

(19)



(11)

EP 3 371 383 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.01.2020 Patentblatt 2020/05

(51) Int Cl.:
E02F 9/26 ^(2006.01) **B66C 23/90** ^(2006.01)
B66F 17/00 ^(2006.01) **E02F 3/26** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16808558.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2016/100515

(22) Anmeldetag: **02.11.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/076390 (11.05.2017 Gazette 2017/19)

(54) **BAUGERÄTSTANDSICHERUNGSVERFAHREN UND -SYSTEM**

CONSTRUCTION DEVICE STABILIZATION METHOD AND SYSTEM

PROCÉDÉ ET SYSTÈME DE STABILISATION D'ENGIN DE CHANTIER

(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

- **MILATZ, Marius**
22417 Hamburg (DE)
- **ZOBEL, Dominik**
22083 Hamburg (DE)

(30) Priorität: **02.11.2015 DE 102015118719**

(74) Vertreter: **Hansen, Jochen**
Hansen und Heeschen
Patentanwälte
Eisenbahnstrasse 5
21680 Stade (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.09.2018 Patentblatt 2018/37

- (73) Patentinhaber:
- **Technische Universität Hamburg-Harburg**
21073 Hamburg (DE)
 - **TuTech Innovation GmbH**
21079 Hamburg (DE)

- (56) Entgegenhaltungen:
- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| EP-A1- 2 060 530 | DE-A1- 2 343 941 |
| DE-A1- 10 320 382 | DE-A1-102007 008 881 |
| DE-A1-102010 012 888 | DE-B4-102008 009 002 |
| DE-U1- 20 206 677 | US-A1- 2002 059 320 |
| US-B2- 8 548 689 | |

- (72) Erfinder:
- **GRABE, Jürgen**
21075 Hamburg (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 371 383 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Baugerätstandsicherungsverfahren für ein auf einem nachgiebigen Planum stehendes oder fahrendes Baugerät, wobei das Baugerät Arbeitsgeräte und Bauteile aufweist, die zueinander verstellbar sind und einen erfassbaren, veränderlichen Systemzustand bilden, wobei eine kontinuierliche oder mit hoher Abtastrate abgetastete Neigungsmessung erfolgt, sowie ein Baugerätstandsicherungssystem dafür. Nachgiebiges Planum bedeutet dabei, dass die Aufstandsfläche, auf der das Baugerät steht oder fährt, aus verschiedensten Gründen nicht ausreichend stabil ist. Beispielsweise können ein nicht ausreichend verdichteter Baugrund, ein bodenmechanisch veränderlicher Boden, sonstige Hohlräume im Untergrund oder Fehlstellen vorliegen. Dabei ist es unerheblich, aus welchem Material der Untergrund gebildet ist, da allein die Nachgiebigkeit des Untergrundes einschließlich der Gefahr eines Grundbruchs die Standsicherheit des Baugeräts gefährden.

[0002] Baugeräte, insbesondere mit hohem Schwerpunkt, sind gefährdet, auf nachgebendem Untergrund umzukippen. Bei der Konstruktion derartiger Baugeräte wird gemäß den aktuellen Standards von einem starren Planum ausgegangen und daraus resultierend werden die Standsicherheitsgrenzen für den Bagger (Baugerät) festgelegt. Tatsächlich kann jedoch ein unzureichend befestigter Boden unter einem stehenden, fahrenden oder im Arbeitsbetrieb befindlichen Bagger allmählich oder plötzlich nachgeben, was zum Umstürzen und somit zu erheblichen Sachschäden und gegebenenfalls Personenschäden führen kann.

[0003] In der DE 10 2007 008 881 A1 wird ein Verfahren zum Aufstellen einer Arbeitsmaschine offenbart, wobei die Beschaffenheit und die Tragfähigkeit des Untergrunds berücksichtigt werden.

[0004] Überlastwarn- oder -abschalteinrichtungen für einen Hebezug, wie Kran oder insbesondere Hydraulikbagger sind bereits lange Zeit bekannt, wie beispielsweise aus der DE 23 43 941 A1. Dabei wird jedoch der Untergrund, also die Tragfähigkeit des Bodens außer Acht gelassen und ein starres Planum vorausgesetzt.

[0005] Im Gegensatz dazu beschreibt die DE 103 20 382 A1 eine mobile Arbeitsmaschine, die mit teleskopierbaren Stützfüßen versehen ist, die zur Erhöhung der Standsicherheit auf einem Untergrund abstützbar sind und dabei das Fahrgestell anheben, bei der im Bereich der Stützfüße Messeinrichtungen angeordnet sind, die einen Stützlastsensor sowie einen stützfußbezogenen Bewegungssensor zur Erfassung der momentanen Stützlast und der Stützfußbewegung beim Aufstellvorgang aufweisen. Damit kann beim Aufstellen der Arbeitsmaschine eine zuverlässige Vorhersage über die Tragfähigkeit des Untergrunds gemacht werden. Entsprechend ist eine Auswerteeinheit vorgesehen, die auf die Ausgangssignale der Messeinrichtung anspricht und eine Auswertesoftware zur Erfassung und Verknüpfung

der Ausgangssignale der stützfußbezogenen Bewegungssensoren und Stützlastsensoren und deren Extrapolation zur Ermittlung der stützfußbezogenen Untergrundtragfähigkeit in der Arbeitsphase aufweist.

[0006] Diese Art der Ermittlung der Untergrundtragfähigkeit ist jedoch nur mit ortsfesten Stützfüßen nicht für auf Raupen geführte Baugeräte, die sich auch auf dem Baugrund bewegen, anwendbar.

[0007] Um die Standsicherheit einer Baumaschine in Baustellenfahrt z.B bei einem Raupenkran ohne Abstützung bestimmen zu können, schlägt daher die DE 10 2010 012 888 A1 bei Baumaschinen mit Unterwagen und einem über eine Rollendrehverbindung relativ zum Unterwagen verdrehbar gelagerten Oberwagen vor, ein Messmittel zur Messung der Kräfte in Zug-, Druck- und Horizontalrichtung auf die Rollendrehverbindung vorzusehen, wobei die Messwerte einer Steuerung zugeführt und die Standsicherung überwacht werden kann. Ergänzt zu den Kraftsensoren kann die Baumaschine auch mit einem Neigungsgeber ausgestattet sein, der beispielsweise die Neigung des Oberwagens um eine lotrechte Achse ermittelt. Ferner kann neben der Überwachung der Betriebs- und Standsicherheit des Raupenkranes bzw. des Mobilkranes auch über die Raupengeometrie und/oder die Bodenplatten auf die aktuell vorhandene Bodenpressung geschlossen werden. Nachteilig ist jedoch, dass Bodenreaktionen nicht erfasst werden können.

[0008] Aus der DE 10 2008 009 002 B4 ist ein passiver elektromechanischer Neigungsschalter mit einstellbarer Dämpfung für die Kippsicherheitsüberwachung bei Baumaschinen und landwirtschaftlichen Maschinen bekannt. Nachteilig auch bei diesem Neigungsschalter ist, dass die Neigungsgrenzwerte wiederum von einem starren Planum ausgehen und eine solche Kippsicherung ein Bodenversagen nicht in situ ermitteln kann.

[0009] Aus der EP 2 060 530 A1 ist ein Verfahren zur Überprüfung der Standsicherheit einer Baumaschine, die Arbeitsgeräte und Bauteile aufweist, die zueinander verstellbar sind und einen erfassbaren, veränderlichen Systemzustand bilden, bekannt, bei der eine kontinuierliche Neigungsmessung erfolgt. Dabei werden aus der momentanen Neigung des Baugeräts ein kritischer Kippwinkel zum jeweiligen Systemzustand berechnet, die momentane Neigung mit dem jeweils geltenden kritischen Kippwinkel verglichen und Sicherheitsmaßnahmen vor Erreichen des jeweils kritischen Kippwinkels ausgelöst.

[0010] Aus der US 8,548,689 B2 ist ein Neigungsbestimmungssystem für Baumaschinen bekannt, das Neigungssensoren und Beschleunigungssensoren aufweist, deren Messwerte über eine Auswerteeinheit verarbeitet werden. Dabei können als Sicherheitsmaßnahme Ausgleichsbewegungen und/oder Warnsignale abgegeben werden, wenn kritische Neigungssituationen entstehen.

[0011] In der US 2002/059320 A1 wird ein Arbeitsmaschinen-Management-System offenbart, in dem Infor-

mationen von Sensoren bei jeder Arbeitsmaschine erfasst und in einer zentralen Datenbank gespeichert werden. Dabei werden die Neigung und die Untergrundeigenschaften berücksichtigt. Das Umkippen einer Arbeitsmaschine kann auch erfasst werden, allerdings werden prädiktive Zustände oder Modelle nicht errechnet.

[0012] Ferner ist aus der DE 202 06 677 U1 eine Sicherheitsvorrichtung für Krane mit mindestens einem in der Position verstellbaren Lastaufnahmemittel, einem Lastsensor, einem Positionssensor, einer Steuer- und Überwachungseinrichtung und einer Warneinrichtung bekannt, bei der ein Sensor zur fortlaufenden Erfassung der horizontalen und/oder vertikalen Ausrichtposition des Krans für die Dauer seiner Aufstellung vorgesehen ist. Dabei ist eine Vergleichseinrichtung in der Steuer- und Überwachungseinrichtung vorgesehen, die ein gespeichertes Ausrichtpositionssignal mit einem von dem Ausrichtpositionssensor übermittelten aktuellen Ausrichtpositionssignal vergleicht und ein Positionssignal an die Steuer- und Überwachungseinrichtung ausgibt, und die Steuer- und Überwachungseinrichtung bei Überschreiten eines vorgegebenen Wertes des Positionssignals ein Aktivierungssignal an die Warneinrichtung ausgibt, das diese auslöst.

[0013] Ausgehend von den Schwierigkeiten hinsichtlich der Berücksichtigung der Tragfähigkeit des anstehenden Bodens wurde auf der Fachtagung Spezialtiefbau der BG BAU am 09. Juni 2011 in Hamburg ein Vortrag mit dem Titel "Standicherheit von Spezialtiefbaugeräten" von Karl Krollmann, Jürgen Grabe und Marius Milatz gehalten. Darin wird ausgeführt, dass Geräteumstürze meist auf ein Nachgeben des Planums zurückzuführen sind und somit eine Reduzierung derartiger Unfälle nur unter Ergänzung der Einflüsse des Baugrundes möglich ist. Entsprechend soll in einem Forschungsprojekt eine Verbesserung der Standicherheit über Software gestützte Lösungen erreicht werden, die auch geomechanische Aspekte mit einbezieht.

[0014] Entsprechend dieser Schrift ist es Aufgabe der Erfindung, ein Standsicherungsverfahren bzw. ein Standsicherungssystem für Baugeräte mit hohem Schwerpunkt anzugeben, das die Baugerät-Boden-Wechselwirkung bei üblichem, bodenmechanisch veränderlichem, nachgiebigem Baugrund berücksichtigt.

[0015] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und durch ein Baugerätstandsicherungssystem gemäß Anspruch 12.

[0016] Durch Erstellung eines Planummodells, mit dem die Nachgiebigkeit des Planums bei Belastung vorausberechnet werden kann; Berechnen der Belastung des Planums zum jeweiligen Systemzustand des Baugeräts; Vorausberechnung einer prädiktiven Neigung des Baugerätes unter Berücksichtigung des Systemzustandes und des Planummodells; Vergleich der prädiktiven Neigung des Baugerätes mit der aktuell gemessenen Neigung des Baugeräts und iterative Anpassung des Planummodells zur Minimierung der Differenz zwischen prädiktiver Neigung und gemessener Neigung; Verglei-

chen der prädiktiven Neigung zum jeweiligen Systemzustand unter Berücksichtigung des Planummodells mit einem vorgegebenen Kippkriterium und Auslösen von Sicherungsmaßnahmen bei Erreichen des Kippkriteriums wird erreicht, dass kritische Belastungssituationen frühzeitig registriert werden können. Dabei berücksichtigt das erstellte Planummodell die bei der Belastung durch das Baugerät entstehenden Veränderungen aufgrund der Nachgiebigkeit des Planums bei dessen Belastung, sodass nach einer kurzen "Einschwingphase" der Charakter des Planums, insbesondere seine Reaktion auf Belastungen abgebildet wird, sodass eine Vorausberechnung einer Neigung des Baugeräts unter Berücksichtigung des Systemzustandes und der zwischenzeitlich erkannten Nachgiebigkeit des Planums (Planummodell) erfolgen kann. Bei dem Vergleich des jeweiligen Systemzustandes unter Berücksichtigung des Planummodells mit einem vorgegebenen Kippkriterium kann somit bereits vorausschauend eine Kippgefahr erkannt werden und bei Erreichen des Kippkriteriums können entsprechende Sicherungsmaßnahmen ausgelöst werden.

[0017] Dabei bedeutet Sicherungsmaßnahmen einerseits das Ausgeben von Warnsignalen an den Baugerätführer in Form von optischen und akustischen Warnsignalen sowie das aktive Steuern des Baugeräts sowie seiner Arbeitsgeräte und Bauteile zur Verringerung des Kipprisikos. Beispielsweise kann ein am Baugerät angelegtes Rammgerät auf dem Boden abgesetzt oder in seiner Neigung zum Baugerät so verstellt werden, dass der Schwerpunkt wieder weiter auf seine Standfläche hineinwandert. Die Sicherungsmaßnahmen sind somit sowohl passive Warnungen, wie auch aktiv ausgelöste Veränderungen am System des Baugeräts, um die Standicherheit wieder her zu stellen.

[0018] Die getroffenen Sicherungsmaßnahmen können eine Änderung des Systemzustands bewirken, die zu einer Entlastung des Baugeräts in Kipprichtung führt. So wird durch Verlagerung des Schwerpunktes entgegengesetzt zur befürchteten Kipprichtung eine starke Belastung oder Überlastung des Baugrundes in dieser Richtung reduziert, beispielsweise kann ein Bohr- oder Rammgerät auf dem Boden abgesetzt, ein ausgelenkter Oberwagen wieder in Ausrichtung mit dem Unterwagen zurückgedreht oder ein Arbeitsgerät an dem Baugerät entsprechend gegen die Kipprichtung verschwenkt werden. Jeweils wandert der den kritischen Systemzustand charakterisierende Schwerpunkt wieder näher an die mittige, lotrechte Achse des Baugeräts bzw. das Gewicht des Baugeräts wird durch eine zusätzliche Abstützung auf dem Boden gleichmäßiger auf dem veränderlichen, nachgiebigen Baugrund eingeleitet, womit unerwünschte Bodenüberlastungen und ein kritisches Nachgeben des Baugrundes vermieden werden.

[0019] Entsprechend sind bei einem Baugerätstandsicherungssystem eine Auswerteeinheit sowie eine Steuereinheit vorgesehen, wobei die Auswerteeinheit ein Planummodell enthält, mit dem die Nachgiebigkeit des Pla-

nums bei Belastung vorausberechnet werden kann, und vom Neigungssensor gemessene Neigungsdaten unter Berücksichtigung des jeweiligen Systemzustandes ausgewertet und mit vorbestimmten Grenzwerten vergleicht und die Steuereinheit von der Auswerteeinheit bei Überschreiten der Grenzwerte zum Verändern des Systemzustandes zur Entlastung des Baugeräts in Kipprichtung angesteuert wird.

[0020] Wenn der Systemzustand des Baugeräts als Fahrzeugmodell mit verschiedenen, gekoppelten Massenpunkten simuliert wird, kann der Systemzustand des Baugeräts mit seinen Arbeitsgeräten und Bauteilen, die zueinander verstellbar sind und einen erfassbaren, veränderlichen Systemzustand bilden, in einem Fahrzeugmodell nachgebildet werden. Damit können Belastungen und Drehmomente des kompletten Baugeräts in seinem jeweiligen Systemzustand nachgebildet werden. Damit ist es möglich, die komplexen Abhängigkeiten zwischen der jeweiligen Arbeitssituation des Baugeräts und des darunter befindlichen, nachgiebigen Planums zu berücksichtigen.

[0021] Dadurch, dass äußere Lasten, nämlich am Baugerät angreifende Windlasten und/oder am Baugerät anhaftender Boden im Fahrzeugmodell berücksichtigt werden, können zudem die Standfestigkeit beeinflussende äußere Lasten und damit veränderte Schwerpunkte und Drehmomente im Fahrzeugmodell nachgebildet werden.

[0022] Wenn das Fahrzeugmodell Veränderungen am Systemzustand des Baugeräts sowie bei den äußeren Lasten dynamisch berücksichtigt, kann die dynamisch wirkende Massenträgheit des gesamten Systems sowie ein etwaiges Schwingungsverhalten bei der Gesamtauswertung berücksichtigt werden.

[0023] Dadurch, dass ein Kontaktmodell zwischen Fahrzeugmodell und Planummodell die gegenseitige Beeinflussung simuliert, kann die Wechselwirkung zwischen dem Baugerät und dem Planum im Modell einfließen. Wird beispielsweise durch den Systemzustand des Baugeräts eine äußere Seite der Aufstandsfläche besonders stark belastet, wirkt diese erhöhte Auflast entsprechend auf den nachgiebigen Untergrund, sodass die sich am Baugerät widerspiegelnde Neigung nicht nur durch die Einfederung des Baugeräts, sondern auch auf ein zusätzliches Einsinken des Kettenfahrwerks an dieser stärker belasteten Stelle des Planums herrührt. Dies kann mit Hilfe des Kontaktmodells als Wechselwirkung zwischen Fahrzeugmodell und Planummodell berechnet und somit vorhergesagt werden.

[0024] Dadurch, dass bei der iterativen Vorausberechnung der prädiktiven Neigung des Baugerätes das Fahrzeugmodell und das Planummodell berücksichtigt werden, wobei die prädiktive Neigung des Baugerätes mit der aktuell gemessenen Neigung des Baugeräts verglichen wird und eine iterative Anpassung des Planummodells und des Fahrzeugmodells zur Minimierung der Differenz zwischen prädiktiver Neigung und gemessener Neigung erfolgt, wird eine weitere Anpassung der beiden Modelle, nämlich Planummodell und Fahrzeugmodell an

die tatsächlich gemessenen Reaktionen des Baugeräts bei dessen Arbeitsbetrieb erreicht. Diese iterative Anpassung verbessert somit die Vorausberechnung der sich bei entsprechenden Veränderungen einstellenden Neigung des Baugeräts unter Berücksichtigung sowohl des Planums wie auch des Systemzustandes des Baugeräts.

[0025] Wenn als Kippkriterium ein zum jeweiligen Systemzustand passender, kritischer Kippwinkel berechnet wird, der mit der prädiktiven Neigung verglichen wird, kann eine Vorhersage für eine Kippgefahr hergeleitet werden, die neben dem Ist-Zustand des Systems auch aus den bisherigen Reaktionen des Systems ermittelte, zukünftige Reaktionen sowohl des Baugeräts, wie auch des Planums berücksichtigt.

[0026] Alternativ oder ergänzend können auch die Daten der Neigungsmessung und/oder die Daten der prädiktiven Neigung mit vorher bestimmten, kritischen Bewegungsmustern verglichen werden, wobei bei einer Übereinstimmung die Sicherungsmaßnahmen ausgelöst werden, hierbei können kritische Bewegungsmuster, also auch dynamische Effekte erkannt werden, die zu einer kritischen Situation oder zum Umkippen des Baugeräts führen könnten.

[0027] In weiterer Ausbildung kann auch die erste zeitliche Ableitung der Neigungsmessdaten als Kriterium zur Einleitung von Sicherheitsmaßnahmen errechnet werden, gekennzeichnet durch Bilden der ersten zeitlichen Ableitung der Neigungsmessdaten, Berechnen einer kritischen Neigungsrate zum jeweiligen Systemzustand, Vergleichen der Neigungsmessdaten erster Ableitung mit der jeweils geltenden kritischen Neigungsrate, Auslösen der Sicherheitsmaßnahme kurz vor Erreichen der jeweils geltenden kritischen Neigungsrate.

[0028] Durch Bilden der zweiten zeitlichen Ableitung der Neigungsmessdaten, Berechnen einer kritischen Neigungsbeschleunigung zum jeweiligen Systemzustand, Vergleichen der Neigungsmessdaten zweiter Ableitung mit der jeweils geltenden kritischen Neigungsbeschleunigung, Auslösen der ersten Sicherheitsmaßnahme kurz vor Erreichen der jeweils geltenden kritischen Neigungsbeschleunigung wird ein ergänzendes Kriterium für das Einleiten von Sicherheitsmaßnahmen bereitgestellt.

[0029] Wenn die Neigungsmessdaten zur Dämpfung und/oder Glättung gefiltert werden, können Betriebschwingungen, die erheblich höher frequent als die zur Umkippsicherung festzustellenden, zeitlich veränderlichen Neigungswerte sind, für die weitere Auswertung eliminiert werden.

[0030] Bei Überschreiten des kritischen Kippwinkels, der kritischen Neigungsrate und/oder der kritischen Neigungsbeschleunigung oder bei Auftreten eines bestimmten Bewegungsmusters kann als weitere Sicherungsmaßnahme eine Änderung des Systemzustands ausgelöst werden, die zu einem Schutz des Baugerätführers und des Baugeräts führt. Dabei werden durch aktive Schutzmaßnahmen gegen die Folgen eines nunmehr nicht mehr aufzuhaltenden Kippvorgangs beispielsweise

gegen die Gefahr des Zerquetschens der Kabine unter dem Baugerät durch Rausdrehen der Fahrerkabine aus dem kritischen Bereich, Auslösen von Gurtstraffern und Fahrerairbags (passive Schutzmaßnahmen) der Baugerätführer sowie ggf. zusätzlich das Baugerät selbst geschützt bzw. Beschädigungen in Folge des Umstürzens verringert.

[0031] Wenn die Daten der Neigungsmessung mit vorher bestimmten, kritischen Bewegungsmustern verglichen werden, wobei bei einer ausreichenden Übereinstimmung die erste oder zweite Sicherungsmaßnahme ausgelöst wird, können bestimmte, kritische Bewegungsabläufe im Voraus bestimmt und deren Auftreten anhand des Vergleichs mit den aktuellen Messdaten relativ schnell erkannt und entsprechend geeignete Sicherungsmaßnahmen eingeleitet werden. Um die in hoher Abtastrate ermittelten Messwerte oder daraus abgeleiteten Werte für Neigungsdaten und Neigungsbeschleunigungen interpretieren zu können, ist das vorher bestimmte, kritische Bewegungsmuster eine Zeitreihe von Neigungsdaten, Neigungsdaten oder Neigungsbeschleunigungen, das mit den jeweiligen Messdaten, deren erster zeitlichen Ableitung oder deren zweiter zeitlichen Ableitung über ein mitlaufendes Zeitfenster verglichen wird. Dies kann beispielsweise mittels Filter- und/oder Dekonvolutionsmethoden ermittelt werden.

[0032] Um eine ausreichend schnelle Reaktion einerseits und eine genügende Datenbasis zum Erkennen des kritischen Bewegungsmusters (typischer Findexdruck) erreichen zu können, wird mit dem mitlaufenden Zeitfenster ein vom momentanen Zeitpunkt rückblickender Zeitraum von 0,1 bis 10 s, insbesondere 0,3 bis 3 s betrachtet.

[0033] Wenn das Baugerät einen selbstfahrenden Unterwagen und darauf drehbar angeordnet einen Oberwagen mit wenigstens einem Arbeitsgerät hat, sind die zum jeweiligen Systemzustand gehörenden Geometrien und daraus der momentane Schwerpunkt sowie die daraus resultierende Bodenbelastung berechenbar.

[0034] Wenn der Unterwagen ein Kettenfahrwerk aufweist, werden aus den Geometriedaten die jeweiligen Kippkanten des Fahrwerks bestimmt und daraus die Standfestigkeit und je nach Lage des momentanen Schwerpunktes die unterhalb des Kettenfahrwerks wirkende, örtlich veränderliche Bodenbelastung ermittelt.

[0035] Wenn das Arbeitsgerät am Oberwagen ein Bohrgerät oder Rammgerät ist, liegt ein besonders hoher Schwerpunkt vor, der die Kippgefahr deutlich erhöht.

[0036] Dadurch, dass ein erster Neigungssensor im Unterwagen und ein zweiter Neigungssensor im Oberwagen angeordnet sind, können auch Neigungsdifferenzen zwischen Ober- und Unterwagen, beispielsweise aufgrund eines Spiels im Drehwerk, erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

[0037] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen detailliert beschrieben.

[0038] Darin zeigt:

Fig. 1 eine Prinzipskizze des im Baugerät verwirklichten Standsicherungssystems;

Fig. 2 ein Diagramm mit Neigungsmessdaten vor und nach Filterung;

Fig. 3 die gefilterten Neigungsmessdaten gemäß Fig. 2 in einem Diagramm mit markierten Auslösepunkten für Sicherungsmaßnahmen;

Fig. 4 ein Diagramm der Neigungsrate im Zeitverlauf.

[0039] In Fig. 1 ist schematisch ein Baugerätstandsicherungssystem dargestellt. Ein Baugerät 1 mit einem Unterwagen 11 mit Kettenfahrwerk 10 und einem auf dem Unterwagen 11 drehbar um eine vertikale Achse Z drehbaren Oberwagen 12 weist ein am Oberwagen 12 angeordnetes Arbeitsgerät 13, beispielsweise ein Rammgerät, und am Oberwagen 12 eine Fahrerkabine 14 auf. Ferner sind am Baugerät 1 Sensoren 2 vorgesehen, von denen Lagesensoren 22 den Systemzustand des Baugeräts 1, nämlich die Stellung des Oberwagens 12 zum Unterwagen 11, die Neigung und Ausrichtung des Rammgeräts 13 sowie über wenigstens einen Neigungssensor 21 die Neigung des Baugeräts 1 zur vertikalen Achse Z erfassen können.

[0040] Ferner ist im Baugerät 1 eine Auswerteeinheit 3 vorgesehen, der eine Steuereinheit 4 nachgeschaltet ist. Von den Sensoren 2, nämlich Neigungssensor 21 und Lagesensor 22 gehen Wirkverbindungen 23 zur Auswerteeinheit 3. Die Messdaten des Neigungssensors 21 werden in der Auswerteeinheit 3 zunächst durch einen Filter 31 geleitet. Der Filter 31 ist ein Tiefpassfilter, der höherfrequente Signale der Neigungssensoren 21, die von Betriebsschwingungen des Baugeräts 1, beispielsweise dem Dieselmotor, der Hydraulik oder dem Arbeitsgerät 13 herrühren, herausfiltert. In Fig. 2 ist ein Diagramm der Neigungsdaten über der Zeitachse dargestellt, wobei die ungefilterten Rohdaten eine Vielzahl von hochfrequenten Störsignalen beinhalten und gestrichelt dazu das Tiefpass-gefilterte Signal dargestellt ist.

[0041] In der Auswerteeinheit 3 wird aus den Signalen der Lagesensoren 22 der Systemzustand des Baugeräts 1 erfasst und daraus der momentane Geräteschwerpunkt unter Berücksichtigung einer etwaigen Neigung des Baugeräts 1 zur vertikalen Achse Z errechnet. Unter Zugrundlegung der Gerätedaten des Baugeräts 1 und dem festgestellten Systemzustand könnte unter der Voraussetzung eines festen Planums bereits die Kippsicherheit berechnet werden.

[0042] Um die Nachgiebigkeit des Planums bei Belastung zu berücksichtigen, wird nun ein Planummodell erstellt, das die Eigenschaften des Bodens, auf dem das Baugerät steht, nachbilden und insbesondere deren Reaktion auf Belastungen vorausberechnen kann. Ferner wird ein Fahrzeugmodell erstellt, das die Lastverteilung im Baugerät zum jeweiligen Systemzustand des Baugeräts (Lage des Arbeitsgeräts) und der Bauteile am Bau-

gerät beispielsweise mit verschiedenen, gekoppelten Massenpunkten nachbildet und über ein Kontaktmodell zwischen dem Fahrzeugmodell und dem Planummodell die Gesamtreaktion des Systems aus Baugerät und Planum vorausberechnen kann. Die sich dabei ergebende prädiktive Neigung des Baugeräts wird dann mit der aktuell gemessenen Neigung des Baugeräts verglichen und durch iterative Anpassung des Planummodells und ggfs. des Fahrzeugmodells zur Minimierung der Differenz zwischen prädiktiver Neigung und gemessener Neigung angepasst.

[0043] Das somit optimierte Planummodell und Fahrzeugmodell liefert dann vorausberechnete (prädiktive) Neigungswerte, die direkt mit vorgegebenen Kippkriterien verglichen werden können. Es kann somit frühzeitig (im Voraus) entschieden werden, ob ein kritischer Zustand entstehen könnte. Entsprechend können dann Sicherungsmaßnahmen ausgelöst werden, um den Fahrzeugführer des Baugeräts zu warnen, aktiv in die Steuerung einzugreifen und die Schwerpunktlage positiv zu verändern oder bei einem nicht mehr zu verhindernden Umkippen geeignete Schutzmaßnahmen für den Fahrzeugführer und das Baugerät bzw. in der Umgebung befindliche, zu schützende Personen und Sachwerte vorzunehmen. Dazu ist es erforderlich, dass die relevante Umgebung des Baugeräts kontinuierlich durch eine geeignete Sensorik, beispielsweise mit bildgebenden Verfahren, deren Daten einer Erkennungssoftware zugeführt werden, zu überwachen. Dabei können Menschen, Bauwerke, Hindernisse und andere Baugeräte erfasst werden. Entsprechend kann bei einer Feststellung eines Umsturzes im Rahmen des Möglichen ein Personenschaden verhindert und ein unvermeidbarer materieller Schaden minimiert werden.

[0044] Dadurch, dass die Sensorsignale in hoher Abtastrate von der Auswerteeinheit 3 abgefragt werden und stets der momentane Systemzustand und auch die jeweils gemessene Neigung zur vertikalen Achse Z aktualisiert werden und auch der zeitliche Verlauf der Neigungsänderung in der Auswerteeinheit 3 betrachtet wird, können Sicherheitshinweise über die Steuereinheit 4 an den in der Fahrerkabine 14 sitzenden Baugerätfahrer ausgesendet und/oder aktiv Maßnahmen von der Steuereinheit 4 ausgeführt werden.

[0045] Wie in Fig. 3 dargestellt, könnte beispielsweise beim ständigen Vergleich der aktuellen Neigung mit dem stets neu berechneten kritischen Kippwinkel zum jeweiligen Systemzustand eine erste optische und akustische Warnung an den Baugerätfahrer bei 50 % des kritischen Kippwinkels gemäß A (1 im Kreis) gesendet werden. Bei Erreichen von 75 % des kritischen Kippwinkels gemäß B (2 im Kreis) in Fig. 3, wird dann beispielsweise über die Steuereinheit 4 neben einer optisch und akustischen Warnung an den Baugerätfahrer eine Veränderung des Systemzustandes des Baugeräts zur Entlastung in Kipprichtung angesteuert, um der Gefahr eines Umstürzens des Baugeräts 1 aktiv entgegen zu wirken. Bei dennoch zunehmender Annäherung an den kritischen Kipp-

winkel erfolgt beispielsweise bei 90 % des kritischen Kippwinkels gemäß C (3 im Kreis) in Fig. 3 ein sofortiges Absetzen des Arbeitsgeräts 13 oder ein schnelles Ausfahren von Sicherheitsstützen, um eine deutliche Entlastung des Kippmoments durch Veränderung des Gerätschwerpunkts bzw. Vergrößerung der Lasteinleitung in den Baugrund zu erreichen.

[0046] Kann diese Maßnahme nicht durchgeführt werden oder führt sie nicht zum gewünschten Erfolg und wird nach Überschreiten des kritischen Kippwinkels (Point of no return) und/oder bei Vergleich der Neigungsrate gemäß Fig. 4 durch ein mitlaufendes, rückblickendes Zeitfenster ein nicht mehr aufzuhaltendes Umkippen des Baugeräts festgestellt, werden über die Steuereinheit 4 sofortige Schutzmaßnahmen eingeleitet. Beispielsweise das Auslösen von Airbags in der Fahrerkabine 14 und/oder Gurtstraffern sowie Ausdrehen der Fahrerkabine 14 aus einem kritischen Aufprallbereich zur Vermeidung von Personenschäden. Ferner können automatische Maßnahmen zur Reduzierung der Materialschäden eingeleitet werden, beispielsweise automatisches Neigen des Arbeitsgeräts, Drehen des Oberwagens oder Verfahren des Baugeräts, quasi von einem Fahrsicherheitsassistenten eingeleitet werden.

[0047] Somit wird erfindungsgemäß ein Umsturzversagen von einem Baugerät 1 mit hohem Schwerpunkt, wie einem Bohrgerät oder Rammgerät 13 durch dynamische Messwernerfassung über die Sensoren 2, nämlich Neigungssensor 21 und Lagesensor 22 erkannt. Dafür wird sowohl der Systemzustand in einem Fahrzeugmodell wie auch der Boden in einem Planummodell unter Berücksichtigung der momentanen Neigung und des Neigungsverlaufs für eine Auswertung und Regelung durch die Auswerteeinheit 3 und Steuereinheit 4 erfasst, so dass umgehend Sicherheitsmaßnahmen, ggf. automatisch, getroffen werden können, um Menschenleben und Sachwerte zu schützen. Dabei werden bei der dynamischen Messwernerfassung mit hoher Abtastrate die momentane Neigung des Baugeräts 1 und die zeitliche Änderung der Neigung überwacht. Hierfür erfolgt eine Differentiation der Neigungsmesswerte, nämlich Ausführen der ersten und ggf. zweiten Zeitableitung des Messsignals, wobei der Verlust der Lagesicherheit beim Vergleich der Messsignale und abgeleiteten Messsignale bei einem bestimmten kritischen Bewegungsmuster (quasi einem kritischen "Fingerabdruck") detektiert wird.

[0048] Dabei können kritische Bewegungsmuster durch Modellrechnungen, empirische Ermittlung oder gesammelten Daten von echten Unfällen vorbestimmt werden und als Zeitreihe von Neigungsdaten, Neigungsdaten oder Neigungsbeschleunigungen abgelegt werden, wobei dann die tatsächlich gemessenen Neigungsdaten, ggf. deren erste zeitliche Ableitung oder deren zweite zeitliche Ableitung über ein mitlaufendes Zeitfenster mit diesen vorbestimmten kritischen Bewegungsmustern verglichen werden. Dies kann über mitlaufende Zeitfenster, die vom momentanen Zeitpunkt rückblickend einen Zeitraum von beispielsweise 0,1 bis 10 Sekunden,

insbesondere 0,3 bis 3 Sekunden betrachten, durch entsprechende digitale Signalverarbeitung mittels Zeitreihenvergleich, Filtermethoden und/oder Dekonvolution durchgeführt werden. Wichtig ist dabei, dass das rückblickende Zeitfenster kurz genug ist, um noch ausreichende Schutzmaßnahmen vor dem Umstürzen des Baugerätes durchführen zu können, wobei für die Zeitdauer bis zum Aufprall bei einem Umsturz eines Baugerätes durchaus mehrere Sekunden abhängig von den Systemabmessungen des Baugeräts mit Arbeitsgerät und insbesondere seiner Schwerpunktlage anzusetzen sind. Andererseits muss das Fenster ausreichend lang sein, um die entsprechenden kritischen Bewegungsmuster von unkritischen Bewegungsmustern unterscheiden zu können. Für diese Unterscheidung kann auch das mit Planum- und Fahrzeugmodell prädiktiv berechnete Bewegungsverhalten herangezogen werden.

[0049] Je nach erkanntem Zustand können dann abgestuft entsprechende Sicherungsmaßnahmen ausgelöst werden. Zunächst reichen Warntöne und Warnleuchten in der Fahrerkabine, um den Baugerätfahrer zu warnen. In einer nächsten Stufe könnten automatische, situationsabhängige Veränderungen mittels Fahrsicherheitsassistent an dem Systemzustand des Baugeräts, beispielsweise Veränderung der Neigung des Anbaugeräts, Ansteuerung des Fahrwerks zum Verfahren des gesamten Baugeräts, Ansteuerung des Drehkranses zwischen Ober- und Unterwagen und ggf. Ausklappen von ergänzenden Sicherheitsstützen ausgelöst werden. Bei einer Detektion des typischen "Fingerabdrucks" eines Umkippen sind dann sofort die Arbeitsabläufe zu unterbrechen und Sicherheitsmaßnahmen zu aktivieren, die über die Steuereinheit 4 anhand der in der Auswerteeinheit 3 durchgeführten Analyse der Messdaten das Baugerät durch Rausdrehen der Fahrerkabine aus dem unmittelbaren Gefahrenbereich und Auslösen von Gurtstraffer und Fahrerairbags sowie etwaigen Schutzmaßnahmen für das Baugerät selbst und deren Umgebung so beeinflussen, dass das Baugerät mit möglichst geringem Schaden und möglichst ohne Gefährdung von Menschen umstürzen kann.

[0050] Somit bietet das erfindungsgemäße System bzw. Verfahren eine Hilfe für Baugerätfahrer zur Unterstützung seiner Tätigkeit, zum Schutz des Baugerätfahrers und insbesondere zur Vermeidung schwerer Umstürze.

Bezugszeichenliste

[0051]

- | | |
|----|-------------------------|
| 1 | Baugerät |
| 10 | Kettenfahrwerk |
| 11 | Unterwagen |
| 12 | Oberwagen |
| 13 | Arbeitsgerät, Rammgerät |
| 14 | Fahrerkabine |

- | | | |
|----|-----------------|--|
| 2 | Sensor | |
| 21 | Neigungssensor | |
| 22 | Lagesensor | |
| 5 | 3 | Auswerteeinheit |
| 31 | Filter | |
| 4 | Steuereinheit | |
| 10 | A | erster kritischer Kippwinkel (1 im Kreis) |
| | B | zweiter kritischer Kippwinkel (2 im Kreis) |
| | C | dritter kritischer Kippwinkel (3 im Kreis) |
| Z | vertikale Achse | |

15

Patentansprüche

1. Baugerätstandsicherungsverfahren für ein auf einem nachgiebigen Planum stehendes oder fahrendes Baugerät (1), wobei

20

- das Baugerät (1) Arbeitsgeräte (13) und Bauteile aufweist, die zueinander verstellbar sind und einen erfassbaren, veränderlichen Systemzustand bilden, und
- eine kontinuierliche oder mit hoher Abtastrate abgetastete Messung der Neigung des Baugeräts (1) erfolgt,

25

30

gekennzeichnet durch die Schritte

- Erstellung eines Planummodells, mit dem die Nachgiebigkeit des Planums bei Belastung vorausberechnet werden kann;
- Berechnen der Belastung des Planums zum jeweiligen Systemzustand des Baugeräts (1);
- Vorausberechnung einer prädiktiven Neigung des Baugerätes (1) unter Berücksichtigung des Systemzustandes und des Planummodells;
- Vergleich der prädiktiven Neigung des Baugerätes (1) mit der aktuell gemessenen Neigung des Baugeräts (1) und iterative Anpassung des Planummodells zur Minimierung der Differenz zwischen prädiktiver Neigung und gemessener Neigung;
- Vergleichen der prädiktiven Neigung zum jeweiligen Systemzustand unter Berücksichtigung des Planummodells mit einem vorgegebenen Kippkriterium und
- Auslösen von Sicherungsmaßnahmen bei Erreichen des Kippkriteriums.

35

40

45

50

2. Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Systemzustand des Baugeräts (1) als Fahrzeugmodell mit verschiedenen, gekoppelten Massenpunkten simuliert wird.

55

3. Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** äußere Lasten, nämlich am Baugerät angreifende Windlasten und/oder am Baugerät anhaftender Boden im Fahrzeugmodell berücksichtigt werden. 5
4. Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fahrzeugmodell Veränderungen am Systemzustand des Baugeräts (1) sowie bei den äußeren Lasten dynamisch berücksichtigt. 10
5. Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Kontaktmodell zwischen Fahrzeugmodell und Planummodell die gegenseitige Beeinflussung simuliert. 15
6. Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Voraberechnung der prädiktiven Neigung des Baugerätes (1) das Fahrzeugmodell und das Planummodell berücksichtigt werden, wobei die prädiktive Neigung des Baugerätes (1) mit der aktuell gemessenen Neigung des Baugeräts (1) verglichen wird und eine iterative Anpassung des Planummodells und des Fahrzeugmodells zur Minimierung der Differenz zwischen prädiktiver Neigung und gemessener Neigung erfolgt. 20
25
30
7. Baugerätstandsicherungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kippkriterium ein zum jeweiligen Systemzustand passender, kritischer Kippwinkel berechnet wird, der mit der prädiktiven Neigung verglichen wird. 35
8. Baugerätstandsicherungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Daten der Neigungsmessung und/oder die Daten der prädiktiven Neigung mit vorher bestimmten, kritischen Bewegungsmustern verglichen werden, wobei bei einer Übereinstimmung die Sicherungsmaßnahmen ausgelöst werden. 40
45
9. Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das vorher bestimmte, kritische Bewegungsmuster eine Zeitreihe von Neigungsdaten, Neigungsdaten oder Neigungsbeschleunigungen ist, das mit den jeweiligen Messdaten, deren erster zeitlichen Ableitung oder deren zweiter zeitlichen Ableitung über ein mitlaufendes Zeitfenster verglichen wird. 50
10. Baugerätstandsicherungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Neigungsmessdaten zur Dämpfung und/oder Glättung gefiltert werden. 55
11. Baugerätstandsicherungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umgebung um das Baugerät (1) mit Erkennungssensorik überwacht wird.
12. Baugerätstandsicherungssystem mit einem auf einem nachgiebigen Planum stehenden oder fahrenden Baugerät (1), das Arbeitsgeräte (13) und Bauteile aufweist, die zueinander verstellbar sind und einen erfassbaren, veränderlichen Systemzustand bilden, und wenigstens einem Neigungssensor (21), **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Auswerteeinheit (3) sowie eine Steuereinheit (4) vorgesehen sind, wobei
- die Auswerteeinheit (3) ein Planummodell enthält, mit dem die Nachgiebigkeit des Planums bei Belastung vorausberechnet werden kann, und vom Neigungssensor (21) gemessene Neigungsdaten unter Berücksichtigung des jeweiligen Systemzustandes gemäß dem Baugerätstandsicherungsverfahren nach Anspruch 1 ausgewertet und mit vorbestimmten Grenzwerten vergleicht und
 - die Steuereinheit (4) von der Auswerteeinheit (3) bei Überschreiten der Grenzwerte zum Verändern des Systemzustandes zur Entlastung des Baugeräts (1) in Kipprichtung angesteuert wird.
13. Baugerätstandsicherungssystem nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Baugerät (1) einen selbstfahrenden Unterwagen (11) mit einem Kettenfahrwerk (10) und darauf drehbar angeordnet einen Oberwagen (12) mit wenigstens einem Arbeitsgerät (13) hat.
14. Baugerätstandsicherungssystem nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsgerät (13) am Oberwagen (12) ein Bohrgerät oder Rammgerät (13) ist.
15. Baugerätstandsicherungssystem nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** System Sensoren am Baugerät, seinen Arbeitsgeräten und Bauteilen zur Erfassung des Systemzustandes vorgesehen sind, wobei ein erster Neigungssensor im Unterwagen (11) und ein zweiter Neigungssensor im Oberwagen (12) angeordnet sind.

Claims

1. A construction equipment stabilization method for an item (1) of construction equipment standing or travelling on a yielding subgrade, wherein
- the item (1) of construction equipment has im-

plements (13) and component parts which are adjustable relative to one another and form an ascertainable, variable system state, and
 - measurement of the inclination of the item (1) of construction equipment takes place, in a continuous manner or through sampling with a high sampling rate,

characterized by the steps

- preparation of a subgrade model with which the yieldingness of the subgrade when loaded can be precalculated;
 - calculation of the loading of the subgrade for the particular system state of the item (1) of construction equipment;
 - precalculation of a predictive inclination of the item (1) of construction equipment, taking into account the system state and the subgrade model;
 - comparison of the predictive inclination of the item (1) of construction equipment with the currently measured inclination of the item (1) of construction equipment and iterative adaptation of the subgrade model in order to minimize the difference between predictive inclination and measured inclination;
 - comparison of the predictive inclination for the particular system state, taking into account the subgrade model, with a predetermined tilt criterion and
 - triggering of safety measures when the tilt criterion is reached.
2. A construction equipment stabilization method according to claim 1, **characterized in that** the system state of the item (1) of construction equipment is simulated as a vehicle model with different coupled point masses.
 3. A construction equipment stabilization method according to claim 2, **characterized in that** external loads, namely wind loads acting on the item of construction equipment and/or ground adhering to the item of construction equipment, are taken into account in the vehicle model.
 4. A construction equipment stabilization method according to claim 3, **characterized in that** the vehicle model dynamically takes into account variations in the system state of the item (1) of construction equipment as well as variations in the external loads.
 5. A construction equipment stabilization method according to claim 2, 3 or 4, **characterized in that** a contact model between vehicle model and subgrade model simulates the reciprocal influencing.

6. A construction equipment stabilization method according to claim 5, **characterized in that** the vehicle model and the subgrade model are taken into account upon precalculation of the predictive inclination of the item (1) of construction equipment, wherein the predictive inclination of the item (1) of construction equipment is compared with the currently measured inclination of the item (1) of construction equipment and an iterative adaptation of the subgrade model and the vehicle model takes place in order to minimize the difference between predictive inclination and measured inclination.
7. A construction equipment stabilization method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** as a tilt criterion there is calculated a critical tilt angle, matching the particular system state, which is compared with the predictive inclination.
8. A construction equipment stabilization method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the data of the inclination measurement and/or the data of the predictive inclination is/are compared with previously determined, critical motion patterns, whereby the safety measures are triggered in the event of correspondence.
9. A construction equipment stabilization method according to claim 8, **characterized in that** the previously determined, critical motion pattern is a time series of inclination data, inclination rates or inclination accelerations, which is compared via a concurrent time window with the particular measurement data, its first derivative with respect to time or its second derivative with respect to time.
10. A construction equipment stabilization method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the inclination measurement data are filtered for damping and/or smoothing.
11. A construction equipment stabilization method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the environment around the item (1) of construction equipment is monitored using a detection sensor system.
12. A construction equipment stabilization system having an item (1) of construction equipment, which is standing or travelling on yielding subgrade and which has implements (13) and component parts which are adjustable relative to one another and which form an ascertainable, variable system state, and at least one inclination sensor (21), **characterized in that** an evaluation unit (3) as well as a control unit (4) are provided, wherein

- the evaluation unit (3) includes a subgrade model, with which the yieldingness of the subgrade when loaded can be precalculated, and inclination data measured by the inclination sensor (21) is, taking into account the particular system state, evaluated and compared with predetermined boundary values according to the construction equipment stabilization method according to claim 1 and
- when the boundary values are exceeded, the evaluation unit (3) triggers the control unit (4) to change the system state to unload the item of construction equipment (1) in the tilt direction.
13. A construction equipment stabilization system according to claim 12, **characterized in that** the item (1) of construction equipment has a self-propelled undercarriage (11) with a crawler track (10) and, rotatably mounted thereon, a superstructure (12) with at least one implement (13).
14. A construction equipment stabilization system according to claim 13, **characterized in that** the implement (13) on the superstructure (12) is a drilling apparatus or pile-driver (13).
15. A construction equipment stabilization system according to claim 13 or 14, **characterized in that** system sensors are provided on the item of construction equipment, its implements and component parts for ascertaining the system state, whereby a first inclination sensor is arranged in the undercarriage (11) and a second inclination sensor is arranged in the superstructure (12).
- Calcul prévisionnel d'une inclinaison prédictive de l'engin de chantier (1) en tenant compte de l'état du système et du modèle du sol ;
- Comparaison de l'inclinaison prédictive de l'engin de chantier (1) à l'inclinaison de l'engin de chantier (1) actuellement mesurée et adaptation itérative du modèle du sol pour minimiser la différence entre l'inclinaison prédictive et l'inclinaison mesurée ;
- Comparaison de l'inclinaison prédictive pour l'état du système considéré en tenant compte du modèle du sol à un critère de basculement donné ; et
- Déclenchement de mesures de sécurité lorsque le critère de basculement est atteint.
2. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'état du système de l'engin de chantier (1) est simulé sous la forme d'un modèle du véhicule avec différents points de masse couplés.
3. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** des charges externes, à savoir des charges dues au vent agissant sur l'engin de chantier et/ou de la matière du sol adhérent à l'engin de chantier, sont prises en compte dans le modèle du véhicule.
4. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le modèle du véhicule tient compte de façon dynamique de modifications de l'état du système de l'engin de chantier (1) et des charges externes.
5. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 2, 3 ou 4, **caractérisé en ce qu'un** modèle de contact entre le modèle du véhicule et le modèle du sol simule l'influence mutuelle.
6. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le modèle du véhicule et le modèle du sol sont pris en compte dans le calcul prévisionnel de l'inclinaison prédictive de l'engin de chantier (1), l'inclinaison prédictive de l'engin de chantier (1) étant comparée à l'inclinaison de l'engin de chantier (1) actuellement mesurée et une adaptation itérative du modèle du sol et du modèle du véhicule étant réalisée pour minimiser la différence entre l'inclinaison prédictive et l'inclinaison mesurée.
7. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** angle de basculement critique adapté à l'état du système considéré est calculé en tant que critère de basculement et il est comparé à l'inclinaison prédictive.

Revendications

1. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier destiné à un engin de chantier (1) à l'arrêt ou en déplacement sur un sol instable (1), procédé dans lequel
- l'engin de chantier (1) est muni d'outils de travail (13) et de composants qui peuvent être déplacés les uns par rapport aux autres et qui forment un état du système variable pouvant être détecté, et
- l'inclinaison de l'engin de chantier (1) est mesurée en continu ou à une fréquence d'échantillonnage élevée,
- caractérisé par** les étapes
- Établissement d'un modèle du sol avec lequel l'instabilité du sol sous charge peut être prédite ;
- Calcul de la charge appliquée au sol en fonction de l'état du système considéré de l'engin de chantier (1) ;

8. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les données de la mesure d'inclinaison et/ou les données de l'inclinaison prédictive sont comparées à des modèles de mouvements critiques prédéterminés, les mesures de sécurité étant déclenchées en cas de correspondance. 5
9. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le modèle de mouvement critique déterminé préalablement est une série temporelle de données d'inclinaison, de vitesse d'inclinaison ou d'accélération d'inclinaison qui est comparée aux données de mesure considérées, à leur dérivée première par rapport au temps ou à leur dérivée seconde par rapport au temps sur une fenêtre de temps simultanée. 10
10. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les données de mesure d'inclinaison sont filtrées en vue d'un amortissement et/ou d'un lissage. 15
11. Procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'environnement situé autour de l'engin de chantier (1) est surveillé par des capteurs de détection. 20
12. Système de stabilisation d'un engin de chantier comprenant un engin de chantier (1) à l'arrêt ou en déplacement sur un sol instable et qui est muni d'outils de travail (13) et de composants qui peuvent être déplacés les uns par rapport aux autres et qui forment un état du système variable pouvant être détecté, et comprenant au moins un capteur d'inclinaison (21), **caractérisé en ce que** une unité d'exploitation (3) et une unité de contrôle (4) sont prévues, procédé dans lequel 25
- l'unité d'exploitation (3) contient un modèle du sol avec lequel l'instabilité du sol sous charge peut être prédite, et évaluée, conformément au procédé de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 1, des données d'inclinaison mesurées par le capteur d'inclinaison (21) en tenant compte de l'état du système considéré, et les compare à des valeurs limites prédéterminées, et 30
- l'unité de contrôle (4) est actionnée par l'unité d'exploitation (3) en cas de dépassement des valeurs limites pour modifier l'état du système afin de décharger l'engin de chantier (1) dans le sens de basculement. 35
13. Système de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'en- 40
- gin de chantier (1) comprend un châssis inférieur automoteur (11) avec un train de roulement à chenilles (10) et, placée pivotante dessus, une tourelle (12) avec au moins un outil de travail (13). 45
14. Système de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** l'outil de travail (13) sur la tourelle (12) est un outil de forage ou de battage (13). 50
15. Système de stabilisation d'un engin de chantier selon la revendication 13 ou 14, **caractérisé en ce que** des capteurs de système sont disposés sur l'engin de chantier, ses outils de travail et ses composants pour détecter l'état du système, un premier capteur d'inclinaison étant disposé dans le châssis inférieur (11) et un second capteur d'inclinaison dans la tourelle (12). 55

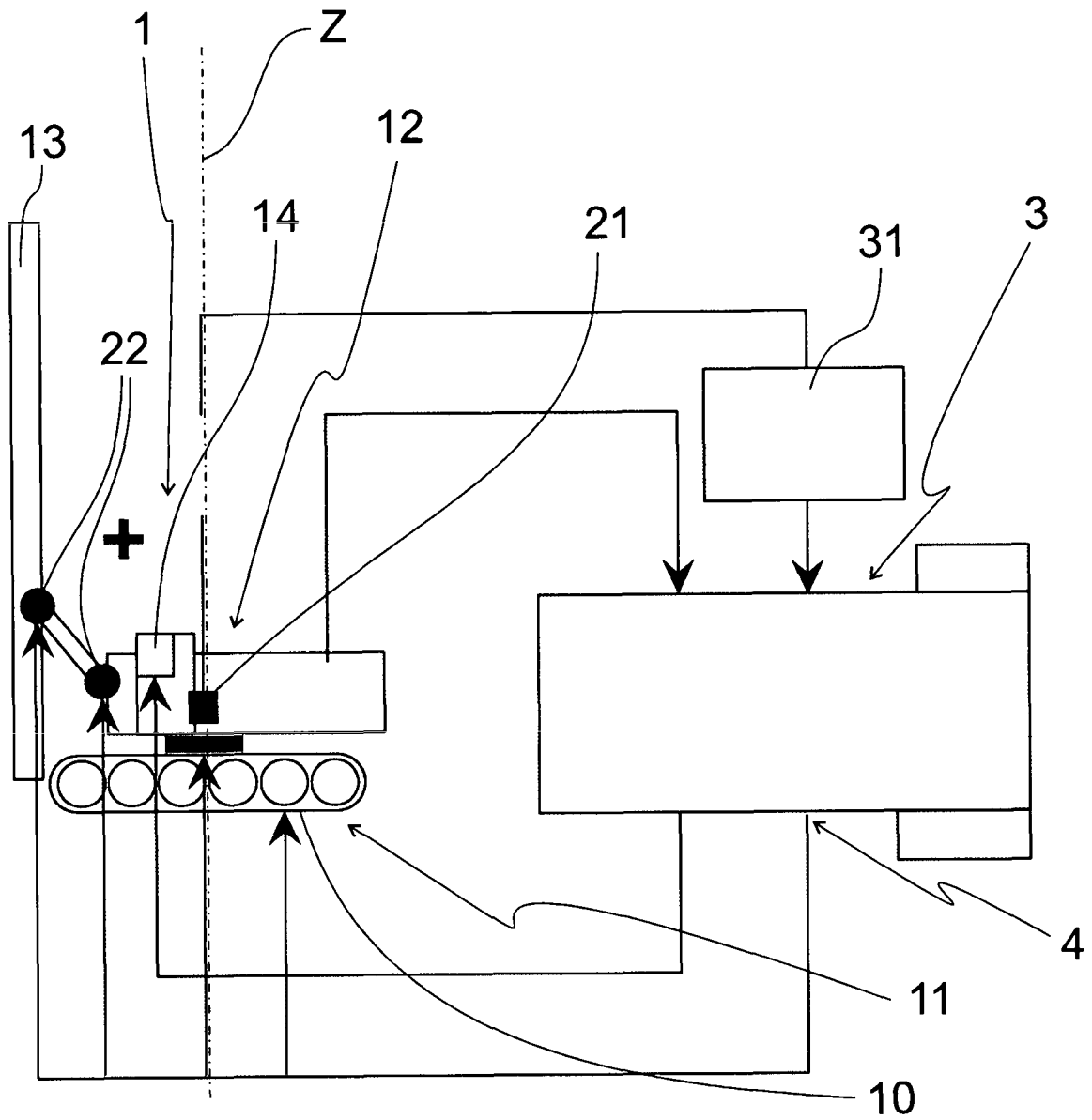


Fig. 1

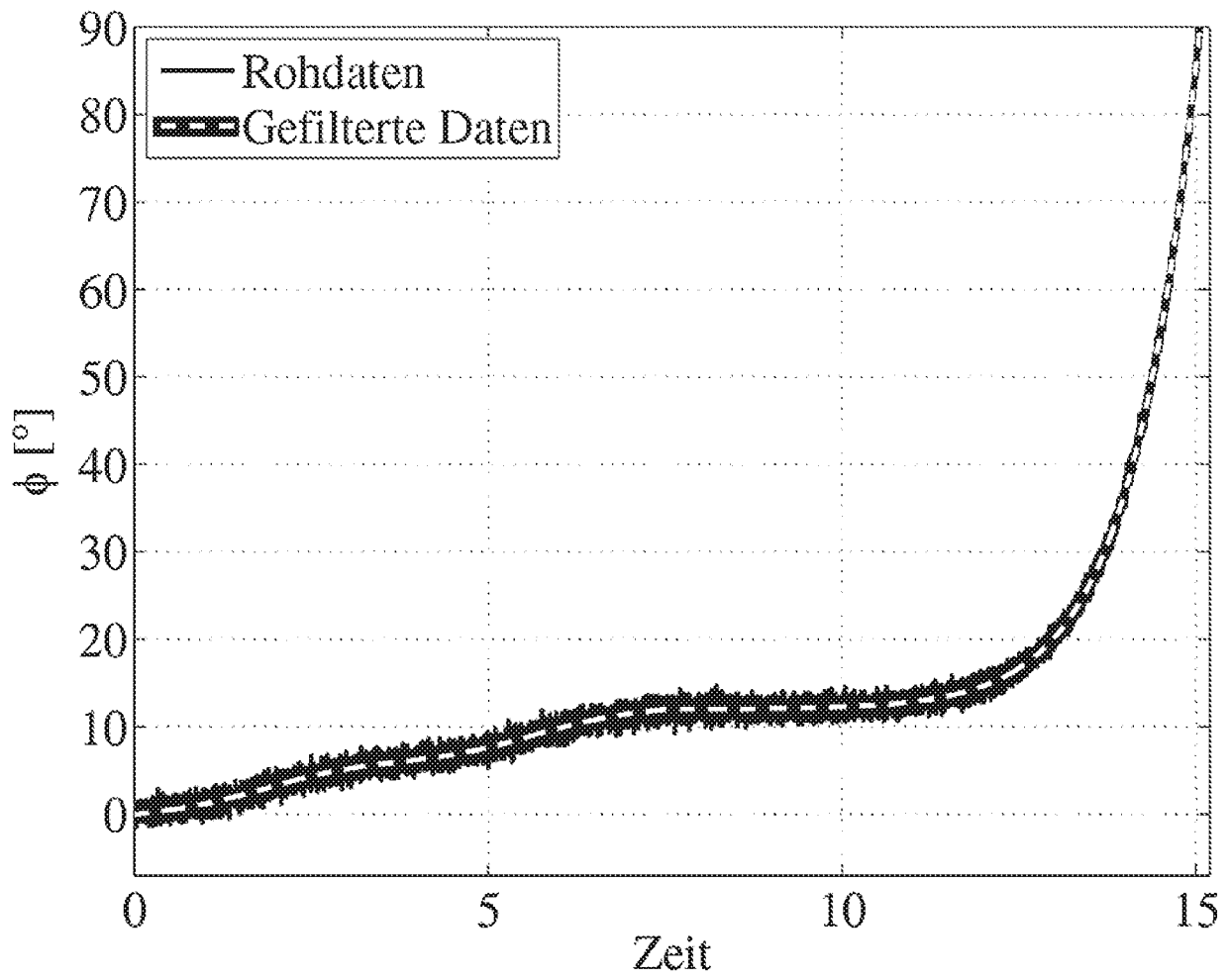


Fig. 2

Fig. 3

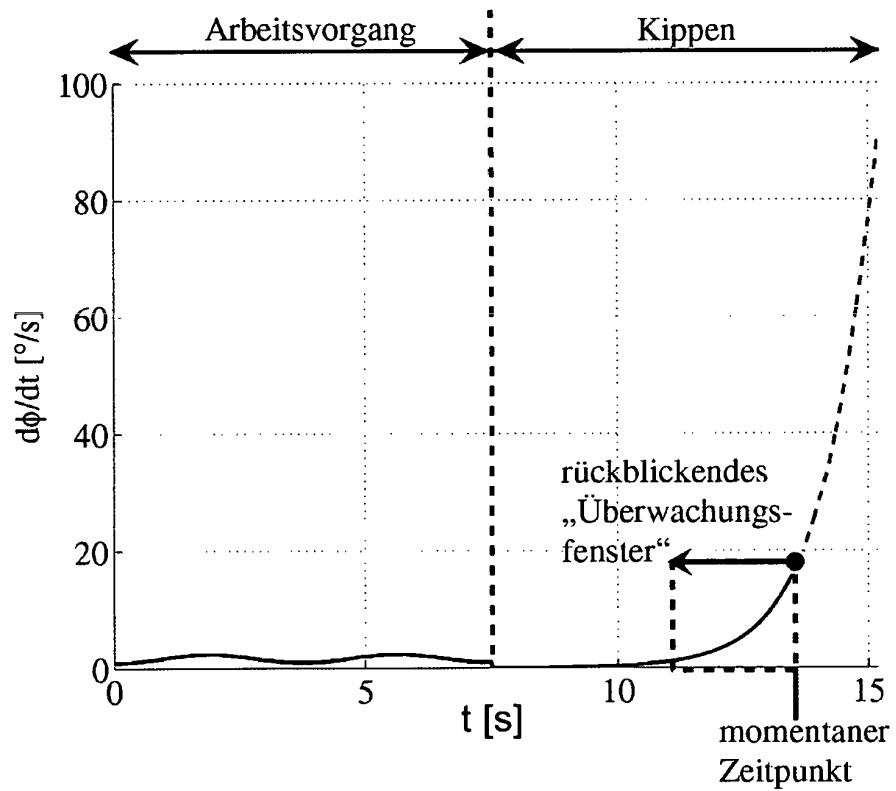
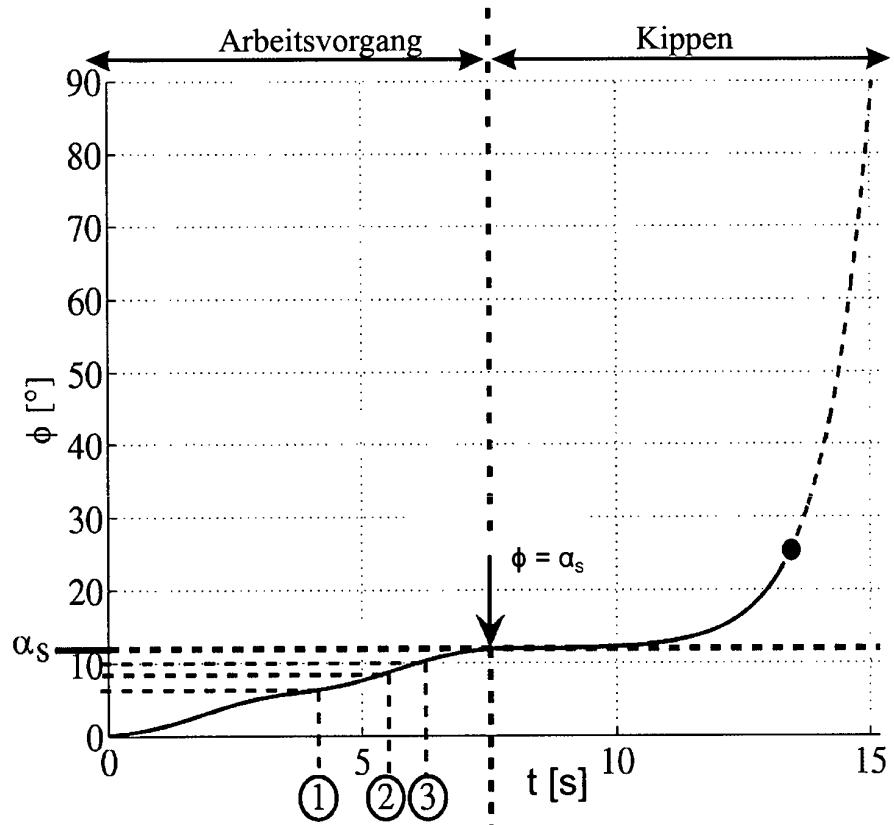


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102007008881 A1 **[0003]**
- DE 2343941 A1 **[0004]**
- DE 10320382 A1 **[0005]**
- DE 102010012888 A1 **[0007]**
- DE 102008009002 B4 **[0008]**
- EP 2060530 A1 **[0009]**
- US 8548689 B2 **[0010]**
- US 2002059320 A1 **[0011]**
- DE 20206677 U1 **[0012]**