



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.11.2018 Patentblatt 2018/45

(51) Int Cl.:
E02D 3/074^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18170921.3**

(22) Anmeldetag: **04.05.2018**

(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

(71) Anmelder: **Ammann Schweiz AG**
4901 Langenthal (CH)

(72) Erfinder:
 • **Malaschewski, Armin**
56581 Ehlscheid (DE)
 • **Pinkert, Mirco**
53783 Eitorf (DE)

(30) Priorität: **05.05.2017 DE 102017109686**

(74) Vertreter: **Schatz, Markus Franz-Josef**
Kardinal-von-Galen-Straße 8
46514 Schermbeck (DE)

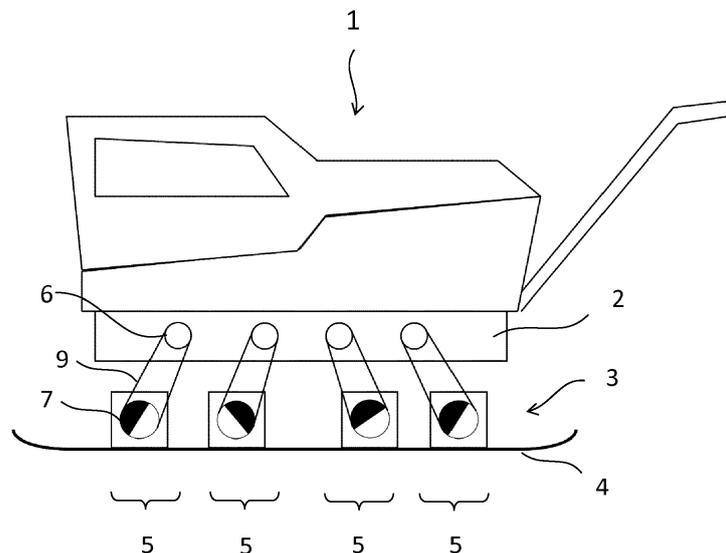
(54) **BODENVERDICHTUNGSGERÄT**

(57) Die Erfindung betrifft ein Bodenverdichtungsgerät 1 mit einem Oberwagen 2 und einem Unterwagen 3, wobei der Unterwagen 2 eine Vibrationsplatte 4 und eine Mehrzahl von Erregereinheiten 5 aufweist, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten 5 von jeweils einem Antrieb 6 jeweils individuell antreibbar ist und jeweils zumindest einen Vibrationserreger aufweist, welcher mit einer Messeinrichtung 8 zur Erfassung seiner Phasenlage verbunden ist, und die Phasenlage einer Steuer-/Rege-

leinrichtung 14 zuführbar ist.

Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass einzelne Vibrationserreger jeweils über ein elastisches Element 9, einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb 6 und die Steuer-/Regeleinrichtung 14 miteinander gekoppelt sind und die relative Phasenlage der einzelnen Vibrationserreger zueinander über die Steuer-/Regeleinrichtung 14 einstellbar und regelbar ist.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Bodenverdichtungsgerät mit einem Oberwagen und einem Unterwagen mit einer Vibrationsplatte und einer Mehrzahl von Erregereinheiten, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten von einem Antrieb jeweils individuell antreibbar ist.

Stand der Technik

[0002] Üblicherweise weisen Bodenverdichtungsgeräte mit einer Vibrationsplatte, wie beispielsweise eine Rüttelplatte, einen Verbrennungsmotor zum Antrieb von zwei gleichartigen, parallelen, über ein Getriebe starr gekoppelten und gegenläufigen Unwuchtwellen auf. Die gegensätzliche Rotation der mit gleicher Umdrehungszahl betriebenen Unwuchtwellen bewirkt, dass sich die durch die Unwuchten erzeugten Fliehkräfte in Abhängigkeit vom Phasenwinkel gegenseitig verstärken oder kompensieren. Durch eine geeignete Einstellung der jeweiligen Phasenlage der Unwuchten zueinander entsteht ein resultierender Kraftvektor, der zur Fortbewegung und/oder Verdichtung eingesetzt werden kann. Dabei weist eine Rüttelplatte zumeist eine Hydraulik zur Verstellung der Phasenlage der mechanisch miteinander gekoppelten Wellen auf. Häufig erfolgt dies mit Hilfe einer axial verschiebbaren Spiralwelle.

[0003] Da der durch Überlagerung entstehende Kraftvektor stets senkrecht zur Rotationsachse der Unwuchtwellen orientiert ist, ist die Antriebsrichtung ohne weitere Maßnahmen auf eine Vor- und Rückwärtsfahrt beschränkt.

[0004] Zur Verbesserung der Lenkeigenschaften ist aus der DE 10 2006 000786A1 ein Plattenverdichter bekannt, der eine Vielzahl von Erregereinheiten zur Ausbildung eines Kraftvektors aufweist, wobei die einzelnen Erregereinheiten beispielsweise nach zuvor beschriebenen Prinzip arbeiten. Die Vielzahl der Erregereinheiten erlaubt dabei unter anderem auch die Ausbildung von Kraftvektoren, die in seitlicher Richtung wirken. Dabei erhöht jedoch die Vielzahl der Erregereinheiten die mechanische Komplexität erheblich.

[0005] Ferner beschreibt die DE 10 2005 029434 A1 einen Betrieb einer Vibrationsplatte mit einer Vielzahl von Einzelerregern. Diese sind individuell ansteuerbar und werden von auf der Vibrationsplatte befindlichen Hydraulikmotoren betrieben. Dabei sind allerdings die auf der Vibrationsplatte angeordneten Hydraulikmotoren aufwendig und zudem sehr hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe einer kostengünstigen und zugleich zuverlässigen Lösung für ein komfortables Bodenverdichtungsgerät mit einer fein abstimmbaren und präzisen Lenkung, die eine bequeme Steuerung des Bodenverdichtungsgerätes in

jede Richtung der Plattenebene erlaubt.

[0007] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Erfindungsgemäß vorgesehen ist ein Bodenverdichtungsgerät mit einem Oberwagen und einem Unterwagen, wobei der Unterwagen eine Vibrationsplatte und eine Mehrzahl von Erregereinheiten aufweist, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten von jeweils einem Antrieb jeweils individuell antreibbar ist und jeweils zumindest einen Vibrationserreger aufweist, welcher mit einer Messeinrichtung zur Erfassung seiner Phasenlage verbunden ist, wobei die Phasenlage einer Steuer-/Regeleinrichtung zuführbar ist, und wobei einzelne Vibrationserreger jeweils über ein elastisches Element, einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb und die Steuer-/Regeleinrichtung miteinander gekoppelt sind und die relative Phasenlage der einzelnen Vibrationserreger zueinander über die Steuer-/Regeleinrichtung einstellbar ist.

[0009] Zumindest zwei der Erregereinheiten sind von jeweils einem Antrieb jeweils individuell antreibbar und weisen jeweils zumindest einen Vibrationserreger auf. Dabei kann eine Erregereinheit einen oder zwei gegenläufige, mit einander gekoppelte Vibrationserreger aufweisen. Ein Vibrationserreger kann beispielsweise aus einer Unwuchtwellen und einer rotierenden Unwucht oder einem Oszillator mit einer oszillierenden Masse bestehen. Vorteilhaft weist eine Erregereinheit genau einen Vibrationserreger mit einer Unwuchtwellen und einer rotierenden Unwucht auf.

[0010] Weiterhin kann die Steuer-/Regeleinheit vorteilhaft aus einer übergeordneten Steuereinrichtung und mehreren von der Steuereinrichtung gesteuerten Regeleinrichtungen bestehen, wobei jeweils ein mit einer Messeinrichtung verbundener Vibrationserreger jeweils eine Regeleinrichtung aufweist und die von den jeweiligen Messeinrichtungen erfassbaren Phasenlagen den jeweiligen Regeleinrichtungen zuführbar sind. Bei dieser Ausgestaltung weist jeder Vibrationserreger einen eigenen Regelkreis zur Regelung seiner Phasenlage auf, welche der jeweiligen Regeleinrichtung als Führungsgröße vorgebar ist. Die Phasenlage von zumindest zwei Vibrationserregern zueinander ist elektrisch veränderbar. Die Veränderung der Phasenlage zumindest eines einzelnen Vibrationserregers ist relativ zu der Phasenlage eines anderen oder weiterer Vibrationserreger durch die Änderung seiner Soll-Phasenlage als Führungsgröße änderbar. Die Soll-Phasenlage ist von der Steuerungseinrichtung, beispielsweise als Ergebnis der Umsetzung eines der Steuereinrichtung zugeführten Lenkbefehls vorgebar.

Die Vibrationserreger sind jeweils über ein elastisches Element mit dem jeweiligen elektrischen Antrieb verbunden. Eine Abweichung einer Ist-Phasenlage von einer Soll-Phasenlage aufgrund der elastischen Verbindung ist durch die Regeleinrichtung kompensierbar. Eine

Kopplung der Phasenlage zwischen zwei Vibrationserregern ist über zumindest ein elastisches Element gegeben und die Phasenlage zumindest eines der über ein elastisches Element gekoppelten Vibrationserreger ist über eine Regeleinrichtung regelbar. Eine derartige Struktur ermöglicht einen einfachen und modularen Aufbau der Steuer-/Regeleinheit.

[0011] Mit anderen Worten ist beispielhaft ein Bodenverdichtungsgerät vorgesehen, dessen Vibrationsplatte eine Mehrzahl von elektrisch angetriebenen und elektrisch regelbaren Erregereinheiten aufweist. Dabei sind zum Beispiel die elektrischen Antriebe alle jeweils über ein elastisches Element mit den jeweiligen Vibrationserregern verbunden.

[0012] Eine derartige Anordnung weist mehrere Vorteile auf. Die Anordnung einer Mehrzahl von Erregereinheiten auf der Vibrationsplatte bietet die Möglichkeit, diese in verschiedenen Ausrichtungen anzuordnen und durch entsprechende Ansteuerung Kraftvektoren in jede Richtung zu generieren. Dabei können unterschiedliche Anzahlen baugleicher Erregereinheiten zum einen zur modularen Herstellung von Bodenverdichtungsgeräten unterschiedlicher Gewichtsklasse verwendet werden, und/oder zum anderen kann durch eine Verteilung ihrer Ausrichtungen auf der Vibrationsplatte, beispielsweise durch eine Verteilung der Ausrichtung entsprechend der Verteilung einer Intensität von Bewegungsrichtungen, eine Optimierung des Lenkungsvermögens erreicht werden.

[0013] Desweiteren bietet die Verwendung elektrischer Antriebe den Vorteil, dass elektrische Zuleitungen im Vergleich zu anderen Zuleitungen wie beispielsweise Hydraulikschläuchen, eine sehr gute Dauerschwingfestigkeit aufweisen und somit verschleißfester sind.

[0014] Weiterhin bietet die Verwendung eines elastischen Elements zwischen dem Antrieb, bzw. dessen Antriebswelle und der Unwuchtwelle den Vorteil, dass es dämpfend wirkt und Schwingungen der Unwuchtwelle weniger stark auf die elektrischen Antriebe einwirken.

[0015] Dabei kann der gegenüber den herkömmlichen Erregern eintretende Verlust der starren Kopplung zwischen den Unwuchtwellen durch eine schnell ansprechende, präzise elektrische Regelung zumindest teilweise kompensiert werden.

[0016] Erfindungsgemäß ist dazu die Phasenlage zumindest einer der über ein elastisches Element gekoppelten Unwuchtwellen oder Oszillatoren über eine Regeleinrichtung regelbar.

[0017] Eine Erregereinheit weist eine mit dem Vibrationserreger verbundene Messeinrichtung zur Erfassung der Phasenlage des Vibrationserregers auf. Ist dieser in Form einer Unwuchtwelle ausgebildet, ist die Phasenlage von der Messeinrichtung durch die Messung des Phasenwinkels erfassbar.

[0018] Die Messeinrichtung ist in der Lage, den Phasenwinkel der Unwucht im Bezug auf eine Nullstellung, beispielsweise der gravitationsbedingten Ruhestellung im Freilauf, zu erfassen und als Phasenlage an die Re-

geleinrichtung weiterzugeben. Die Regeleinrichtung ist eingerichtet, die Stellgrößen des Antriebs zur Erreichung einer Soll-Phasenlage einzustellen. Damit ist sie in der Lage, die Phasenlage zwischen zwei Unwuchtwellen oder Oszillatoren zu verändern, bzw. eine vorgebbare Phasenlage einzustellen. Vorteilhaft ist zumindest einem Teil der Erregereinheiten jeweils individuell eine Regeleinrichtung zugeordnet. Durch eine übergeordnete Steuereinrichtung können den individuell zugeordneten Regeleinrichtungen ihre jeweilige Soll-Phasenlage als Führungsgröße vorgegeben werden

[0019] Der Antrieb ist elektrisch ausgeführt. Ebenso weist die Messeinrichtung vorteilhaft einen Encoder zur digitalen Verarbeitung der Messwerte auf. Vorteilhaft stellt die Messeinrichtung der Regeleinrichtung neben der Phasenlage auch die Winkelgeschwindigkeit einer Welle zur Verfügung.

[0020] Die erfindungsgemäß vorgesehene Dämpfung der elektrischen Antriebe gegenüber der Unwuchtwelle reduziert die Anforderungen an die Belastbarkeit der elektrischen Antriebe, insbesondere ihre Vibrationsfestigkeit, und erlaubt die Verwendung vergleichsweise einfacher und preisgünstiger Komponenten.

[0021] Vorteilhaft sind die elektrischen Antriebe in dem Oberwagen angeordnet, die Vibrationserreger im Unterwagen angeordnet, und die elektrischen Antriebe im Oberwagen jeweils individuell mittels je einem elastischen Element, vorteilhaft einem Riemen, mit jeweils einem Vibrationserreger im Unterwagen verbunden.

[0022] Auf diese Weise kann die Beanspruchung der elektrischen Antriebe um etwa eine Zehnerpotenz reduziert und die Lebensdauer der elektrischen Antriebe entsprechend verlängert werden.

[0023] Vorteilhaft weisen die Erregereinheiten genau einen Vibrationserreger mit einer einzelnen Unwuchtwelle auf. Eine derartige Ausgestaltung ist wartungsarm und kostengünstig zu realisieren.

[0024] Vorteilhaft ist zumindest für einen Teil der Erregereinheiten der elektrische Antrieb als im Wesentlichen einzelner Elektromotor ausgeführt. Elektromotoren sind einfach und kostengünstig herstellbar, eine Verwendung einer Mehrzahl der gleichen Elektromotoren für die Mehrzahl der Erregereinheiten fördert durch die Verwendung gleichartiger Bauteile die Rationalisierung der Herstellung. Alternativ kann ein einzelner elektrischer Antrieb auch als elektrische Kupplung ausgebildet sein, welche ausgebildet ist, eine Antriebsenergie eines übergeordneten Antriebs partiell abzuzweigen und hinsichtlich Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit zu individualisieren.

[0025] Vorteilhaft ist der elektrische Antrieb als Schrittmotor ausgeführt. Ein Schrittmotor bietet den Vorteil, dass die Winkelstellung und somit die Phasenlage der Antriebswelle einstellbar ist und somit als bekannt angenommen werden kann. Bei einer Anordnung, bei welcher die Messeinrichtung zur Erfassung der Phasenlage, in der Wirkrichtung des Antriebs gesehen, vor dem elastischen Element direkt auf der Antriebswelle angeordnet

ist, kann ein Schrittmotor die Funktion der Messeinrichtung übernehmen. Die Ausführung einer Messeinrichtung als eigenständiges Bauteil kann in diesem Fall entfallen, die Messeinrichtung kann in diesem Fall als in den Schrittmotor integriert betrachtet werden. Desweiteren ist ein Schrittmotor vibrationsfest ausführbar.

[0026] Weiterhin vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung als PI- oder als PID-Regler ausgebildet. Die Verbindung der Unwuchtwellen mit dem elektrischen Antrieb über ein elastisches Element führt bei einer Änderung der Winkelgeschwindigkeit zu einer Energieaufnahme des elastischen Elements, welches diese Energie zeitverzögert an die Anordnung zurückgibt. In Kenntnis der Sprungantwort der Regelstrecke, bestehend aus elektrischem Antrieb, Antriebswelle, elastischem Element und Unwuchtwellen inklusive der Unwucht, ist es möglich, den elektrischen Antrieb durch eine Regeleinrichtung derart anzusteuern, dass ein Überschwingen der Unwuchtwellen reduziert oder vermieden wird. Vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung ausgebildet, ein Einschwingen einer Erregereinheit nach einer Phasen- oder Frequenzänderung zu minimieren.

[0027] Die Messeinrichtung zur Erfassung der Phasenlage kann vor dem elastischen Element auf der Antriebswelle, oder hinter dem elastischen Element auf der Unwuchtwellen angeordnet sein. Eine Anordnung der Messeinrichtung auf der Unwuchtwellen eines Vibrationserregers im Unterwagen des Bodenverdichtungsgeräts bietet den Vorteil, dass einer Regeleinrichtung die tatsächliche Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit der Unwuchtwellen zugeführt werden können.

[0028] Bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Antriebswelle ist die Messeinrichtung nur indirekt über das elastische Element mit der Unwuchtwellen verbunden, so dass auf Grund einer Federwirkung des elastischen Elements die ermittelte Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit geringfügig von der tatsächlichen Phasenlage und Winkelgeschwindigkeit der Unwuchtwellen abweichen kann.

In Kenntnis der Sprungantwort der Regelstrecke und der Federkonstante des elastischen Elements sowie der Masse der Unwuchtwellen kann die Abweichung zwischen der gemessenen und der tatsächlichen Phasenlage durch die Regeleinrichtung abgeschätzt werden.

[0029] Die Drehrichtungen, Winkelgeschwindigkeiten und Phasenlagen der Vibrationserregere bilden in ihrer Überlagerung ein translatorisches und/oder rotatorisches Moment gegenüber einer Standfläche des Bodenverdichtungsgeräts. Dieses translatorische und/oder rotatorische Moment ist zur Fortbewegung und Lenkung nutzbar.

[0030] Vorteilhaft sind die Vibrationserregere winkelig, insbesondere sternförmig auf der Vibrationsplatte angeordnet. Eine symmetrische Anordnung unter gleichen Winkeln erlaubt für eine Steuereinrichtung, die beispielsweise einen Lenkbefehl in jeweilige Soll-Phasenlagen als Führungsgrößen für die jeweiligen Vibrationserregere umsetzt, eine einfache Berechnung der erforderlichen

Stellwerte, um ein gewünschtes translatorisches und/oder rotatorisches Moment zu erzeugen. Dabei kann die Eingabe eines Lenkbefehls beispielsweise mittels eines in zwei Achsen beweglichen Control-Sticks als Teil einer Handsteuerung erfolgen. Weiterhin kann es sich bei der Handsteuerung um einen integrierten Bestandteil des Bodenverdichtungsgeräts oder um eine Fernsteuerung handeln.

[0031] Vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung als digitaler Regler ausgebildet. Digitale Regler sind hinreichend schnell realisierbar und bieten große Flexibilität hinsichtlich ihrer Reglereigenschaften. Vorteilhaft weist eine Regeleinrichtung einen digitalen Regler auf, der für die Erzeugung der Stellgrößen für den elektrischen Antrieb einen Vorverzerrer aufweist, welcher eine derartige zeitliche Vorverzerrung der Stellgrößen bewirkt, dass ein Einschwingen in Folge einer Phasen- oder Frequenzänderung vermieden oder vermindert wird. Vorteilhaft ist die Regeleinrichtung zur Kompensation von Schwingungen eingerichtet, welche durch das elastische Element ermöglicht oder begünstigt werden.

[0032] Vorteilhaft erfolgt die Vorverzerrung der Stellgrößen oder ein Einstellen der Parameter eines PI- oder PID-Reglers auf Basis der Sprungantwort der Regelstrecke. In Kenntnis der Parameter der Sprungantwort, beispielsweise deren Wendepunkt, sind die Parameter eines PI- oder PID-Reglers nach in der Literatur bekannten Einstellregeln, z.B. nach Ziegler/Nichols, dimensionierbar.

[0033] Vorteilhaft weist das Bodenverdichtungsgerät einen Kalibriermodus zum Ermitteln der Sprungantwort auf, in welchem die Sprungantwort der Regelstrecke, beispielsweise nach einem Riemenwechsel, ermittelbar ist. In einem derartigen Modus kann der Regelkreis geöffnet und die Reaktion des Vibrationserregers in Antwort auf eine Lenkbewegung respektive einer Änderung der Phasenlage des Vibrationserregers ermittelt und gespeichert werden.

[0034] Weiterhin vorteilhaft ist eine Regeleinrichtung ausgebildet, die Messwerte mehrerer Messeinrichtungen gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für die elektrischen Antriebe von mehreren Vibrationserregern derart zu optimieren, dass ein unerwünschtes Schwingen des Bodenverdichtungsgeräts vermieden oder vermindert wird.

[0035] Die verschiedenen Erregereinheiten sind über die Vibrationsplatte miteinander gekoppelt, so dass sie sich gegenseitig zur Schwingung anregen, es treten Energieausgleichsvorgänge auf. Aufgrund dieser Kopplung sind auch die einzelnen Regelkreise zur Einstellung der Phasenlage nicht vollständig entkoppelt.

[0036] Vorteilhaft weist das Bodenverdichtungsgerät eine Regeleinrichtung auf, die ausgebildet ist, die Phasenlagen mehrerer Messeinrichtungen gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für mehrere Vibrationserregere derart zu optimieren, dass eine vom Benutzer gewünschte translatorische oder rotatorische Bewegung derart auf Phasenänderungen der Vibrationserregere um-

gesetzt werden, dass die Höhe der Phasensprünge minimiert wird. Dabei könnte die Optimierung beispielsweise entsprechend der Methode der minimalen Fehlerquadrate derart erfolgen, dass unter Beibehaltung des resultierenden Bewegungsvektors nicht die Regeldifferenz einzelner Regelkreise, sondern der Betrag des Regeldifferenzvektors minimiert wird. Eine derartige Optimierung ist insbesondere dann möglich, wenn eine Vielzahl von Vibrationserregern verfügbar ist und zur Ausbildung eines bestimmten gemeinsamen Kraftvektors verschiedene Auswahlen von dazu beitragenden Vibrationserregern möglich sind.

Zeichnungen

[0037] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden, schematischen Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen näher erläutert.

[0038] Es zeigen

Fig. 1 eine Skizze zum Prinzip des Bodenverdichtungsgeräts;

Fig. 2 eine bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten auf einer Vibrationsplatte bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Unwuchtwelle;

Fig. 3 die bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Antriebswelle;

Fig. 4 ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Antriebswelle;

Fig. 5 ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit bei einer Anordnung der Messeinrichtung auf der Unwuchtwelle;

Fig. 6 ein Prinzipschaltbild zur Kopplung zwei einzelner Vibrationserreger über jeweils ein elastisches Element, einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb und eine elektronische Steuereinrichtung;

Fig. 7 ein Prinzipschaltbild zur gemeinsamen Regelung der Erregereinheiten.

[0039] Fig. 1 zeigt eine Skizze zum Prinzip eines Bodenverdichtungsgeräts 1 mit einem Oberwagen 2 und einem Unterwagen 3, wobei der Unterwagen 3 eine Vibrationsplatte 4 und eine Mehrzahl von Erregereinheiten 5 aufweist. Die Erregereinheiten 5 weisen jeweils einen im Unterwagen 3 auf der Vibrationsplatte 4 angeordneten Vibrationserreger in Form einer Unwuchtwelle 7 auf und sind über ein elastisches Element 9 in Form eines Rie-

mens mit einem im Oberwagen 2 angeordneten Antrieb 6 verbunden.

[0040] Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten 5 auf einer Vibrationsplatte 4 bei einer Anordnung der Messeinrichtungen 8 auf der Unwuchtwelle 7. Die Erregereinheiten 5 sind sternförmig und achsensymmetrisch zu einander angeordnet. Die Drehachsen ihrer Unwuchtwellen 7 liegen bei diagonal angeordneten Erregereinheiten 5 auf einer Geraden. Die fiktiv verlängerten Drehachsen aller Unwuchtwellen 7 schneiden sich in einem Punkt, welcher in etwa mittig auf der Vibrationsplatte 4 gelegen ist.

[0041] Weiterhin zeigt Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau einer Erregereinheit 5. Die Erregereinheiten 5 sind von einem elektrischen Antrieb 6 jeweils individuell antreibbar und weisen jeweils einen Vibrationserreger mit einer Unwuchtwelle 7 und einer rotierende Unwucht 10 sowie eine mit dem Vibrationserreger verbundene Messeinrichtung 8 zur Erfassung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 auf. Dabei wird die Phasenlage des Vibrationserregers gleichgesetzt mit der Phasenlage seiner Unwuchtwelle 7. Die Messeinrichtung 8 ist in der Richtung der Wirkung des Antriebs, das heißt in Richtung der Unwuchtwelle 7 hinter dem elastischen Element 9 angeordnet. Der elektrische Antrieb 6 ist bevorzugt im Oberwagen 2 angeordnet, er kann jedoch auch im Unterwagen 3 zusammen mit dem Vibrationserreger auf der Vibrationsplatte 4 angeordnet sein.

[0042] Fig. 3 zeigt dieselbe bevorzugte Anordnung von Erregereinheiten 5 auf einer Vibrationsplatte 4 bei einer Anordnung der Messeinrichtungen 8 auf der Antriebswelle des elektrischen Antriebs 6. Im einzigen Unterschied zur Fig. 2 ist die Messeinrichtung 8 in der Richtung der Wirkung des Antriebs, das heißt in Richtung der Unwuchtwelle 7, vor dem elastischen Element 9 angeordnet.

[0043] Fig. 4 zeigt ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit 5 bei einer Anordnung der Messeinrichtung 8 auf der Antriebswelle. Bei der dargestellten Ausführungsvariante ist die Messeinrichtung 8 im Oberwagen 2 angeordnet und zur direkten Erfassung der Phasenlage des elektrischen Antriebs 6 eingerichtet. Die Unwuchtwelle 7 kann eine von dieser Phasenlage leicht abweichende Phasenlage aufweisen, deren Unterschied zur erfassten Phasenlage nicht konstant ist, sondern welche in Abhängigkeit von Änderungen der Drehzahl des Antriebs 6 oder durch die Übertragung von Schwingungen auf die Unwuchtwelle 7 zeitlich variieren kann. In Kenntnis der Masseverhältnisse, der Federkonstante des elastischen Elements 9 sowie des zeitlichen Verlaufs von Phasenlage und Drehzahl kann die Regeleinrichtung 12 die Abweichung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 von der Phasenlage der Antriebswelle abschätzen.

[0044] Die von der Messeinrichtung 8 erfassbare Phasenlage der Antriebswelle ist als Ist-Phasenlage und Rückführungsgröße eines Regelkreises der Regeleinrichtung 12 zuführbar. Unter Bestimmung der Abweichung zu einer von einer übergeordneten Steuereinrich-

tung 11 vorgegeben Soll-Phasenlage als Führungsgröße ist durch die Regeleinrichtung 12 eine Stellgröße bestimmbar und einer Motorsteuerung 13 zuführbar. In Abhängigkeit von der Ausgestaltung des elektrischen Antriebs 6, beispielsweise als Asynchron- oder als Schrittmotor, setzt die Motorsteuerung 13 die Stellgröße in entsprechende Steuerspannungen oder -signale zur Phasen- oder Drehzahländerung des elektrischen Antriebs 6 um.

[0045] Fig. 5 zeigt ein Prinzipschaltbild zur Regelung einer Erregereinheit 5 bei einer Anordnung der Messeinrichtung 8 auf der Unwuchtwelle 7. Bei der dargestellten Ausführungsvariante ist die Messeinrichtung 8 im Unterwagen 3 angeordnet und zur direkten Erfassung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 eingerichtet. Damit ist im Unterschied zu Fig. 4 die tatsächliche Ist-Phasenlage der Unwuchtwelle 7 direkt mit der Soll-Phasenlage vergleichbar. Gleichzeitig ist das elastische Element 9 mit seinem Zeitverhalten $\Delta\varphi(t)$ Teil der Regelstrecke. Ist die Regeleinrichtung 12 eingerichtet, eine Stellgrößenänderung unter Berücksichtigung einer bekannten Sprungantwort der Regelstrecke zu generieren, und ist der elektrische Antrieb 6 genügend schnell, um auf eine Stellgrößenänderung entsprechend schnell anzusprechen, ist eine präzise Regelung der Phasenlage der Unwuchtwelle 7 unter Kompensation des Zeitverhaltens $\Delta\varphi(t)$ des elastischen Elements 9 möglich.

[0046] Fig. 6 zeigt ein Prinzipschaltbild zur Kopplung zwei einzelner Vibrationserreger über jeweils ein elastisches Element 9, 9', einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb 6, 6', eine jeweilige Regeleinrichtung 12, 12' und eine übergeordnete Steuereinrichtung 11; Durch die übergeordnete Steuereinrichtung 11 können den Vibrationserregern der Erregereinheiten 5, 5' mit individuell zugeordneten Regeleinrichtungen 12, 12' ihre jeweilige Soll-Phasenlage als Führungsgröße vorgegeben werden, so dass zwischen den Unwuchtwellen 7, 7' der Vibrationserreger eine relative Phasenlage $\Delta\varphi$ einstellbar ist.

[0047] Fig. 7 zeigt ein Prinzipschaltbild zur gemeinsamen Regelung von beispielhaft vier Erregereinheiten 5 über eine Steuer-/Regeleinrichtung 14. Wie aus Fig. 6 ersichtlich werden die Phasenlagen mehrerer Messeinrichtungen 8 gemeinsam als Ist-Größenvektor einer Steuer-/Regeleinrichtung 14 zugeführt. Auf Grund der mechanischen Verbindung über die gemeinsame Vibrationsplatte 4 sind die Vibrationserreger 5 untereinander parasitär gekoppelt, wobei der Grad der Kopplung zusätzlich von der Ausrichtung der schwingungserzeugenden Elemente der Vibrationserreger 5 abhängt.

[0048] Die Steuer-/Regeleinrichtung 14 berechnet unter Berücksichtigung der Koppelungen der Regelkreise einen Stellgrößenvektor, dessen Koeffizienten den einzelnen Motorsteuerungen 13 zugeführt werden.

[0049] Dabei kann die Berechnung des Stellgrößenvektors für die mehreren Regelkreise derart optimiert werden, dass hohe Phasensprünge für einzelne Regelkreise vermieden werden, bzw. dass unter Beibehaltung

des resultierenden Bewegungsvektors eine Minimierung des Betrags des Regeldifferenzvektors erfolgt.

5 Patentansprüche

1. Bodenverdichtungsgerät (1) mit einem Oberwagen (2) und einem Unterwagen (3), wobei der Unterwagen (2) eine Vibrationsplatte (4) und eine Mehrzahl von Erregereinheiten (5) aufweist, wobei zumindest ein Teil der Erregereinheiten (5) von jeweils einem Antrieb (6) jeweils individuell antreibbar ist und jeweils zumindest einen Vibrationserreger aufweist, welcher mit einer Messeinrichtung (8) zur Erfassung seiner Phasenlage verbunden ist, wobei die Phasenlage einer Steuer-/Regeleinrichtung (14) zuführbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

einzelne Vibrationserreger jeweils über ein elastisches Element (9), einen jeweiligen elektrisch steuerbaren Antrieb (6) und die Steuer-/Regeleinrichtung (14) miteinander gekoppelt sind und die relative Phasenlage der einzelnen Vibrationserreger zueinander über die Steuer-/Regeleinrichtung (14) einstellbar und regelbar ist.

2. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) eine übergeordnete Steuereinrichtung (11) und mehrere von der Steuereinrichtung (11) gesteuerte Regeleinrichtungen (12) umfasst, wobei jeweils ein mit einer Messeinrichtung (8) verbundener Vibrationserreger jeweils eine Regeleinrichtung (11) zugeordnet ist und die von den jeweiligen Messeinrichtungen (8) erfassbaren Phasenlagen den jeweiligen Regeleinrichtungen (11) zuführbar sind.

3. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Erregereinheiten (5) von einem elektrischen Antrieb (6) jeweils individuell elektrisch antreibbar ist und die Steuer-/Regeleinrichtung (14) oder eine Regeleinrichtung (12) ausgebildet ist, ein Einschwingen einer Erregereinheit (5) nach einer Phasen- oder Frequenzänderung zu minimieren.

4. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Unterwagen (3) elastisch mit dem Oberwagen (2) verbunden ist, der Oberwagen (2) mehrere elektrische Antriebe (6) aufweist und die Vibrationserreger im Unterwagen (3) jeweils individuell über ein elastisches Element (9) mit einem der elektrischen Antriebe (6) verbunden sind.

5. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Vibrationserreger eine einzelne Unwuchtwelle (7) aufweisen.
6. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest bei einem Teil der Erregereinheiten (5) der elektrische Antrieb (6) jeweils im Wesentlichen durch einen Elektromotor, insbesondere einen Schrittmotor, ausgebildet ist, das elastische Element (9) jeweils als Riemen ausgeführt ist, der Vibrationserreger jeweils eine Unwuchtwelle (7) aufweist und die Messeinrichtung (8) jeweils im Unterwagen (3) angeordnet ist. 5
7. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vibrationserreger winkelig, insbesondere sternförmig, auf der Vibrationsplatte (4) angeordnet sind und über eine Steuereinrichtung (11) die Drehrichtungen, Frequenzen und Phasenlagen der Vibrationserreger derart einstellbar sind, dass in ihrer Überlagerung gegenüber einer Standfläche des Bodenverdichtungsgeräts (1) ein translatorisches oder rotatorisches Moment entsteht. 10
8. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einem Teil der Vibrationserreger individuell jeweils eine Regeleinrichtung (12) zugeordnet ist. 20
9. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) oder eine Regeleinrichtung (12) als PI- oder PID-Regler ausgebildet ist. 25
10. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) oder eine Regeleinrichtung (12) als digitaler Regler ausgebildet ist, und die Regeleinrichtung (12, 14) für die Erzeugung der Stellgrößen für den elektrischen Antrieb (6) einen Vorverzerrer aufweist, welcher eine zeitliche Vorverzerrung der Stellgrößen bewirkt, so dass ein Einschwingen in Folge einer Phasen- oder Frequenzänderung vermieden oder vermindert wird. 30
11. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorverzerrung auf Basis der Sprungantwort der Regelstrecke erfolgt. 35
12. Bodenverdichtungsgerät (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bodenverdichtungsgerät (1) einen Kalibriermodus aufweist, in welchem die Sprungantwort der Regelstrecke, insbesondere nach einem Austausch des elastischen Elements (9), durch das Bodenverdichtungsgerät (1) ermittelbar ist. 40
13. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer-/Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, die Messwerte mehrerer Messeinrichtungen (8) gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für die elektrischen Antriebe (6) von mehreren Vibrationserregern derart zu optimieren, dass ein unerwünschtes Schwingen des Bodenverdichtungsgeräts (1) vermieden oder vermindert wird. 45
14. Bodenverdichtungsgerät (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das die Steuer-/Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, die Messwerte mehrerer Messeinrichtungen (8) gemeinsam auszuwerten und die Stellgrößen für mehrere Vibrationserreger derart zu optimieren, dass eine vom Benutzer gewünschte translatorische oder rotatorische Bewegung derart auf Phasenänderungen der Vibrationserreger umgesetzt wird, dass die Höhe der Phasensprünge minimiert wird. 50
- 55

Fig. 1

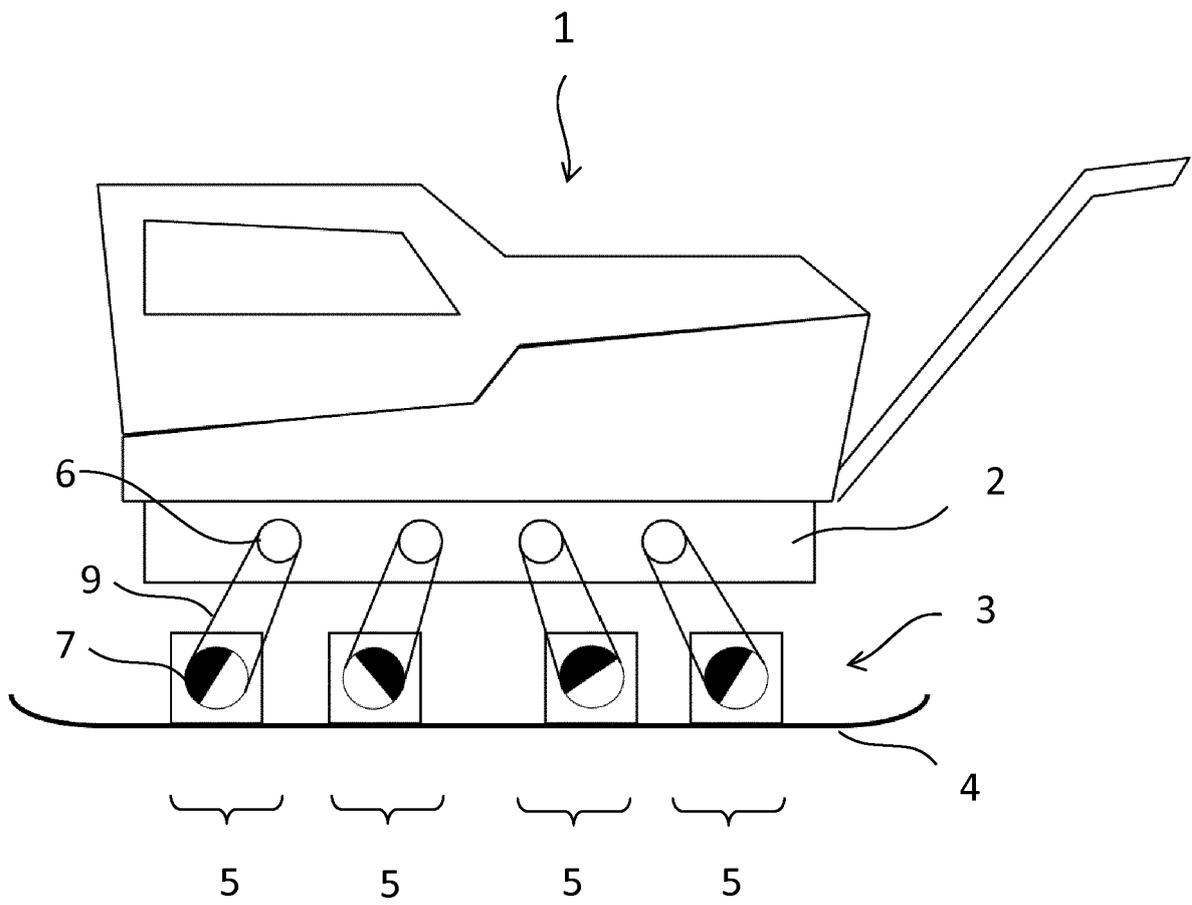


Fig. 2

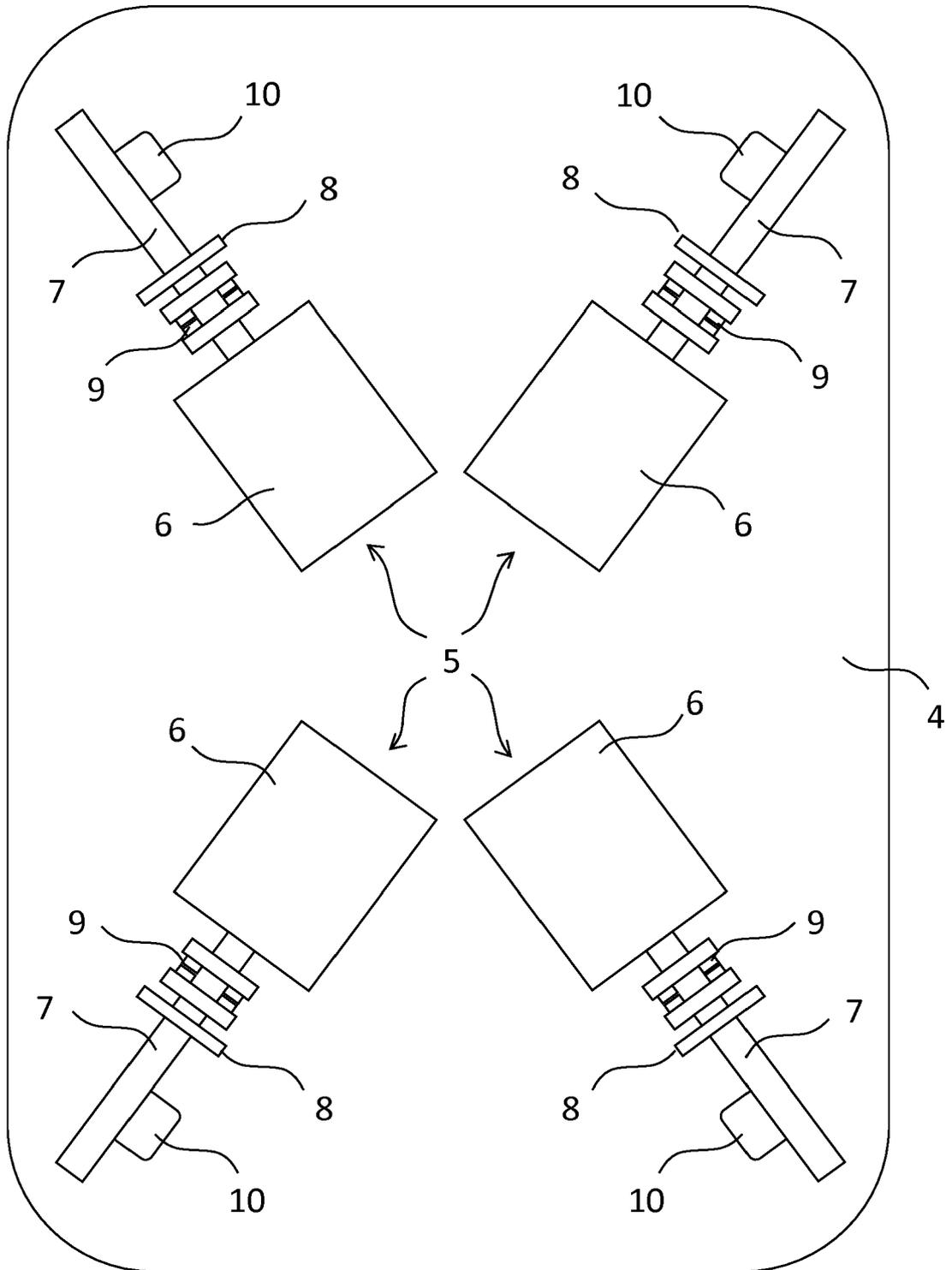


Fig. 3

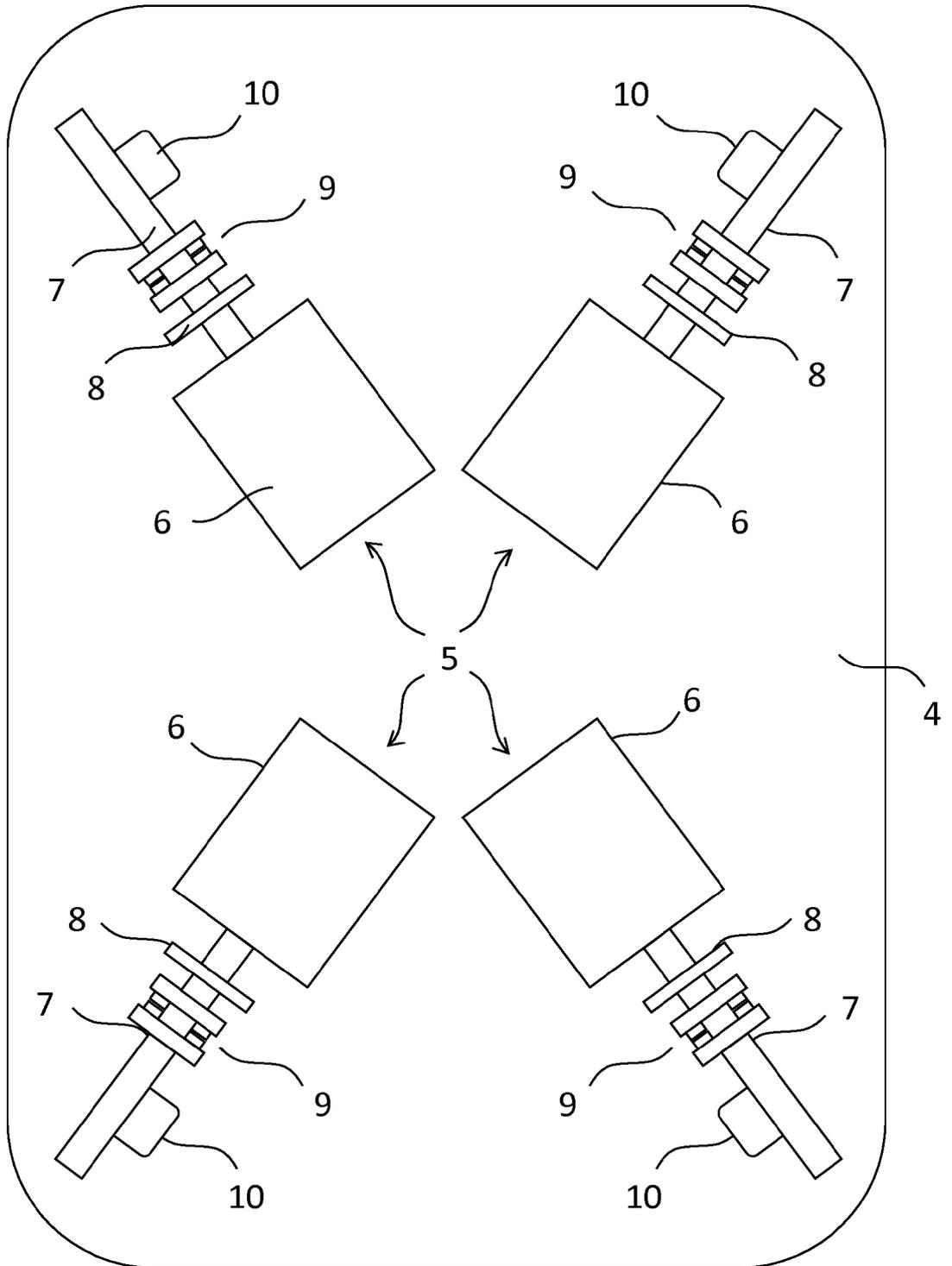


Fig. 4

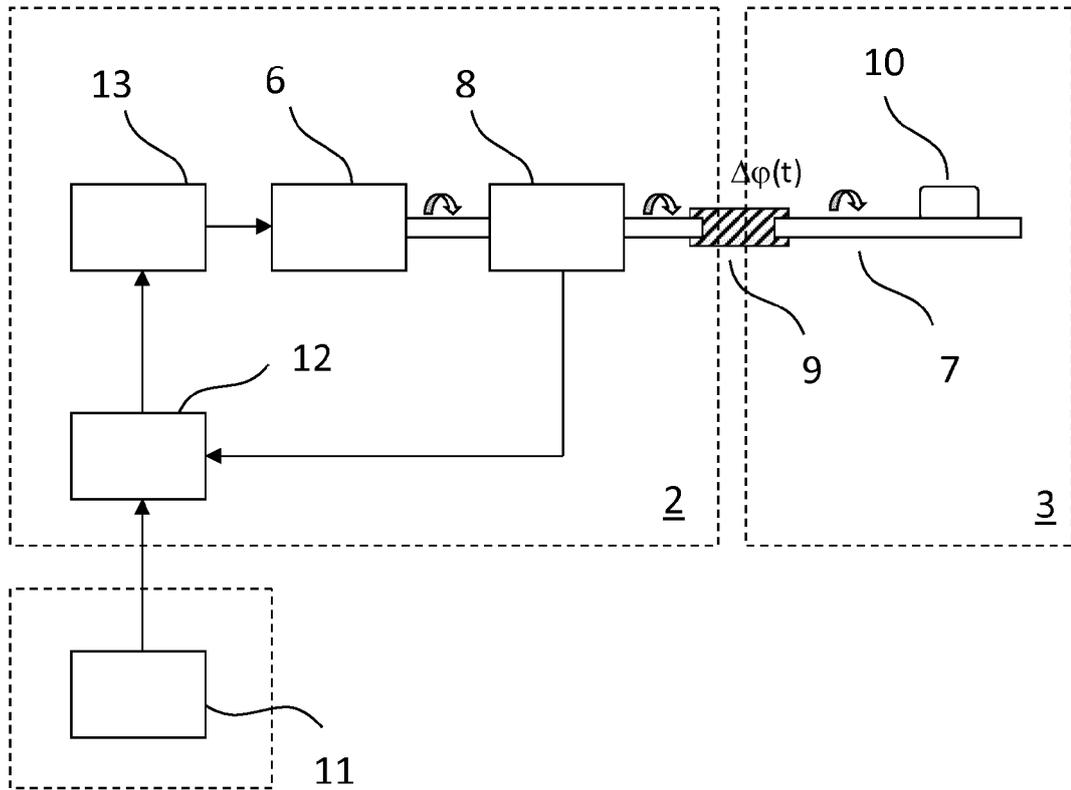


Fig. 5

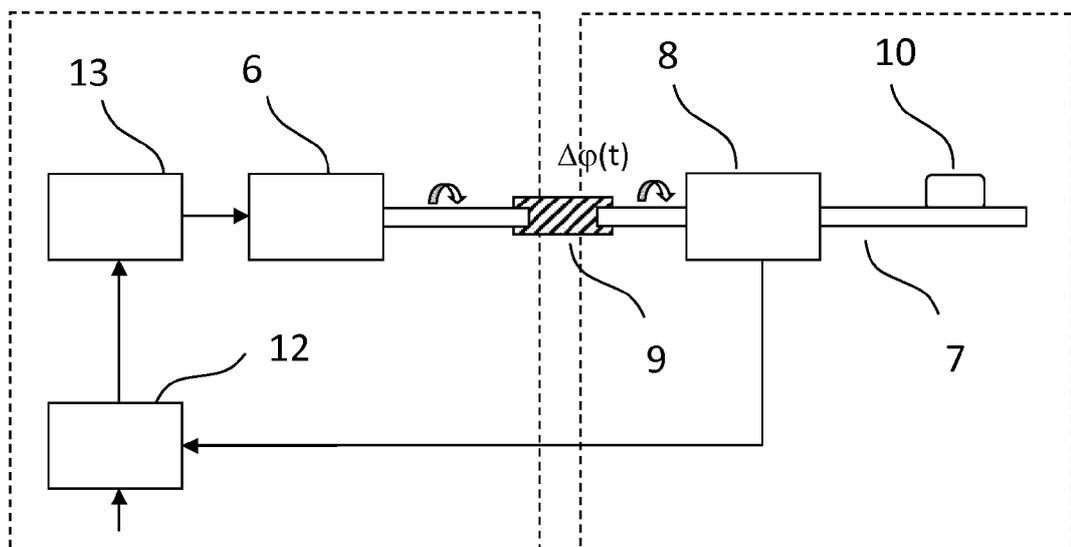


Fig. 6

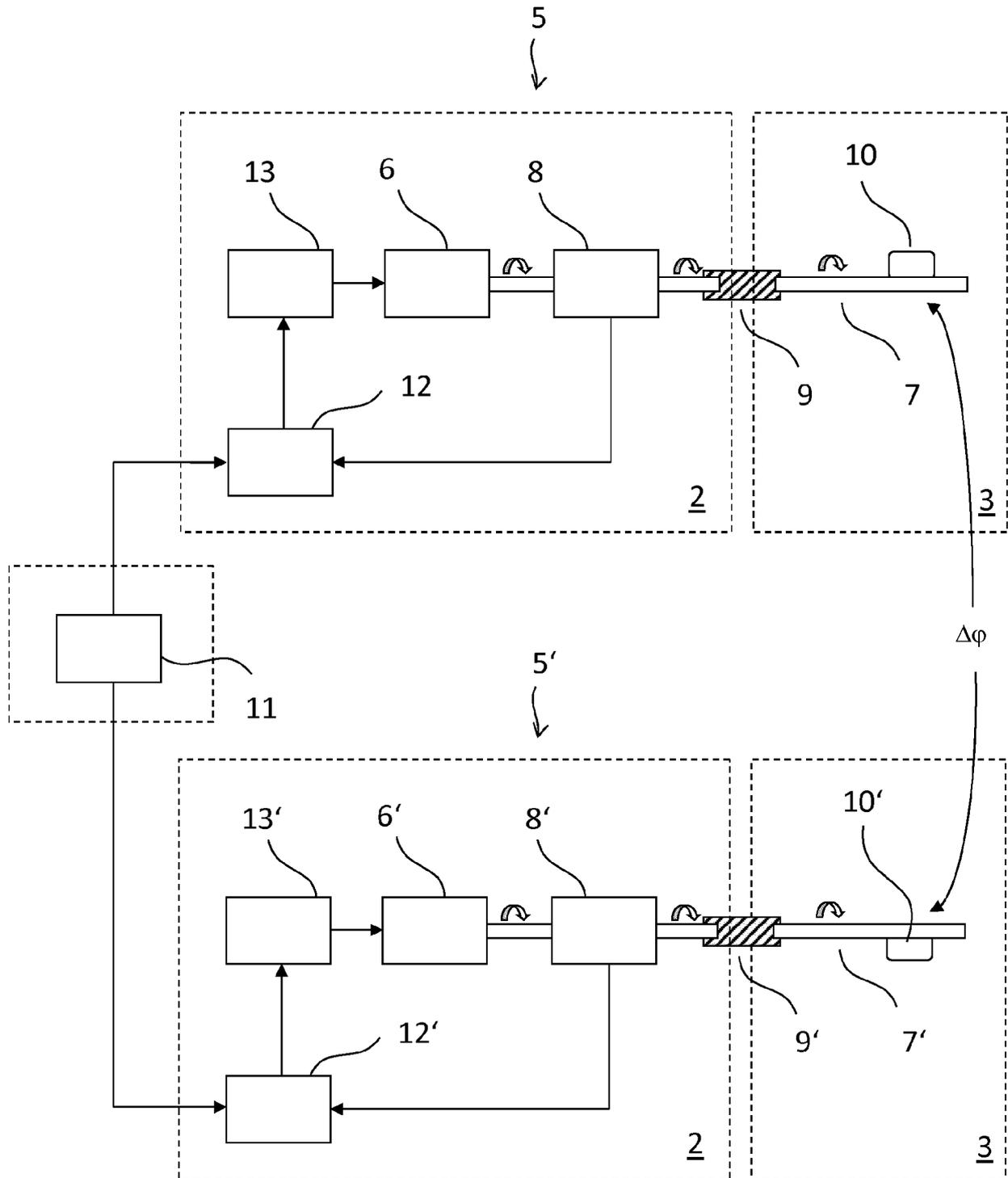
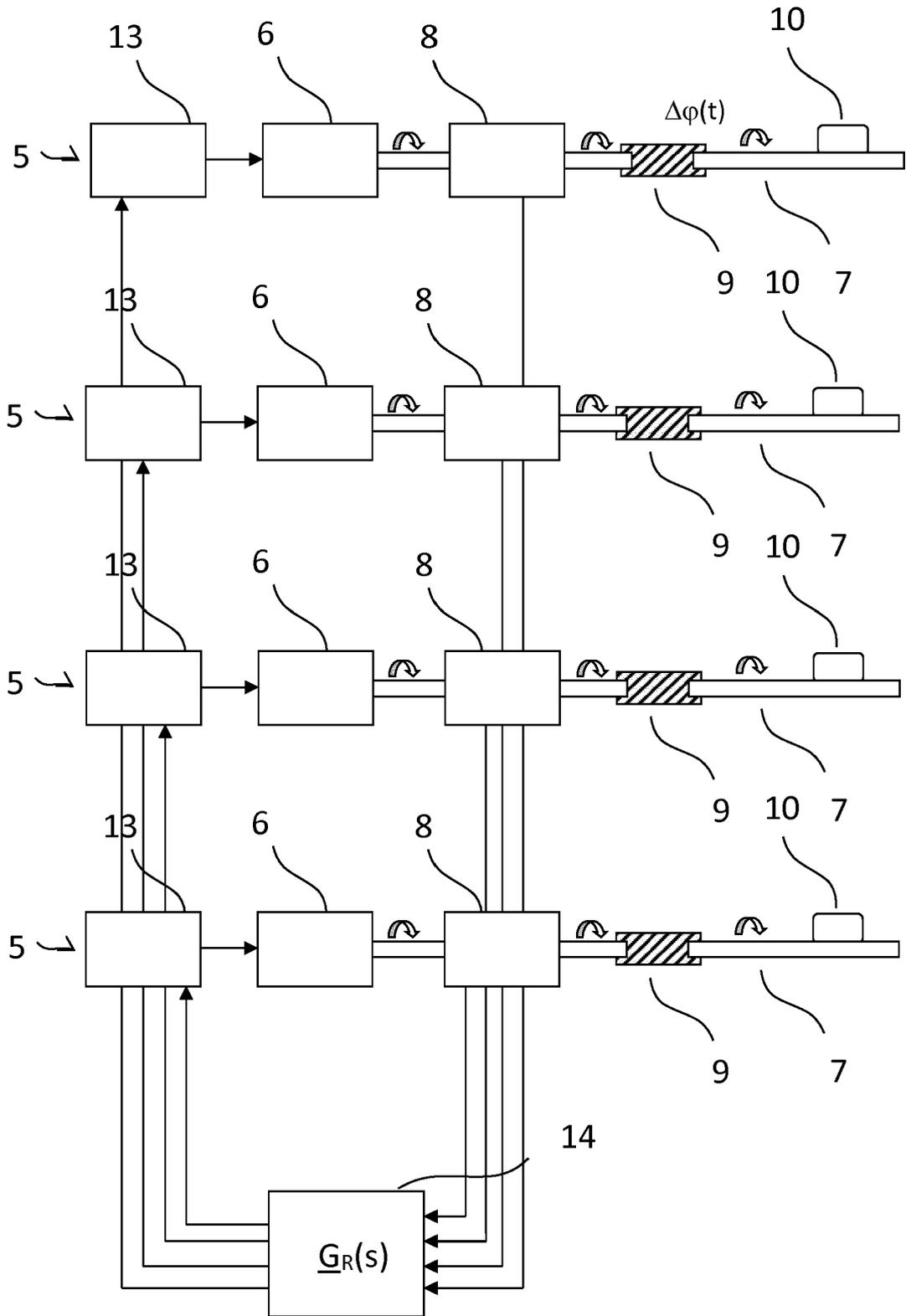


Fig. 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 18 17 0921

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2005 029433 A1 (WACKER CONSTRUCTION EQUIPMENT [DE]) 28. Dezember 2006 (2006-12-28) * Absatz [0039] - Absatz [0088]; Abbildungen 1-5,8 *	1-14	INV. E02D3/074
A	WO 02/35005 A1 (WACKER WERKE KG [DE]; SICK GEORG [DE]) 2. Mai 2002 (2002-05-02) * Seite 6, Absatz 3 - Seite 20, Zeile 7; Abbildungen 2a-4e *	1-14	
A	GB 805 643 A (LOSENHAUSENWERK DUESSELDORFER) 10. Dezember 1958 (1958-12-10) * Seite 1, Zeile 39 - Seite 2, Zeile 68; Abbildung 2 *	1-14	
A	DE 20 2010 017338 U1 (WACKER NEUSON SE [DE]) 4. Januar 2012 (2012-01-04) * Absatz [0059] - Absatz [0092]; Abbildungen 1,2 *	1-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			E02D E01C B06B
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Juni 2018	Prüfer Geiger, Harald
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	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 18 17 0921

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.

18-06-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 102005029433 A1	28-12-2006	CN 101203331 A	18-06-2008
			DE 102005029433 A1	28-12-2006
			EP 1893354 A1	05-03-2008
			JP 2008546933 A	25-12-2008
			US 2010199774 A1	12-08-2010
			WO 2006136446 A1	28-12-2006
20	WO 0235005 A1	02-05-2002	DE 10053446 A1	06-06-2002
			EP 1328685 A1	23-07-2003
			JP 3921446 B2	30-05-2007
			JP 2004518041 A	17-06-2004
			US 2004022582 A1	05-02-2004
			WO 0235005 A1	02-05-2002
25	GB 805643 A	10-12-1958	KEINE	
	DE 202010017338 U1	04-01-2012	KEINE	
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102006000786 A1 **[0004]**
- DE 102005029434 A1 **[0005]**