurechnen, die auf bestimmte Referenzpunkte der durch die Aktuatoren bewegbaren Komponenten bezogen sind, beispielsweise auf Drehgelenke oder auf einen Referenzpunkt am Werkzeug oder Endeffektor. Da die Komponenten konstruktiv festgelegt sind, ist eine Umrechnung der Druck- oder Kraftvektoren in die Kraftvektoren an dem oder den Referenzpunkten mittels der zur Verfügung stehenden Bauteilinformationen möglich.

[0047] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Aktion ausgeführt wird, wenn der Betrag des ermittelten Kraftvektors den Betrag des Vergleichskraftvektors überschreitet und/oder ein Trajektorienfolgefehler einen vorzugsweise festlegbaren Grenzwert überschreitet. Diese Kriterien können also einzeln oder in Kombination dazu führen, dass eine Aktion wie beispielsweise eine Anpassung bzw. Neuberechnung der Trajektorie, die Ausgabe eines Hinweises oder die Beendigung des aktuellen Arbeitsvorgangs durchgeführt wird. Selbstverständlich können weitere Kriterien herangezogen werden. Diese können entweder festgelegt oder von einer aktuellen Stellung des Arbeitsgeräts und/oder Umgebungseinflüssen abhängig sein.

[0048] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Trajektorie mit einer Referenzgeschwindigkeit abgefahren wird, wobei Aktion eine Reduktion der Referenzgeschwindigkeit umfasst. Die Reduktion kann entweder auf eine niedrigere Referenzgeschwindigkeit erfolgen, oder aber auf eine Geschwindigkeit von Null, um den aktuellen Arbeitsvorgang zu beenden. Die Reduktion kann schrittweise erfolgen, d.h. zunächst wird die Referenzgeschwindigkeit auf einen niedrigeren Wert verringert und dann die in einem darauffolgenden Schritt erneut ermittelte tatsächlich angreifende Kraft wieder mit dem Vergleichskraftvektor verglichen. Bei erneuter Überschreitung kann entweder abermals eine Reduktion der Referenzgeschwindigkeit auf einen niedrigeren Wert erfolgen oder es kann der aktuelle Arbeitsvorgang direkt abgebrochen bzw. kontrolliert beendet werden.

[0049] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Aktion ein Beenden der automatischen Bewegung entlang der Trajektorie umfasst, wobei vorzugsweise eine bisher erreichte Position des Werkzeugs, insbesondere eine maximale Tiefe und/oder Abstand des Werkzeugs von einem Oberwagen des Arbeitsgeräts, erfasst und in der Steuerung (oder einem mit der Steuerung verbundenen Speicher) gespeichert wird. Diese Werte können bei der Planung des nächsten Arbeitsvorgangs verwendet werden. Mit anderen Worten wird bei einem Fortsetzen der Trajektorie diese vorzugsweise ausgehend von der vorgenannten gespeicherten Position geplant und/oder durchgeführt.

[0050] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass auf Grundlage des ermittelten tatsächlich angreifenden Kraftvektors und einer aktuellen Stellung des Arbeitsgeräts bzw. der Bewegungseinrichtung auf einen das Kippverhalten des Arbeitsgeräts repräsentierenden Parameter geschlossen wird, wobei vorzugsweise die genannte Aktion durchgeführt wird, wenn der Parameter einen Grenzwert überoder unterschreitet. Beispielsweise kann eine durch das erfindungsgemäße Verfahren ermittelte Grabkraft zur Überwachung des Kippverhaltens des Arbeitsgeräts verwendet werden. Beispielsweise kann bei einem Überschreiten eines Sicherheitsbereiches bezüglich der Kippsicherheit ein automatischer Arbeitsvorgang abgebrochen und das Arbeitsgerät in einen sicheren Zustand versetzt werden. Dies kann

beispielsweise auch das bloße Bewegen oder Absetzen von einer Last bzw. Material betreffen. Für die Analyse bzw. Überwachung des Kippverhaltens des Arbeitsgeräts wird vorteilhafterweise die Lage bzw. Stellung des Arbeitsgeräts bestimmt, beispielsweise über eine an einem Oberwagen des Arbeitsgeräts verbaute IMU.

[0051] In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass es sich bei der Bewegungseinrichtung um einen Baggerausleger handelt, wobei eine erste Komponente ein mit einem Oberwagen des Arbeitsgeräts gelenkig verbundener Ausleger und eine zweite Komponente ein gelenkig mit der ersten Komponente verbundener Stiel ist. Vorzugsweise ist eine dritte Komponente das Werkzeug selbst. Das Werkzeug kann dabei direkt oder über eine oder mehrere weitere Komponenten mit dem Stiel gelenkig verbunden sein. Die verschiedenen Komponenten des Baggerauslegers sind vorzugsweise über Hydraulikzylinder miteinander verbunden und gegeneinander verschwenkbar. Eine der Komponenten der Bewegungseinrichtung kann das Drehwerk des genannten Oberwagens sein. Dieses kann das erste Glied einer durch die Bewegungseinrichtung gebildeten kinematischen Kette sein. Alternativ kann der an den Oberwagen angelenkte Ausleger das erste Glied der kinematischen Kette darstellen.

[0052] Nicht alle beweglichen Komponenten des Baggerauslegers müssen zwangsläufig als Komponente der Bewegungseinrichtung im Sinne der vorliegenden Erfindung angesehen werden. So kann der Baggerausleger beispielsweise einen oder mehrere Umlenkhebel zur Bewegung eines Baggerlöffels aufweisen, an welche(n) ein Löffelzylinder angelenkt ist. Allerdings müssen für derartige Umlenkhebel nicht extra einzeln modellbasierte Drehmomente berechnet und tatsächlich angreifende Drehmomente erfasst werden. Die kinematische Kette eines solchen Baggerarms ist insbesondere über das Drehgelenk zwischen dem Baggerlöffel und dem Stiel bzw. der mit dem Baggerlöffel verbundenen Auslegerkomponente definiert.

[0053] Die Berechnungen und/oder Steuerbefehle können sich auf Aktuatorkoordinaten oder kartesische Koordinaten (z.B. TCP-Koordinaten oder Weltkoordinaten) beziehen. Die Wahl des genauen Koordinatensystems hat jedoch keinen Einfluss auf den erfindungsgemäßen Gegenstand. Die verschiedenen Koordinatensysteme lassen sich gegebenenfalls durch entsprechende Transformationen ohne weiteres ineinander umrechnen.

[0054] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Arbeitsgerät, vorzugsweise ein Materialumschlag- oder Erdbewegungsgerät und insbesondere einen Bagger, umfassend eine Bewegungseinrichtung mit einem Werkzeug zum Aufnehmen von Material, welche mindestens zwei jeweils über mindestens einen Aktuator bewegbare Komponenten umfasst, und eine Steuerung, mittels welcher die Aktuatoren steuerbar und/oder regelbar sind.

[0055] Das Arbeitsgerät ist dazu ausgelegt, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen, d.h. es weist entsprechende Mittel zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte auf. Das Arbeitsgerät kann gemäß einer oder mehrerer der oben dargelegten Ausführungsformen, welche im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens diskutiert wurden, ausgebildet sein. Dabei ergeben sich offensichtlich dieselben Vorteile und Eigenschaften wie für das erfindungsgemäße Verfahren, weshalb an dieser Stelle auf eine wiederholende Beschreibung verzichtet wird.

[0056] Hierbei ist es denkbar, dass die jeweiligen Verfahrensschritte, insbesondere die oben beschriebenen Schritte 2), 4) und 5), durch die Steuerung oder aber ganz oder teilweise durch mit der Steuerung in Verbindung stehende Mittel durchführbar sind. Einige der Verfahrensschritte können außerhalb des Arbeitsgeräts, beispielsweise durch eine externe Rechneinheit bzw. Cloud, durchgeführt und die entsprechenden Daten an das Arbeitsgerät übermittelt werden. Ebenfalls ist es denkbar, dass ein separater elektronischer Baustein oder eine separate Rechneinheit am Arbeitsgerät für die Durchführung gewisser Verfahrensschritte wie z.B. eine Grabkraftschätzung zur Verfügung stehen.

[0057] In einer möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Arbeitsgerät einen auf einem fahrbaren Unterwagen drehbar gelagerten Oberwagen umfasst, wobei es sich bei der Bewegungseinrichtung um einen Baggerausleger handelt, wobei eine erste Komponente ein mit dem Oberwagen gelenkig verbundener Ausleger und eine zweite Komponente ein gelenkig mit der ersten Komponente verbundener Stiel ist. Vorzugsweise ist eine dritte Komponente das Werkzeug selbst. Das Werkzeug kann dabei direkt oder über eine oder mehrere weitere Komponenten mit dem Stiel gelenkig verbunden sein. Die verschiedenen Komponenten des Baggerauslegers sind vorzugsweise über Hydraulikzylinder miteinander verbunden und gegeneinander verschwenkbar.

[0058] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogrammprodukt, welches Befehle umfasst, die bei einer Ausführung des Programms bewirken, dass das erfindungsgemäße Arbeitsgerät die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens ausführt. Die Verfahrensschritte können allesamt durch Mittel des Arbeitsgeräts ausgeführt werden. Alternativ ist vorstellbar, dass ein oder mehrere Schritte ausgelagert sind und durch eine mit dem Arbeitsgerät in Verbindung stehende (Rechner-)Einheit durchgeführt werden, wobei ein entsprechender Datenaustausch erfolgt. Letzteres Merkmal wird vorliegend ebenfalls dahingehend verstanden, dass die jeweiligen Schritte durch das Arbeitsgerät ausgeführt werden, da das Arbeitsgerät zumindest die zur Ausführung dieser Schritte benötigten Daten zur Verfügung stellt und/oder die extern generierten Daten empfängt, um ggf. eine entsprechende Aktion durchzuführen.

[0059] Es kann vorgesehen sein, dass sämtliche Schritte, welche eine Berechnung, Modellierung, einen Vergleich oder eine sonstige Datenverarbeitung erfordern, durch die Steuerung des Arbeitsgeräts selbst durchgeführt werden. Einer oder mehrere dieser Schritte können aber wie gesagt durch mit der Steuerung verbundene externe Bausteine oder Rechner durchgeführt werden.

[0060] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend erläuterten

Ausführungsbeispielen.

[0061] Im Folgenden wird zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens von einem Hydraulikbagger mit einem mittels eines Drehwerks drehbaren Oberwagen und einem daran angelenkten Baggerausleger als Bewegungseinrichtung ausgegangen. Der Baggerausleger umfasst einen an den Oberwagen um ein Drehgelenk schwenkbar angelenkten Ausleger, einen am anderen Ende des Auslegers mit diesem um ein weiteres Drehgelenk schwenkbar verbundenen Stiel bzw. Löffelstiel sowie einen am anderen Ende des Stiels mit diesem um ein weiteres Drehgelenk schwenkbar verbundenen Baggerlöffel als Werkzeug.

[0062] Ausleger, Stiel und Baggerlöffel sind jeweils mittels mindestens eines Hydraulikzylinders bewegbar bzw. schwenkbar, während mindestens ein Hydraulikmotor das Drehwerk des Oberwagens antreibt. Jeder der beweglichen Komponenten (Oberwagen, Ausleger, Stiel und Baggerlöffel) ist somit wenigstens ein Aktuator (Drehwerk, Hydraulikzylinder) zugeordnet. So bewirkt beispielsweise ein Ausfahren eines oder zweier zwischen Oberwagen und Ausleger angeordneter Auslegerzylinder ein Verschwenken des Auslegers um das Drehgelenk am Oberwagen, sodass sich dessen vom Oberwagen beabstandetes Ende nach oben bewegt. Ein gelenkig mit Ausleger und Stiel verbundener Stielzylinder verschwenkt den Stiel relativ zum Ausleger. Ferner ist ein Löffelzylinder vorgesehen, welcher den Baggerlöffel, ggf. über einen oder mehrere Umlenkhebel, relativ zum Stiel verschwenkt. Zwischen Oberwagen und Ausleger kann ferner ein Energierückgewinnungszylinder vorgesehen sein. In diesem Fall muss der Einfluss des Energierückgewinnungszylinders (z.B. die durch diesen bei einer Auslegerbewegung zur Unterstützung ausgeübte Kraft) ebenfalls für das kinematische Modell des Arbeitsgeräts berücksichtigt werden.

[0063] Die verschiedenen Komponenten lassen sich unabhängig voneinander mittels der unterschiedlichen Aktuatoren bewegen und bilden eine kinematische Kette. Für die folgende Betrachtung ist es dabei nicht erheblich, ob der Oberwagen selbst als Komponente der Bewegungseinrichtung betrachtet wird (der Schwerpunkt und die Masse des Oberwagens sind allerdings für die Frage der Kippvermeidung von Relevanz).

[0064] Das Arbeitsgerät umfasst eine Steuerung, welche die einzelnen Aktuatoren ansteuert und somit die Bewegung des Arbeitsgeräts steuert. Die Gesamtbewegung des Arbeitsgeräts setzt sich dabei zusammen aus den Einzelbewegungen der durch die verschiedenen Aktuatoren bewegten Komponenten. Die Steuerung ist eingerichtet, das Arbeitsgerät bzw. den Baggerarm automatisch zu bewegen. Beispielsweise ist die Steuerung in der Lage, einen autonomen Grabvorgang durchzuführen, bei dem in mehreren aufeinanderfolgenden und aufeinander abgestimmten Schritten z.B. Erdmaterial ausgegraben und an einer Abladeposition abgelegt wird.

[0065] Die Anzahl der beweglichen Komponenten, deren exakte Ausgestaltung sowie die Art und Anzahl der zugeordneten Aktuatoren sind hier lediglich exemplarisch dargestellt. Das erfindungsgemäße Verfahren funktioniert jedoch unabhängig von der genauen Anzahl und Ausgestaltung der Komponenten und Aktuatoren, insbesondere auch bei einer größeren Zahl von Komponenten bzw. Bewegungsfreiheitsgraden. Ebenfalls muss es sich bei dem Arbeitsprozess nicht um einen Grabvorgang und bei dem Arbeitsgerät nicht um einen Hydraulikbagger handeln.

[0066] Im folgenden Abschnitt werden nun mögliche Algorithmen zum automatischen Graben unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem Hydraulikbagger beschreiben. Diese umfassen unter anderem die Bestimmung der aktuellen Grabkraft, statische und dynamische Modelle des Baggers sowie Trajektoriengenerierungsverfahren zur Zeitindizierung einer Referenzbahn.

[0067] Ausgehend von einem aktuellen Geländemodell und einem Zielprofil erfolgt die Planung von notwendigen Arbeitsschritten. Das Ergebnis dieser Arbeitsplanung sind die einzelnen Arbeitsschritte, welche unter anderem die Position des Baggers, die Ortsbahnen zum Ausheben von Material und die Ortsbahnen zum Abladen des Materials (beispielsweise auf einen LKW) beinhalten.

[0068] Für das automatisierte Graben werden diese einzelnen Arbeitsschritte nacheinander verkettet und mithilfe eines geeigneten Trajektoriengenerierungsverfahren zeitindiziert. Diese Referenztrajektorien können unter anderem in kartesischen Koordinaten oder in den Gelenk- bzw. Aktuatorkoordinaten geplant werden. Werden die Trajektorien in kartesischen Koordinaten geplant, erfolgt mithilfe eines geeigneten Algorithmus die Transformation in Gelenk bzw. Aktuatorkoordinaten. Die eigentliche Regelung erfolgt üblicherweise in den Koordinaten der Aktuatoren. Die Aufgabe der Aktuatorregelung ist, dass die gemessenen Zustände der Aktuatoren den Referenzzuständen mit geringen Fehlern folgen. Referenzzustände können dabei unter anderem die Position oder die Geschwindigkeit eines Aktuators sein.

[0069] Ausgehend von der Arbeitsplanung und den damit vorgegebenen Ortsbahnen erfolgt für das automatisierte Graben eine Zeitindizierung dieser Bahnen. Dabei wird zwischen drei Phasen unterschieden. Die erste Phase betrifft das eigentliche Graben, bei welchem Material mit dem Löffel bzw. Baggerlöffel aufgenommen wird (alternativ könnte ein anderes Werkzeug wie z.B. ein Zwei- oder Mehrschalengreifer zum Einsatz kommen). Die zweite Phase betrifft das Abladen des Materials, beispielsweise auf einen LKW. In der dritten Phase erfolgt die Bewegung des Baggers von der Abladestelle zur nächsten Grabposition.

[0070] Beim Graben im Erdreich ist es möglich, dass die Aktuatoren nicht genügend Kraft aufbringen können, um die Grabkräfte, welche an dem Werkzeug (bspw. Löffel) wirken, überwinden zu können. Ist dies der Fall, resultiert ein Stillstand der Bewegung.

[0071] Bei einer manuellen Bewegung detektiert dies der Bediener und leitet neue Schritte ein. Für einen automati-

sierten Grabvorgang muss dieser Fall in der Trajektoriengenerierung mitberücksichtigt werden. Wäre dies nicht der Fall, würden deutliche Trajektorienfehler resultieren.

[0072] Für die Berücksichtigung der Grabkräfte während des Grabvorgangs sind verschiedene Ansätze denkbar. Eine Möglichkeit ist die Berücksichtigung von den aktuellen Grabkräften in Verbindung mit der maximal möglichen Grabkraft und die Einarbeitung in die Trajektoriengenerierung. Ein konkretes Beispiel für die Bestimmung der aktuellen Grabkraft gemäß der vorliegenden Erfindung wird weiter unten beschrieben.

[0073] Für die Berechnung der maximal möglichen Grabkraft werden abhängig von der aktuellen Stellung des Baggers sowie eines statischen oder dynamischen Modells eine Kombination aus verschiedenen Druckvektoren der einzelnen Aktuatoren verwendet, um eine modellbasierte Grabkraft zu berechnen.

[0074] Diese Matrix aus verschiedenen Kraftvektoren am Werkzeug wird anschließend projiziert. Als Projektionsvektor kann unter anderem die aktuelle Grabkraft (ggf. gefiltert), die aktuelle Geschwindigkeit (ggf. gefiltert), die Referenzrichtung oder verschiedene heuristische Vektoren verwendet werden. Zudem wird der aktuelle Grabkraftvektor auf diesen Vektor projiziert. Um Unsicherheiten im Modell mitzuberechnen, wird ein Faktor eingeführt, welcher mit der projizierten maximal möglichen Grabkraft multipliziert wird.

[0075] Anhand von verschiedenen Kriterien erfolgt nun eine Neuplanung der Trajektorie. Diese Kriterien können sein:

- Eine aktuelle projizierte Grabkraft überschreitet maximal mögliche projizierte Grabkraft und zusätzlich überschreitet der Trajektorienfolgefehler einen weiteren Schwellenwert;
- Der Trajektorienfolgefehler überschreitet einen Schwellenwert.

[0076] Wird nun eines dieser Kriterien erfüllt, dann wird in einem ersten Schritt die Referenzgeschwindigkeit der Trajektorie verringert. Diese Verringerung erfolgt schrittweise abhängig von weiteren Kriterien wie beispielsweise die Überschreitung eines zeitlichen Schwellenwerts. Wird bei dieser Maßnahme eines der oben genannten Kriterien wieder unterschritten, erfolgt abhängig von Kriterien wie z.B. die Überschreitung eines zeitlichen Schwellenwerts eine erneute Erhöhung der Referenzgeschwindigkeit. Sind jedoch die oben genannten Kriterien für einen weiteren zeitlichen Schwellenwert aktiv, ist eine weitere Reduktion der Referenzgeschwindigkeit auf einen noch geringeren Wert oder auf Null geplant. Sind ggf. weitere Kriterien erfüllt, wird der Grabvorgang beendet und es erfolgt das Abladen des Materials. Dabei wird unter anderem die maximal erreichte Tiefe und/oder die Position des Werkzeugs in der Längsachse gespeichert und bei der Planung des nächsten Grabvorganges verwendet. Somit erfolgt die weitere Planung der Trajektorie adaptiv von vorherigen Grabvorgängen und den erreichten Positionen des Werkzeugs.

[0077] Weitere Aspekte zur Neuplanung einer Grabtrajektorie können Umwelteinflüsse sein. Dabei kann beispielsweise durch Sensorkonfigurationen das Umfeld erkannt werden und die Planung abhängig vom aktuellen Gelände erfolgen. Dies kann auch nach jedem Grabvorgang erneut durchgeführt werden. Zusätzlich können diese oder andere Sensoren während des Grabvorgangs verwendet werden, um beispielsweise die aktuelle Füllung des Löffels zu detektieren und somit eine Neuplanung der Trajektorie zu realisieren. Durch diese Neuplanung kann beispielsweise der aktuelle Grabvorgang beendet werden, wenn der Löffel die maximale Füllmenge erreicht hat.

[0078] Weitere Sensoren zur Bestimmung von Maschinenzuständen können unter anderem z.B. akustische Sensoren sein. Diese können durch geeignete Auswertungsmechanismen beispielsweise das Erreichen der Leistungsgrenze und somit der maximal möglichen Grabkraft signalisieren. Dabei können unter anderem maschinelle Lernverfahren angewandt werden.

[0079] Die geschätzte Grabkraft kann auch für eine Bewertung der Kippsicherheit verwendet werden. Dies kann zudem in den automatisierten Grabvorgang implementiert werden. Dabei kann beispielsweise bei Überschreiten eines Sicherheitsbereiches bezüglich der Kippsicherheit der automatische Grabvorgang abgebrochen und das Arbeitsgerät in einen sicheren Zustand versetzt werden. Ein sicherer Zustand kann unter anderem abhängig von der aktuellen Position und dem Grabvorgang sein und beispielsweise in ein Stoppen der kompletten Bewegung resultieren.

[0080] In der zweiten Phase erfolgt die Planung der Trajektorie von der letzten Position beim Grabvorgang zur Abladeposition. Diese kann entweder in kartesischen Koordinaten, in Gelenkkoordinaten oder in den Koordinaten der Aktuatoren erfolgen. Die finale Position zum Abladen kann dabei abhängig von äußeren Einflüssen variiert werden, wie beispielsweise die aktuelle Materialverteilung auf einem LKW

[0081] In der dritten Phase wird die Trajektorie von der finalen Abladeposition zur nächsten Startposition geplant. Dies können beispielsweise nur die Bewegungen einzelner Aktuatoren sein (bspw. Drehwerk, Ausleger, Stiel und Löffel), eine Kombination derselben oder eine Kombination aus dem Verfahren des Baggers mit dem Verfahren der anderen Aktuatoren.

[0082] Im Folgenden wird nun ein Verfahren zur Berechnung bzw. Schätzung der aktuellen Grabkraft beschrieben.

[0083] Zur Schätzung der Grabkraft wird ein modellbasiertes Drehmoment benötigt, um anhand der Differenz der gemessenen Drehmomente und der modellbasierten Drehmomente die nötigen Informationen zur Grabkraft zu erhalten. Die Berechnung des unbelasteten Drehmoments kann dabei in beliebiger Form vorliegen. In diesem Ausführungsbeispiel wird ein Starrkörpersystem angenommen, wofür die Berechnung der an den Gelenken anliegenden Drehmomente /

Kräfte τ_m bspw. in Regressor-Form anhand der Relation

$$\tau_m = H_b(q, \dot{q}, \ddot{q}) \beta \quad (1)$$

durchgeführt werden kann. Der Vektor β enthält Parameter wie die Masse, den Schwerpunkt und die Trägheitsmomente der Bauteile (= Bauteilinformationen), wobei diese in Linearkombinationen auftreten können. Die Matrix H beschreibt den Einfluss des Parametervektors β auf die Gelenke des Baggers in Abhängigkeit der aktuell vorliegenden Positionen q , Geschwindigkeiten $\dot{q}$ und Beschleunigungen $\ddot{q}$ der Freiheitsgrade bzw. Komponenten. Diese können beispielsweise mit an den Komponenten des Baggerauslegers angeordneten Winkelsensoren und IMUs gemessen werden.

[0084] Zur Schätzung der momentanen Grabkraft sollte ein Modell mit hoher Güte vorliegen, d.h. im unbelasteten Fall sollte näherungsweise

$$\tau_{m,mess} \approx \tau_m \quad (2)$$

mit dem gemessenen Drehmoment $\tau_{m,mess}$ gelten. Die hohe Güte des Modells ist nötig, um die Informationen zu der oder den von außen einwirkenden Kräften und somit der Grabkraft F_{grab} über

$$\tau_{grab} = \tau_{m,mess} - \tau_m \quad (3)$$

berechnen zu können. Das Differenzmoment τ_{grab} ermöglicht unter Annahme eines Angriffspunkts die Rekonstruktion des tatsächlich angreifenden Kraftvektors bzw. des Grabkraftvektors.

[0085] Das Drehmoment an einem Drehgelenk aufgrund der Grabkraft ist das Kreuzprodukt aus Positionsvektor mit der angreifenden Kraft. Somit hat nur der zum Positionsvektor orthogonale Anteil des Grabkraftvektors einen Einfluss auf das Drehmoment τ_{grab} . Es werden daher mindesten zwei Drehmomentmessungen zur Schätzung des Kraftvektors in der Ebene benötigt, deren Positionsvektoren nicht parallel zueinander verlaufen (ideal wären orthogonale Positionsvektoren).

[0086] Die Beziehung zwischen der angreifenden Kraft am Endeffektor F_{grab} und den entsprechenden Drehmomenten an den Gelenken τ_{grab} ist

$$\tau_{grab} = J^T(q) F_{grab}, \quad (4)$$

mit der geometrischen Jacobimatrix $J(q)$. Letztere ist die Jacobimatrix der Vorwärtskinematik

$$p_{TCP} = f(q), \quad (5)$$

d.h. es gilt

$$J(q) = \frac{\partial f(q)}{\partial q}. \quad (6)$$

[0087] Zusammengefasst folgt mit den Gleichungen (1), (3) und (4) der Zusammenhang

$$J^T(q) F_{grab} = \tau_{m,mess} - H_b(q, \dot{q}, \ddot{q}) \beta, \quad (7)$$

der mit rekursiven Schätzverfahren wie einem "Recursive Least Squares"-Algorithmus oder mit Beobachtern wie einem Kalman Filter, genutzt werden kann, um die Grabkraft F_{grab} zu berechnen. Es sei explizit darauf hingewiesen, dass der Angriffspunkt vorliegend durch die Funktion (5) am Endeffektor bzw. TCP vordefiniert ist.

[0088] Die durch das vorstehend beschriebene Verfahren geschätzte Grabkraft kann für mehrere Zwecke verwendet werden. Zum einen kann geprüft werden, ob die maximale Kraft des Manipulators bzw. der Bewegungseinrichtung erreicht wird (diese kann durch eine maximal von einem der Aktuatoren aufnehmbare Kraft bestimmt sein). Ist dies der

Fall, kann entweder dem Bediener ein Hinweis gegeben oder im automatisierten Betrieb eine Anpassung der geplanten Trajektorie zur weiteren Ausführung des Grabprozesses durchgeführt werden. Zum anderen kann die geschätzte angreifende Kraft für eine Beurteilung der Kippsicherheit des Baggers herangezogen werden. Für ein geringes Kipprisiko muss ein ausreichendes Gegenmoment aufgrund eines Gegengewichts sichergestellt sein. Dieses muss größer sein als das Drehmoment, welches von der Dynamik der Ausrüstung und den von außen angreifenden Kräften verursacht wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung und/oder Durchführung einer Bewegung eines Arbeitsgeräts, insbesondere Baggers, wobei das Arbeitsgerät folgendes umfasst:

- eine Bewegungseinrichtung mit einem Werkzeug zum Aufnehmen von Material, welche mindestens zwei jeweils über mindestens einen Aktuator bewegbare Komponenten umfasst, und
- eine Steuerung, mittels welcher die Aktuatoren steuerbar und/oder regelbar sind,

gekennzeichnet durch die Schritte:

- 1) Erfassen von Zustandsinformationen betreffend wenigstens eine aktuelle Position und/oder aktuelle Geschwindigkeit und/oder aktuelle Beschleunigung von mindestens zwei Komponenten,
- 2) Berechnen von Drehmomenten, welche aufgrund einer aktuellen Arbeitsgerätkonfiguration an Komponenten angreifen, unter Berücksichtigung der erfassten Zustandsinformationen und unter Berücksichtigung von Bauteilinformationen der Komponenten,
- 3) Erfassen von an Komponenten tatsächlich angreifenden Drehmomenten,
- 4) Vergleichen der berechneten und der erfassten Drehmomente und Ermitteln eines an einem definierten Angriffspunkt des Arbeitsgeräts tatsächlich angreifenden Kraftvektors anhand des genannten Vergleichs, und
- 5) Ausführen einer Aktion in Abhängigkeit des berechneten Kraftvektors.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Bauteilinformationen eine Masse, ein Trägheitsmoment und/oder einen Schwerpunkt der Komponenten betreffen, wobei die Bauteilinformationen vorzugsweise auf einem Speicher des Arbeitsgeräts oder einer mit der Steuerung insbesondere drahtlos in kommunikativer Verbindung stehenden externen Rechneinheit gespeichert sind und/oder durch ein Modellierungsmittel der Steuerung anhand eines statischen oder dynamischen Modells des Arbeitsgeräts generiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der definierte Angriffspunkt am Werkzeug, insbesondere an einem Endeffektor der Bewegungseinrichtung, liegt und vorzugsweise festlegbar ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die berechneten und die erfassten Drehmomente jeweils auf dieselben Referenzpunkte der Bewegungseinrichtung bezogen sind, wobei es sich bei den Referenzpunkten vorzugsweise um Gelenke handelt, über die die Komponenten miteinander drehbar verbunden sind.

5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Referenzpunkte ausgehend von einem Gelenk einer Komponente an einem Oberwagen des Arbeitsgeräts Positionsvektoren definieren, welche bei der Erfassung der Drehmomente nicht parallel zueinander stehen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zustandsinformationen mittels an der Bewegungseinrichtung angeordneter Sensoren erfasst werden, wobei das Arbeitsgerät vorzugsweise einen oder mehrere der folgenden Sensoren aufweist:

- mindestens einen Drucksensor zur Messung eines an einem Aktuator anliegenden Hydraulikdrucks,
- mindestens einen Drehmomentgeber,
- mindestens einen Winkelsensor zur Messung eines aktuellen Winkels einer Komponente,
- mindestens einen Positionssensor, insbesondere GPS-Modul, zur Messung einer aktuellen Position einer Komponente,
- mindestens einen Inertialsensor, insbesondere inertielle Messeinheit, zur Messung einer aktuellen Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung einer Komponente,
- mindestens einen Sensor zur Erfassung eines aktuellen Füllstands und/oder Füllgewichts des Werkzeugs,
- mindestens einen akustischen Sensor zur Erfassung eines Geräuschs des Arbeitsgeräts während des Betriebs,

dessen Signale vorzugsweise mittels eines Analysemittels ausgewertet werden, um auf einen aktuellen Betriebszustand des Arbeitsgeräts zu schließen.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Kraftvektor mittels eines rekursiven Verfahrens ermittelt und/oder mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Aktion das insbesondere optische und/oder akustische Ausgeben einer Warnung umfasst.
- 10 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuerung eingerichtet ist, den Aktuator derart automatisch anzusteuern, dass sich das Werkzeug entlang einer Trajektorie bewegt, wobei die Aktion vorzugsweise eine Änderung der Trajektorie und/oder ein Eingreifen in die automatische Bewegung entlang der Trajektorie umfasst.
- 15 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der ermittelte Kraftvektor mit mindestens einem Vergleichskraftvektor verglichen und auf Grundlage des genannten Vergleichs die Aktion ausgeführt wird, wobei der mindestens eine Vergleichskraftvektor vorzugsweise einer maximal möglichen Kraft entspricht.
- 20 11. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei mindestens ein anhand eines maximal möglichen Drucks an einem Aktuator berechneter Kraftvektor auf einen Referenzvektor projiziert wird, um den Vergleichskraftvektor zu erhalten, wobei es sich bei dem Referenzvektor vorzugsweise um den ermittelten Kraftvektor, einen eine von der Bewegungseinrichtung abgefahrte Trajektorie repräsentierenden Geschwindigkeitsvektor oder einen definierbaren Vektor handelt.
- 25 12. Verfahren nach Anspruch 9 und einem der Ansprüche 10 bis 11, wobei die Aktion ausgeführt wird, wenn der Betrag des ermittelten Kraftvektors den Betrag des Vergleichskraftvektors überschreitet und/oder ein Trajektorienfolgefehler einen vorzugsweise festlegbaren Grenzwert überschreitet.
- 30 13. Verfahren nach Anspruch 9 und einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Trajektorie mit einer Referenzgeschwindigkeit abgefahren wird, wobei Aktion eine Reduktion der Referenzgeschwindigkeit umfasst.
- 35 14. Verfahren nach Anspruch 9 und einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei die Aktion ein Beenden der automatischen Bewegung entlang der Trajektorie umfasst, wobei vorzugsweise eine bisher erreichte Position des Werkzeugs, insbesondere eine maximale Tiefe und/oder Abstand von einem Oberwagen des Arbeitsgeräts, erfasst und in der Steuerung gespeichert wird, wobei weiter vorzugsweise bei einem Fortsetzen der Trajektorie diese ausgehend von der gespeicherten Position geplant und/oder durchgeführt wird.
- 40 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei auf Grundlage des ermittelten Kraftvektors und einer aktuellen Stellung des Arbeitsgeräts auf einen das Kippverhalten des Arbeitsgeräts repräsentierenden Parameter geschlossen wird, wobei vorzugsweise die Aktion durchgeführt wird, wenn der Parameter einen Grenzwert über- oder unterschreitet.
- 45 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es sich bei der Bewegungseinrichtung um einen Baggerausleger handelt, wobei eine erste Komponente ein mit einem Oberwagen des Arbeitsgeräts gelenkig verbundener Ausleger und eine zweite Komponente ein gelenkig mit der ersten Komponente verbundener Stiel ist, wobei vorzugsweise eine dritte Komponente der Bewegungseinrichtung das Werkzeug ist, welches gelenkig mit dem Stiel oder mit einer weiteren Komponente verbunden ist.
- 50 17. Arbeitsgerät, insbesondere Bagger, umfassend eine Bewegungseinrichtung mit einem Werkzeug zum Aufnehmen von Material, welche mindestens zwei jeweils über mindestens einen Aktuator bewegbare Komponenten umfasst, eine Steuerung, mittels welcher die Aktuatoren steuerbar und/oder regelbar sind, wobei das Arbeitsgerät ausgelegt ist, das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.
- 55 18. Arbeitsgerät nach dem vorhergehenden Anspruch, umfassend einen auf einem fahrbaren Unterwagen drehbar gelagerten Oberwagen, wobei es sich bei der Bewegungseinrichtung um einen Baggerausleger handelt, wobei eine erste Komponente ein mit dem Oberwagen gelenkig verbundener Ausleger und eine zweite Komponente ein gelenkig mit der ersten Komponente verbundener Stiel ist, wobei vorzugsweise eine dritte Komponente der Bewegungseinrichtung das Werkzeug ist, welches gelenkig mit dem Stiel oder mit einer weiteren Komponente verbunden ist.

- 19.** Computerprogrammprodukt umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms bewirken, dass das Arbeitsgerät nach Anspruch 17 oder 18 die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16 ausführt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 18 5087

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)
X	EP 3 351 689 A1 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES [JP]) 25. Juli 2018 (2018-07-25)	1, 3, 4, 6, 8-10, 12, 16-19	INV. E02F3/43 E02F9/20 E02F9/26
A	* Absätze [0055], [0108], [0109], [0117] - [0143], [0157]; Abbildung 1 * -----	2, 5, 7, 11, 13-15	
A	JP 2007 178362 A (CATERPILLAR MITSUBISHI LTD) 12. Juli 2007 (2007-07-12) * das ganze Dokument *	1-19	
A	US 2002/075157 A1 (MULLER THOMAS P [US]) 20. Juni 2002 (2002-06-20) * das ganze Dokument *	1-19	
A	US 2021/054595 A1 (SANO YUSUKE [JP]) 25. Februar 2021 (2021-02-25) * das ganze Dokument *	1-19	
A	EP 2 843 378 A1 (DEERE & CO [US]) 4. März 2015 (2015-03-04) * das ganze Dokument *	1-19	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 22. Dezember 2022	Prüfer Dreyer, Christoph
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 Patentedokument, 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 22 18 5087

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.

22-12-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3351689 A1	25-07-2018	CN 108138459 A	08-06-2018
		CN 113073692 A	06-07-2021
		EP 3351689 A1	25-07-2018
		EP 3640401 A1	22-04-2020
		JP 6884702 B2	09-06-2021
		JP 7053720 B2	12-04-2022
		JP 2020128695 A	27-08-2020
		JP 2022079675 A	26-05-2022
		JP WO2017047695 A1	05-07-2018
		KR 20180054637 A	24-05-2018
		US 2018230671 A1	16-08-2018
		WO 2017047695 A1	23-03-2017
JP 2007178362 A	12-07-2007	KEINE	
US 2002075157 A1	20-06-2002	GB 2370029 A	19-06-2002
		JP 2002242233 A	28-08-2002
		US 2002075157 A1	20-06-2002
US 2021054595 A1	25-02-2021	CN 112411662 A	26-02-2021
		JP 2021031904 A	01-03-2021
		US 2021054595 A1	25-02-2021
EP 2843378 A1	04-03-2015	DE 102013203826 A1	11-09-2014
		EP 2843378 A1	04-03-2015

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