



(11)

EP 4 357 525 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
30.04.2025 Patentblatt 2025/18

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E01C 19/22^(2006.01) E01C 19/23^(2006.01)
E01C 19/26^(2006.01) E01C 19/28^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23165120.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E01C 19/26; E01C 19/004; E01C 19/282

(22) Anmeldetag: **29.03.2023**

(54) **VERFAHREN ZUR ASSISTIERTEN BEDIENUNTERSTÜTZUNG EINER BODENVERDICHTUNGSMASCHINE**

METHOD FOR ASSISTED OPERATION ASSISTANCE OF A SOIL COMPACTION MACHINE

PROCÉDÉ D'AIDE À LA COMMANDE D'UNE MACHINE DE COMPACTAGE DE SOL

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

(30) Priorität: **09.04.2022 DE 102022108663**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.04.2024 Patentblatt 2024/17

(73) Patentinhaber: **BOMAG GmbH**
56154 Boppard (DE)

(72) Erfinder: **Laugwitz, Niels**
56154 Boppard (DE)

(74) Vertreter: **Zimmermann & Partner**
Patentanwälte mbB
Postfach 330 920
80069 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 102018 007 825 DE-A1- 102019 002 442

EP 4 357 525 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur assistierten Bedienunterstützung einer Bodenverdichtungsmaschine.

[0002] Gattungsgemäße Bodenverdichtungsmaschinen sind beispielsweise aus der DE 102018 007 825 A1 und der DE 10 2019 002 442 A1 der Anmelderin bekannt. Sie werden typischerweise im Straßen- und Wegebau sowie beim Bau von Start-, Landebahnen und Plätzen eingesetzt. Es handelt sich dabei üblicherweise um selbstfahrende Maschinen, die insbesondere einen von einem Fahrwerk getragenen Maschinenrahmen aufweisen. Das Fahrwerk umfasst typischerweise wenigstens eine Walzbandage und gegebenenfalls Räder. Das Fahrwerk kann beispielsweise auch zwei Walzbandagen aufweisen, die insbesondere in Arbeitsrichtung der Bodenverdichtungsmaschine voneinander getrennt und hintereinander angeordnet sind, so dass bei einer Vorwärtsfahrt der Bodenverdichtungsmaschine eine bestimmte Position auf dem Bodenuntergrund sukzessive von beiden hintereinander angeordneten Walzbandagen überfahren wird. Die Arbeitsrichtung der Bodenverdichtungsmaschine entspricht dabei einer Maschinenlängsachse beziehungsweise einer vorne/hinten-Richtung der Bodenverdichtungsmaschine. Die aktuelle Arbeitsrichtung kann eine Vorwärts- oder eine entgegengesetzte Rückwärtsrichtung sein, wobei üblicherweise ein reversierender Arbeitsbetrieb vorliegt. Bei den Walzbandagen handelt es sich typischerweise um metallische Hohlzylinder, beispielsweise aus Stahl, die insbesondere eine glatte Außenmantelfläche aufweisen können. Im Arbeitsbetrieb der Bodenverdichtungsmaschinen werden diese mit der wenigstens einen beziehungsweise den zwei Walzbandagen über einen zu verdichtenden Boden, beispielsweise eine von einem Straßenfertiger verlegte Asphaltsschicht, bewegt. Die für den Betrieb der Bodenverdichtungsmaschine erforderliche Antriebsenergie wird typischerweise von einem Antriebsmotor zur Verfügung gestellt, beispielsweise ein Verbrennungsmotor, üblicherweise ein Dieselmotor, oder ein Elektromotor. Um die Verdichtung des Bodens durch die Walzbandagen über das Eigengewicht der Maschine hinaus zu erhöhen, ist es ferner bekannt, dass ein Schwingungserreger in oder an der Walzbandage vorgesehen ist, über den die Walzbandage in Schwingungen versetzt werden kann. Je nach der Art der Schwingungen, deren Frequenz und deren Amplitude, kann eine gewünschte Anpassung der Verdichtung der Walzbandage eingestellt werden.

[0003] Derartige Bodenverdichtungsmaschinen weisen üblicherweise einen Fahrerstand für einen Bediener auf, von dem aus die Bodenverdichtungsmaschine vom Bediener gesteuert wird. Der Bediener steuert dabei insbesondere die Fahrt der Bodenverdichtungsmaschine über den zu verdichtenden Boden. Hierbei wird beispielsweise sowohl die Fahrtrichtung als auch die Fahrgeschwindigkeit vom Bediener vorgegeben. Gleichzeitig

wird vom Bediener typischerweise der Betrieb des oder der Schwingungserreger in der oder den Walzbandagen gesteuert. Diese können an- und abgeschaltet werden und teilweise hinsichtlich ihrer Frequenz und/oder Amplitude variiert werden. Gattungsgemäße Bodenverdichtungsmaschinen weisen typischerweise eine Steuereinrichtung auf, die beispielsweise ein Bordcomputer oder Teil eines Bordcomputers sein kann. Die Steuereinrichtung ist typischerweise mit wenigstens einem Sensor ausgestattet, der wenigstens einen Parameter des Betriebs der Bodenverdichtungsmaschine erfasst. Ein solcher Parameter kann die Fahrtrichtung, die Fahrgeschwindigkeit, der Lenkwinkel, der Betriebszustand eines oder mehrerer Schwingungserreger, ein Beschleunigungswert, ein mit der Bodensteifigkeit assoziierter Wert, ein Fahrweg etc. sein. Darüber hinaus weisen gattungsgemäße Bodenverdichtungsmaschinen typischerweise eine mit der Steuereinrichtung verbundene Anzeigeeinrichtung, beispielsweise einen Bildschirm oder ein Display, auf. Auf diesem Display können beispielsweise die Messwerte des Sensors angezeigt werden. Darüber hinaus kann die Steuereinrichtung dazu ausgebildet sein, Steuerbefehle des Bedieners aufzunehmen - beispielsweise auch über die Anzeigeeinrichtung, die einen Touchscreen umfassen kann, ergänzende und/oder separate Eingabeeinrichtungen etc. - und anhand dieser Steuerbefehle die Bodenverdichtungsmaschine zu steuern.

[0004] Die Bodenverdichtungsmaschinen werden typischerweise mehrfach über einen zu verdichtenden Bereich geführt. Hierzu ist üblicherweise ein mehrfaches Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine notwendig. Mit anderen Worten wird die Fahrtrichtung mehrfach umgekehrt, sodass die Bodenverdichtungsmaschine auf dem zu verdichtenden Boden hin und her fährt. Ein und dieselbe Bodenstelle kann somit mehrfach von der Bodenverdichtungsmaschine überfahren werden. Das Arbeitsziel der Bodenverdichtungsmaschinen ist es dabei regelmäßig, eine möglichst glatte und gleichzeitig homogen verdichtete Oberfläche des Bodens herzustellen und zu hinterlassen. Beispielsweise ist die Ebenheit einer Fahrbahn ein wesentliches, vergütungsrelevantes Kriterium, welches daher von großem praktischem und wirtschaftlichem Interesse ist.

[0005] Es ist allerdings unvermeidlich, dass die Walzbandagen der Bodenverdichtungsmaschine bei noch vom Maschineneigengewicht verformbaren Bodenuntergrund, beispielsweise dann, wenn die Asphalttemperatur noch vergleichsweise hoch ist, beim Reversieren, also bei einer Fahrtrichtungsumkehr, eine Bodenwelle in der zu verdichtenden Oberfläche hinterlassen. Diese Bodenwelle muss dann typischerweise bei nachfolgenden Überfahrten möglichst gut glatt gedrückt werden, um einen Fahrbahnbelag in gewünschter Güte zu erhalten. Um dies zu vereinfachen, sind die Bediener der Bodenverdichtungsmaschinen typischerweise angehalten, kurz vor dem Stillstand der Bodenverdichtungsmaschine beim Reversieren einzulenken, sodass die Walzbanda-

gen und damit auch die von diesen hinterlassene Welle beim Reversieren schräg zur Arbeitsrichtung ausgerichtet ist. Derartige schräge Wellen können bei nachfolgenden Überfahrten deutlich einfacher und schneller glattgedrückt werden als Wellen, die senkrecht zur Arbeitsrichtung verlaufen.

[0006] Darüber hinaus muss der Bediener der Bodenverdichtungsmaschine typischerweise darauf achten, den Betrieb des oder der Schwingungserreger so zu steuern, dass nicht an einem Punkt oder über eine zu kurze Strecke zu viel Vibrationsenergie bzw. zu viele Impulse pro definierter Wegstrecke in den Boden, beispielsweise die Asphaltschicht, eingebracht werden. Auch dies kann das Entstehen von unerwünschten Bodenwellen fördern. Es muss daher rechtzeitig vor oder während des Abbremsens der Bodenverdichtungsmaschine vor dem Reversieren der Schwingungseintrag in den Boden reduziert werden, beispielsweise indem der Schwingungserreger rechtzeitig abgeschaltet wird, während die Bodenverdichtungsmaschine noch ausreichend schnell fährt.

[0007] Insgesamt kann daher der Bediener durch die Art und Weise, in der er die Bodenverdichtungsmaschine steuert, aktiven Einfluss auf die Welligkeit beziehungsweise die Ebenheit des von der Maschine hinterlassenen, verdichteten Bodens und damit auf die Qualität des Arbeitsergebnisses nehmen. Um qualitativ hochwertige Arbeitsergebnisse zu erzielen, ist allerdings ein erhebliches Maß an Erfahrung und Können des Bedieners notwendig. Es kommt daher oft zu Situationen, in denen Bediener mit ausreichendem Training nicht zur Verfügung stehen, sodass mangels Fachwissen die Bodenverdichtungsmaschine nicht so eingesetzt wird, dass eine optimale Ebenheit des verdichteten Bodens, beispielsweise der Fahrbahn, erzielt wird. Darüber hinaus kann der Bediener die erzielte Ebenheit im Regelfall während des Arbeitsbetriebes nicht erkennen. Eine Messung der Ebenheit des Bodens während des Arbeitsvorganges ist technisch aufwendig und wird daher typischerweise nicht vorgenommen. Es besteht daher keine Möglichkeit, dass der Bediener seine Fahrweise anhand des aktuell beziehungsweise zuletzt erzielten Ergebnisses im Idealfall im laufenden Betrieb anpasst.

[0008] Vor diesem Hintergrund ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren beziehungsweise eine Bodenverdichtungsmaschine anzugeben, mit dem beziehungsweise mit der die Ebenheit des verdichteten Bodens verbessert werden kann. Insbesondere Fahrfehler, die um das Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine herum auftreten können, sollen reduziert werden. Bevorzugt soll während und/oder nach dem Verdichtungsbetrieb eine Rückmeldung über das Arbeitsergebnis bereitgestellt werden, ohne dass hierzu eine Messung der Ebenheit des Bodens notwendig ist. Die Rückmeldung über den zurückliegenden Arbeitsablauf soll es ermöglichen, zukünftige Arbeitsvorgänge im Hinblick auf optimale Ebenheit des verdichteten Bodens zu verbessern.

[0009] Die Lösung der Aufgabe gelingt mit einem Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch. Bevorzugte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0010] Konkret gelingt die Lösung mit einem Verfahren zur assistierten Bedienunterstützung einer Bodenverdichtungsmaschine. Mit anderen Worten handelt es sich um ein Verfahren zur Kontrolle des Verdichtungsprozesses während des Verdichtungsbetriebes der Bodenverdichtungsmaschine beziehungsweise um ein Verfahren zur Überwachung der Bedienung der Bodenverdichtungsmaschine im Verdichtungsbetrieb durch den Bediener. Dem Verfahren zu Grunde liegt das Steuern der Bodenverdichtungsmaschine durch einen Bediener. Dies erfolgt in an sich bekannter Weise durch die Eingabe entsprechende Steuerbefehle, beispielsweise hinsichtlich Fahrtrichtung, Fahrgeschwindigkeit, Aktivierung und/oder Einstellung eines oder mehrerer Schwingungserreger etc. Es erfolgt daher ein konventioneller Arbeitsbetrieb einer gattungsgemäßen Bodenverdichtungsmaschine, bei dem diese vom Bediener über den zu verdichtenden Boden geführt wird. Der zu verdichtende Boden ist hierbei insbesondere eine von einem Straßenfertiger verlegte, noch heiße bzw. für eine Oberflächenverformung durch die Bodenverdichtungsmaschine noch hinreichend warme Asphaltschicht, aus der nach der Verdichtung beispielsweise eine Fahrbahn oder ähnliches entsteht. Das Steuern der Bodenverdichtungsmaschine umfasst daher insbesondere das mehrfache Überfahren des zu verdichtenden Bodens beziehungsweise ein mehrfaches Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine. Die Bodenverdichtungsmaschine wird hierbei bevorzugt immer wieder abgebremst, insbesondere bis zum Stillstand, und dann in einer der ursprünglichen Fahrtrichtung entgegengesetzten Fahrtrichtung erneut beschleunigt. Bevorzugt wird hierbei zumindest teilweise wenigstens eine Walzbandage der Bodenverdichtungsmaschine von einem Schwingungserreger in Schwingungen versetzt, um eine dynamisch Bodenverdichtung zu erreichen. Hierbei kann es sich beispielsweise um Vibrations- oder Oszillationsschwingungen oder eine beliebige Überlagerung dieser handeln. Unter einem Steuern der Bodenverdichtungsmaschine durch einen Bediener wird vorliegend insbesondere auch ein teilautonomer Betrieb verstanden. So könnte beispielsweise eine Reversierautomatik zum Einsatz kommen, bei der ein Bediener durch eine Steuereingabe, beispielsweise einen Tastendruck, einen Reversiervorgang auslöst, wobei das Abbremsen, das Reduzieren des Schwingungseintrags, das Beschleunigen in entgegengesetzter Richtung und das nachfolgende Erhöhen des Schwingungseintrages automatisch von der Steuereinrichtung durchgeführt wird. Der Bediener kann die Reversierautomatik beispielsweise nach freier Einschätzung starten oder beispielsweise nach dem Erreichen einer Markierung, beispielsweise eines auf den Boden projizierten Lichtfleckes, der in einem festgelegten, für den Reversiervorgang notwendigen Abstand vor dem

Umkehrpunkt angeordnet sein kann. Wichtig ist, dass allerdings der Fahrer selbstverständlich weiterhin die Hoheit über die Steuerung der Maschine behält und jederzeit in den Ablauf eingreifen kann, wodurch die Reversierautomatik sofort beendet und die Steuerung der Maschine wieder vollständig vom Bediener übernommen wird. Insbesondere diese Fälle, in denen der Bediener die Steuerung wieder übernimmt, sind für das erfindungsgemäße Verfahren von Interesse, da die Reversierautomatik bereits optimale Fahrweisen berücksichtigt. Die Reversierautomatik ist aus diesem Grunde auch besonders bevorzugt in der Weise ausgebildet, dass sie nur das Abbremsen und das anschließende Beschleunigen in die entgegengesetzte Fahrtrichtung, insbesondere bis hin zu einer gewünschten Zielgeschwindigkeit steuert, nicht aber Lenkvorgänge übernimmt, die vorzugsweise exklusiv manuell gesteuert werden müssen.

[0011] Im erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt nun ein Erfassen wenigstens einer Fahrgeschwindigkeitsänderung. Dafür umfasst die Bodenverdichtungsmaschine bevorzugt wenigstens eine geeignete Erfassungseinrichtung, beispielweise wenigstens einen Sensor, der zumindest die Fahrgeschwindigkeitsänderung direkt oder indirekt erfasst und insbesondere an die Steuereinrichtung weiterleitet. Das Erfassen und das Ermitteln von verschiedenen Parametern, Größen, Zeitpunkten oder Orten kann in der gesamten vorliegenden Beschreibung bevorzugt ebenfalls umfassen, dass die erfassten beziehungsweise ermittelten Werte zur späteren Verwendung abgespeichert werden, beispielsweise in einem, insbesondere elektronischen, Speicher der Steuereinrichtung. Grundsätzlich kann ein Sensor der Erfassungseinrichtung vorgesehen sein, der mehrere Parameter oder Größen erfasst, oder für jeden Parameter oder jede Größe kann ein eigener Sensor vorgesehen sein. Da Bodenverdichtungsmaschinen üblicherweise bereits direkt oder indirekt die Fahrgeschwindigkeit ermitteln, ist der Wert dieses Parameters beispielsweise üblicherweise schon vorhanden und kann für das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt werden. Die Fahrgeschwindigkeitsänderung wiederum kann auch rechnerisch aus einer wiederholt oder kontinuierlich gemessenen Fahrgeschwindigkeit ermittelt werden. Darüber hinaus ist es ebenfalls möglich, die Bewegung beziehungsweise Beschleunigung der Bodenverdichtungsmaschine beispielsweise über einen elektronischen Kompass oder eine IMU (inertiale Messeinheit, engl. *inertial measurement unit*) zu erfassen. Auch der Einsatz von GNSS-Systemen (globales Navigationssatellitensystem, engl. *global navigation satellite system*) zur wiederholten oder kontinuierlichen Erfassung des Ortes der Bodenverdichtungsmaschine und/oder deren zeitlicher Vergleich ist möglich. Darüber hinaus kann ebenfalls über eine optische Erfassung der Umgebung der Bodenverdichtungsmaschine auf deren Bewegung geschlossen werden. Beispielsweise kann eine Kamera beziehungsweise das Bild einer Kamera genutzt werden, um auf die Bewegung der Bodenverdichtungsmaschine zu schließen.

Aus den genannten Größen, die nicht unmittelbar die Fahrgeschwindigkeit, die Fahrgeschwindigkeitsänderung und/oder eine Fahrtrichtungsumkehr sind, kann bevorzugt auf diese rückgeschlossen werden. Alternativ können die genannten Größen auch direkt im nächsten Schritt des Verfahrens zur Anwendung kommen.

[0012] Aus wenigstens der erfassten Fahrgeschwindigkeitsänderung erfolgt dann ein Ermitteln eines Zeitpunkts, an dem ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine stattfindet. Mit anderen Worten wird der Umkehrpunkt der Bodenverdichtungsmaschine ermittelt. Es wird also bevorzugt ermittelt, wann eine Fahrtrichtungs-umkehr stattfindet beziehungsweise wann eine Fahrgeschwindigkeit erst auf null absinkt und dann in entgegengesetzter Richtung wieder zunimmt. Dies wird vorliegend als Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine bezeichnet. Wird die Position der Bodenverdichtungsmaschine ebenfalls erfasst, beispielsweise durch eine Wegmessung oder durch ein GNSS-System, so steht auch derjenige Ort fest, an dem die Bodenverdichtungsmaschine sich zu diesem Zeitpunkt, an dem das Reversieren stattfindet, befindet. Auch dieser Ort kann daher als Ausgangspunkt für das weitere Verfahren genutzt werden.

[0013] Optimal ist es, wenn unterhalb einer gewissen Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine und insbesondere im Stillstand kein Schwingungseintrag durch die Erregereinheit mehr in den Boden stattfindet, also keine Vibrations- beziehungsweise Schwingungsenergie mehr auf den Boden übertragen wird. Eine solche punktuelle Verdichtung durch die Schwingungen kann ansonsten schnell zu einer übermäßigen Wellenbildung führen. Die Bediener der Bodenverdichtungsmaschinen sind daher dazu angehalten, den Schwingungseintrag in den Boden rechtzeitig vor dem Stillstand der Maschine während des Reversierens zu reduzieren, insbesondere auf null. Hierzu kann der Schwingungserreger beispielsweise abgeschaltet werden, oder die Amplitude der erzeugten Schwingung wird, insbesondere auf null, reduziert, beispielsweise durch Drehen der Amplitude in die Horizontale. Beim Abschalten des Erregers durchläuft dieser typischerweise einen Resonanzbereich, bei dem die Amplitude der erzeugten Schwingungen ansteigt. Insbesondere beim Durchlaufen des Resonanzbereiches muss daher noch eine ausreichend hohe Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine sichergestellt sein. Darüber hinaus soll, wie eingangs bereits erläutert, vor dem Stillstand der Maschine eingelenkt werden, sodass die beim Reversieren unweigerlich hinterlassene Welle im Boden schräg zur Geradeausarbeitsrichtung ausgerichtet ist. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht daher ein Erfassen eines Lenkwinkels der Bodenverdichtungsmaschine und vorzugsweise ergänzend eines Schwingungseintrags eines Schwingungserregers in den Boden oder einer mit dem Lenkwinkel oder mit dem Schwingungseintrag korrelierenden Größe vor. Auch hierfür können als Teil der Erfassungseinrichtung ein oder mehrere Sensoren an

der Bodenverdichtungsmaschine vorgesehen sein, die die jeweiligen Parameter oder Größen erfassen und deren Werte an die Steuereinrichtung weiterleiten. So kann beispielsweise ein Sensor vorgesehen sein, der unmittelbar oder mittelbar über einen korrelierenden Parameter den Lenkwinkel oder den Schwingungseintrag erfasst. Aus einer wiederholten oder kontinuierlichen Messung des Ortes der Bodenverdichtungsmaschine kann über den zurückgelegten Weg auch auf eine Schrägstellung der Bodenverdichtungsmaschine geschlossen werden, was wiederum mit dem Lenkwinkel korreliert. Alternativ kann der zurückgelegte Bremsweg und die dabei durchgeführte Lenkbewegung genutzt werden, um auf die Schrägstellung der Bodenverdichtungsmaschine zu schließen. Der Schwingungseintrag ist ein Maß dafür, wie viel Energie vom Schwingungserreger auf den Boden übertragen wird. Dies hängt maßgeblich von der Frequenz und der Amplitude des Schwingungserregers, bei dem es sich regelmäßig um einen oder mehrere Unwuchterreger handelt, ab. Entsprechend kann der Schwingungseintrag durch eine Verstellung der Frequenz und/oder der Amplitude des Schwingungserregers beeinflusst werden. Ein Abschalten des Schwingungserregers führt beispielsweise dazu, dass die Frequenz zurückgeht, insbesondere bis auf null. Ergänzend oder alternativ kann die Amplitude des Schwingungserregers, insbesondere bis auf null, verstellt werden, beispielsweise durch eine Veränderung der Exzentrizität der Schwungmassen des Schwingungserregers. Auch hierdurch lässt sich der Schwingungseintrag in den Boden verändern. Mit dem Schwingungseintrag korrelierende Größen sind daher beispielsweise die Frequenz und/oder die Amplitude und/oder die Exzentrizität der Schwungmassen des Schwingungserregers. Besonders bevorzugt wird hierzu ebenfalls der sogenannte IPF-Wert (engl. *impacts per foot*) herangezogen, der angibt, wie oft ein Schwingungserreger in einem bestimmten Streckenabschnitt auf den Boden einwirkt. Details zum IPF-Wert können beispielsweise der DE 10 2018 007 825 A1 der Anmelderin entnommen werden. Insbesondere bezieht sich vorliegend die Amplitude auf den in vertikaler Richtung gerichteten Anteil der Schwingung. Ergänzend oder alternativ kann ebenfalls die Amplitude des in horizontaler Richtung gerichteten Anteils der Schwingung berücksichtigt werden.

[0014] Wie eingangs erläutert, ist für die Ebenheit des verdichteten Bodens insbesondere die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine beim Reversieren beziehungsweise um das Reversieren herum von Bedeutung. Von Interesse ist hierbei also sowohl das Steuern der Bodenverdichtungsmaschine vor dem Reversieren als auch nach den Reversieren. Der Lenkwinkel und vorzugsweise ergänzend der Schwingungseintrag beziehungsweise die hiermit korrelierenden Größen werden daher erfindungsgemäß innerhalb eines zeitlichen Intervalls und vorzugsweise ergänzend innerhalb einer Wegstrecke um den bereits ermittelten Zeitpunkt des Reversierens und vorzugsweise ergänzend um den bereits

ermittelten Ort der Bodenverdichtungsmaschine zu diesem Zeitpunkt erfasst. Es werden daher die genannten Parameter beziehungsweise Größen vor und nach dem Reversieren erfasst. Der Lenkwinkel und vorzugsweise ergänzend der Schwingungseintrag oder damit korrelierende Größen werden daher, je nachdem, welche Messungen durchgeführt werden, zeitlich oder örtlich mit den ebenfalls ermittelten Parametern Fahrgeschwindigkeitsänderung und vorzugsweise ergänzend Fahrgeschwindigkeit, und/oder Fahrtrichtungsumkehr oder den damit korrelierenden Größen verknüpft. Es wird also beispielsweise erfasst, welcher Lenkwinkel und vorzugsweise ergänzend welcher Schwingungseintrag jeweils zusammen mit welcher Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine vorliegen. Das Intervall und vorzugsweise ergänzend die Wegstrecke können dabei erst einmal beliebig gewählt werden und beispielsweise den gesamten Arbeitseinsatz beziehungsweise die gesamte Baustelle der Bodenverdichtungsmaschine umfassen. Wichtig ist, dass sie den betrachteten Reversiervorgang der Bodenverdichtungsmaschine umfassen. Bevorzugte speziellere Intervalle/Wegstrecken werden nachstehend noch näher erläutert.

[0015] Ein Kernpunkt des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht in einem Vergleichen des erfassten bzw. ermittelten Lenkwinkels und vorzugsweise ergänzend Schwingungseintrags innerhalb des Intervalls und vorzugsweise ergänzend der Wegstrecke mit vorgegebenen Referenzwerten für einen Soll-Lenkwinkel und vorzugsweise ergänzend einen Soll-Schwingungseintrag. Wie eingangs erwähnt, ist es bekannt, dass schräg zur Arbeitsrichtung ausgerichtete Wellen im noch zu verdichtenden Boden, die beim Reversieren entstehen, bei nachfolgenden Überfahrten besser ausgeglichen werden können. Darüber hinaus ist bekannt, dass ein übermäßiger Schwingungseintrag auf einer zu kleinen Wegstrecke ebenfalls zu Wellenbildung beiträgt. Aus diesen Zusammenhängen können daher ein Soll-Lenkwinkel und/oder ein Soll-Schwingungseintrag abgeleitet werden. Diese können beispielsweise auf eine Fahrgeschwindigkeit, eine Fahrgeschwindigkeitsänderung oder ähnliches der Bodenverdichtungsmaschine bezogen sein. So kann ein Soll-Lenkwinkel beispielsweise einen Wert dafür angeben, wie stark bis zum Stillstand der Walze beim Reversieren vom Bediener eingelenkt werden sollte, um die entstehende Bodenwelle derart schräg zur Arbeitsrichtung anzuordnen, dass sie bei nachfolgenden Überfahrten optimal geglättet werden kann. Ein Soll-Schwingungseintrag kann beispielsweise einen Wert dafür angeben, wie hoch der Schwingungseintrag bei welcher Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine maximal sein darf. Konkret sind derartige Referenzwerte für einen Soll-Lenkwinkel und/oder einen Soll-Schwingungseintrag für die Steuereinrichtung zugänglich in einem Speicher hinterlegt. Es kann sich hierbei um fest vorgegebene Grenzwerte handeln. Die Referenzwerte können dabei beispielsweise punktuell, beispielsweise im Sinne von "ab einer Fahrgeschwindigkeit

X nur noch maximal Y Schwingungseintrag", oder kontinuierlich, beispielsweise im Sinne von Kennfeldern, die einen breiten Bereich von Fahrgeschwindigkeiten und dabei jeweils maximal zulässigem Schwingungseintrag vorgeben, sein. Darüber hinaus können die Referenzwerte auch eine Rechenvorschrift umfassen, aus der sich für eine gegebene Fahrgeschwindigkeit und/oder Beschleunigung um das Reversieren herum der Soll-Lenkswinkel und/oder der Soll-Schwingungseintrag bestimmen lassen. Da das Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine im Arbeitsbetrieb typischerweise, zumindest in zueinander vergleichbaren Arbeitssituationen, immer fast gleich abläuft, können die Referenzwerte statt auf die Fahrgeschwindigkeit alternativ auch auf einen zeitlichen Abstand und/oder eine Wegstrecke vor und/oder nach dem Reversieren bezogen sein. Derartige Referenzwerte könnten daher beispielsweise Informationen im Sinne von "spätestens X Sekunden oder Y Meter vor dem Reversieren den Schwingungserreger abschalten" oder "frühestens X Sekunden oder Y Meter nach dem Reversieren den Schwingungserreger einschalten" vorgeben. Durch das Vergleichen des Lenkwinkels und/oder Schwingungseintrags mit den Referenzwerten für den Soll-Lenkswinkel und/oder den Soll-Schwingungseintrag kann ermittelt werden, inwiefern der vom Bediener der Bodenverdichtungsmaschine vor, während und nach dem Reversieren eingestellte Lenkwinkel beziehungsweise Schwingungseintrag den Vorgaben für eine optimale Ebenheit des verdichteten Bodens entspricht und/oder entsprochen hat. Das Ergebnis des Vergleichs beziehungsweise des Vergleichens kann rein qualitativ oder auch quantitativ sein. Das Ergebnis kann also beispielsweise eine Information darüber sein, ob der vom Bediener eingestellte Lenkwinkel und/oder Schwingungseintrag den Referenzwerten entspricht oder nicht. Darüber hinaus kann das Ergebnis insbesondere auch umfassen, um wieviel der vom Bediener eingestellte Lenkwinkel und/oder Schwingungseintrag von den Referenzwerten abweicht. Beispielsweise kann das Ergebnis Informationen darüber umfassen, um wieviel der vom Bediener eingestellte Lenkwinkel beim Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine kleiner ist als der Soll-Lenkswinkel. Da auch ein zu enger Lenkwinkel beim Reversieren schlecht für die Ebenheit des Bodens sein kann, kann der Soll-Lenkswinkel ebenfalls ein Intervall sein, welches also sowohl eine Unter- als auch eine Obergrenze für den Lenkwinkel angibt. Entsprechend kann das Ergebnis auch Informationen darüber umfassen, um wie viel der vom Bediener eingestellte Lenkwinkel beim Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine größer ist als die vom Soll-Lenkswinkel vorgegebene Obergrenze. Dies erfolgt insbesondere zusätzlich zur bereits beschriebenen Überwachung der Untergrenze. Ergänzend oder alternativ kann das Ergebnis ebenfalls Informationen darüber umfassen, um wieviel der vom Bediener eingestellte Schwingungseintrag um das Reversieren herum größer ist als der Soll-Schwingungseintrag. "Um das Reversieren herum" bezeichnet vorliegend

einen Bezug auf das Intervall und/oder die Wegstrecke um den ermittelten Zeitpunkt des Reversierens und/oder um den Ort der Bodenverdichtungsmaschine zu diesem Zeitpunkt. Insgesamt umfasst das Ergebnis des Vergleichs also eine Information darüber, wie sehr die vom Bediener der Bodenverdichtungsmaschine vorgenommene Steuerung einer optimalen Steuerung im Sinne einer optimalen Ebenheit des verdichteten Bodens entspricht.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst schließlich ebenfalls ein Ausgeben und vorzugsweise ergänzend Abspeichern des Ergebnisses des Vergleichs beziehungsweise des Vergleichens. Beispielsweise kann das Ergebnis für den Bediener der Bodenverdichtungsmaschine sichtbar auf einer Anzeigeeinrichtung ausgegeben beziehungsweise angezeigt werden. Ergänzend oder alternativ ist auch beispielsweise eine akustische Ausgabe denkbar. Auf diese Weise erhält der Bediener unmittelbar eine Rückmeldung dazu, ob sein Steuern der Bodenverdichtungsmaschine beim zurückliegenden Reversieren in Bezug auf die resultierende Ebenheit des verdichteten Bodens optimal war oder nicht. Gegebenenfalls erhält der Bediener ebenfalls durch das Ergebnis eine Rückmeldung dazu, zu welchem Grad sein Steuern der Bodenverdichtungsmaschine beim zurückliegenden Reversieren von einem optimalen Steuern abgewichen ist. Diese Information kann vom Bediener dafür genutzt werden, das zukünftige Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine optimaler durchzuführen. Zwar liefert das Ergebnis des erfindungsgemäßen Vergleichs dem Bediener also lediglich eine Information über den bereits vollzogenen Ablauf des letzten Reversierens. Diese Information kann allerdings positiv für die Verbesserung jedes nachfolgenden Reversierens genutzt werden, wodurch insgesamt eine assistierte Bedienunterstützung der Bodenverdichtungsmaschine realisiert wird und die Ebenheit des Bodens nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten insgesamt verbessert ist. Da es sich um ein professionelles Arbeitsumfeld handelt, kann davon ausgegangen werden, dass der Bediener entsprechende Hinweise auch nach Möglichkeit umsetzt. Ergänzend kann das Ergebnis ebenfalls abgespeichert, also beispielsweise in einem Speicher der Steuereinrichtung hinterlegt werden. Der Bediener kann dann beispielsweise nach Abschluss des Arbeitseinsatzes das Ergebnis einsehen und auf diese Weise ein Feedback zum Arbeitsablauf erhalten. Auch dies kann dann für zukünftige Arbeitseinsätze genutzt werden, um die resultierende Ebenheit des verdichteten Bodens zu verbessern. Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die gespeicherten Ergebnisse ausgelesen werden, beispielsweise von einem Betreiber der Bodenverdichtungsmaschine, der nicht zwingend der Bediener sein muss. Dem Betreiber steht hierdurch also eine Rückmeldung über die Qualität der Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine zur Verfügung. Auf diese Weise kann der Betreiber beispielsweise feststellen, ob der Bediener zusätzliches Fahrertraining benötigt oder

nicht. Auch hierdurch lässt sich die Ebenheit des Bodens bei zukünftigen Arbeitseinsätzen verbessern. Um diesen Vorgang weiter zu vereinfachen, kann es beispielsweise vorgesehen sein, dass die Bodenverdichtungsmaschine eine Einrichtung zur Datenfernübertragung aufweist und das Ergebnis beziehungsweise die Ergebnisse des Vergleichens automatisch an den Betreiber übermittelt, beispielsweise auf einen zentralen Server des Betreibers hochgeladen, werden.

[0017] Grundsätzlich würde es ausreichen, wenn das Erfassen der Parameter Fahrgeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeitsänderung und/oder Fahrtrichtungsumkehr sowie Lenkwinkel und/oder Schwingungseintrag beziehungsweise mit den genannten Parametern korrelierender Größen in diskreten, insbesondere zeitlichen und/oder örtlichen, Abständen wiederholt werden würde. Solange die diskreten Abstände eng genug gewählt werden, um den Zeitpunkt des Reversierens der Bodenverdichtungsmaschine ausreichend genau zu bestimmen, kann das Verfahren mit derartigen Daten durchgeführt werden. Bevorzugt ist es allerdings vorgesehen, dass das Erfassen wenigstens eines der Parameter Fahrgeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeitsänderung und/oder Fahrtrichtungsumkehr oder wenigstens einer mit einem der genannten Parameter korrelierenden Größe und/oder das Erfassen des Lenkwinkels und/oder des Schwingungseintrags oder einer damit korrelierenden Größe kontinuierlich erfolgt. Auf diese Weise kann der Zeitpunkt des Reversierens besonders genau festgestellt werden. Darüber hinaus kann besonders genau festgestellt werden, welchen Wert die jeweiligen Parameter haben, beispielsweise zu einem Zeitpunkt, an dem eine gewisse Fahrgeschwindigkeit vorliegt oder an dem ein gewisser Schwingungseintrag erfolgt.

[0018] Wie bereits erwähnt, ist es der Fokus des erfindungsgemäßen Verfahrens, die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine um das Reversieren herum zu optimieren. Entsprechend kann das Intervall und vorzugsweise ergänzend die Wegstrecke derart festgelegt werden, dass nur die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine in unmittelbarer zeitlicher und/oder räumlicher Umgebung des Reversierens betrachtet wird. Beispielsweise kann die Größe des Intervalls beziehungsweise der Wegstrecke für jeden Einzelfall separat definiert sein, beispielsweise anhand von funktionalen Kriterien. Bevorzugt kann das Intervall beziehungsweise die Wegstrecke derart festgelegt werden, dass der Anfang dadurch vorgegeben wird, dass die Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine unter einen Schwellenwert sinkt, der signalisiert, dass ein Betrieb mit einer Arbeitsgeschwindigkeit in eine Fahrtrichtung beendet wird. Die Arbeitsgeschwindigkeit beschreibt dabei eine Fahrgeschwindigkeit, mit der die Bodenverdichtungsmaschine typischerweise im Arbeitsbetrieb betrieben wird, während sie eine Geradeausfahrt über zu verdichtenden Boden vollzieht. Derartige typische Arbeitsgeschwindigkeiten sind vom Typ der Bodenverdichtungsmaschine abhängig und dem Fachmann bekannt. Analog kann

das Ende des Intervalls beziehungsweise der Wegstrecke dadurch vorgegeben werden, dass die Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine über den Schwellenwert ansteigt, sodass signalisiert wird, dass wieder auf die Arbeitsgeschwindigkeit beschleunigt wird. Der Anfang und das Ende können dabei von demselben Schwellenwert oder von unterschiedlichen Schwellenwerten vorgegeben werden. Der Schwellenwert kann beispielsweise 3 km/h oder 5 km/h oder 7 km/h betragen. Die Arbeitsgeschwindigkeit kann fest vorgegeben sein und beispielsweise ebenfalls dem Schwellenwert entsprechen oder in einem festen Wert, beispielsweise 1 km/h oder 2 km/h oder 3 km/h, über dem Schwellenwert liegen. Bevorzugt werden das Intervall und/oder die Wegstrecke derart festgelegt, dass das Reversieren in der Mitte des Intervalls und/oder der Wegstrecke liegt. Beispielsweise kann das Intervall derart festgelegt werden, dass es maximal 20 Sekunden, bevorzugt maximal 15 Sekunden oder maximal 10 Sekunden und besonders bevorzugt maximal 5 Sekunden vor und/oder nach dem Reversieren umfasst. Ergänzend oder alternativ kann die Wegstrecke derart festgelegt werden, dass sie maximal 50 m, bevorzugt maximal 40 m oder maximal 30 m oder maximal 20 m oder maximal 10 m und besonders bevorzugt maximal 5 m vor und/oder nach dem Reversieren umfasst. Um das Intervall beziehungsweise die Wegstrecke derart festzulegen, muss selbstverständlich bereits der Zeitpunkt beziehungsweise der Ort des Reversierens ermittelt worden sein. Dies bedeutet, dass zumindest für diejenigen Parameter und Größen, die vor dem Reversieren erfasst werden müssen, zum Zeitpunkt, an dem feststeht, wann reversiert wurde, auf in der Vergangenheit erfasste Werte zurückgegriffen werden muss. Auch wenn das Verfahren dann nur auf Werte zurückgreift, die im betrachteten Intervall beziehungsweise in der betrachteten Wegstrecke liegen, so ist es daher dennoch bevorzugt, dass die Werte über den gesamten Arbeitsbetrieb der Bodenverdichtungsmaschine erfasst werden. Da allerdings nicht sämtliche dieser Daten benötigt werden, kann es beispielsweise bevorzugt vorgesehen sein, dass die Daten nur so lange vorgehalten beziehungsweise gespeichert werden, bis der Zeitpunkt des darauffolgenden Reversierens ermittelt wurde. Ab diesem Moment reicht es dann aus, nur die Daten beizubehalten, die innerhalb des betrachteten Intervalls beziehungsweise der betrachteten Wegstrecke liegen. Vorhergehende Daten können dagegen gelöscht werden. Hierfür kann bevorzugt ebenfalls eine Art rollierender Speicher eingesetzt werden, der immer die zuletzt erfassten Daten beziehungsweise Werte der erfassten Parameter enthält. Der rollierende Speicher kann dabei derart ausgelegt sein, dass er zumindest groß genug ist, die Daten aus demjenigen Teil des Intervalls und/oder der Wegstrecke abzuspeichern, die vor dem Reversieren liegt. Weiter zurückliegende Daten können dagegen überschrieben werden.

[0019] Wie bereits angedeutet, ist es bevorzugt, dass die zum Vergleichen herangezogenen Referenzwerte

einen Soll-Lenkswinkel umfassen, der angibt, wie groß der Lenkwinkel zum ermittelten Zeitpunkt des Reversierens mindestens sein soll. Der Soll-Lenkswinkel gibt mit anderen Worten also an, wie stark der Bediener der Bodenverdichtungsmaschine einlenken soll bzw. sollte, bevor die Bodenverdichtungsmaschine beim Reversieren in den Stillstand gelangt. Hierbei kommt es für den Effekt auf die Ebenheit des verdichteten Bodens erst einmal nicht auf die Richtung des Lenkwinkels an. Es ist daher unerheblich, ob nach links oder nach rechts eingelenkt wird. Dies kann also je nach den Gegebenheiten der Baustelle frei gewählt werden. Betrachtet wird daher beispielsweise lediglich der Betrag des Lenkwinkels in Abweichung von einer Geradeausfahrt. Entsprechend bezieht sich auch der Soll-Lenkswinkel auf den Betrag des Lenkwinkels in Abweichung von einer Geradeausfahrt. Der Soll-Lenkswinkel und/oder der Lenkwinkel kann insbesondere definiert sein als Abweichung der Walzrichtung der Bodenverdichtungsmaschine kurz vor dem Stillstand am Umkehrpunkt beim Reversieren von der Walzrichtung an diesem Umkehrpunkt bei wenigstens einer vorhergehenden oder nachfolgenden Überfahrt, bei der die Bodenverdichtungsmaschine kein Reversieren durchführt. Um dies beurteilen zu können, werden beispielsweise Positionsdaten über den gesamten Arbeitsablauf der Bodenverdichtungsmaschine gesammelt. Die Walzrichtung entspricht dabei insbesondere der aktuellen Fahrt- oder Arbeitsrichtung der Bodenverdichtungsmaschine. Auf diese Weise wird beispielsweise ebenfalls berücksichtigt, dass der zu verdichtende Boden auch in einer Kurve liegen kann. Der Lenkwinkel berücksichtigt dann die Abweichung durch das Einlenken von der Krümmung der Kurve. Insbesondere, wenn der zu verdichtende Boden in einer Kurve liegt, ist es darüber hinaus bevorzugt, dass das Einlenken entgegen der Kurvenrichtung erfolgt. Auch dies kann erfindungsgemäß überwacht werden und in die Wertung mit einfließen. Der Soll-Lenkswinkel kann sich darüber hinaus auf die vordere und/oder die hintere Walzbandage und/oder auf eine Schrägstellung der Bodenverdichtungsmaschine beziehen. Er beträgt beispielsweise mindestens 20°, bevorzugt mindestens 25° oder mindestens 30° oder mindestens 35° oder mindestens 40°, besonders bevorzugt mindestens 45° oder mindestens 50° oder mindestens 55° oder mindestens 60°.

[0020] Der Schwingungseintrag in den Boden muss vor dem Reversieren rechtzeitig verringert beziehungsweise reduziert werden. Insbesondere muss verhindert werden, dass die Bodenverdichtungsmaschine bei besonders langsamer Fahrt kurz vor dem Stillstand noch einen nennenswerten Schwingungseintrag in den Boden leistet. Nach dem Reversieren darf der Schwingungseintrag dann auch erst wieder gesteigert werden, wenn die Bodenverdichtungsmaschine bereits wieder auf eine ausreichend große Fahrgeschwindigkeit beschleunigt wurde. Es ist daher bevorzugt, dass vor dem Reversieren ein Reduzieren, insbesondere auf null, des Schwingungseintrags stattfindet und die zum Vergleichen he-

rangezogenen Referenzwerte einen Soll-Schwingungseintrag umfassen, der angibt, wie groß der Schwingungseintrag, insbesondere bezogen auf die Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine, maximal sein soll. Ergänzend ist es bevorzugt, dass nach dem Reversieren ein Erhöhen, insbesondere ausgehend von null, des Schwingungseintrags stattfindet und die zum Vergleichen herangezogenen Referenzwerte einen Soll-Schwingungseintrag umfassen, der angibt, wie groß der Schwingungseintrag, insbesondere bezogen auf die Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine, maximal sein soll. Wie bereits angesprochen, wird als Maß für den Schwingungseintrag bevorzugt der IPF-Wert herangezogen. Ergänzend oder alternativ kann die Frequenz, die Amplitude, die Exzentrizität und/oder die bereitgestellte Vibrationsenergie des Schwingungserregers herangezogen werden. Beispielsweise kann der Soll-Schwingungseintrag angeben, ab welcher Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine vor dem Reversieren kein Schwingungseintrag mehr und/oder ab welcher Fahrgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine nach dem Reversieren wieder ein Schwingungseintrag geleistet werden soll. Als optimal kann beispielsweise ein Reduzieren des Schwingungseintrags auf null bei noch konstanter Fahrgeschwindigkeit, also beispielsweise der Arbeitsgeschwindigkeit, gelten. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Arbeitsgeschwindigkeit nicht immer gleich sein muss und beispielsweise auch vor und nach dem Reversieren unterschiedlich sein kann. Ein Vorteil des IPF-Wertes liegt darin, dass er den Schwingungseintrag zugleich auf die zurückgelegte Wegstrecke bezieht und daher erst einmal unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist. Daher kann der Soll-Schwingungseintrag beispielsweise einen IPF-Wert als Grenzwert umfassen. Bevorzugt wird allerdings auch eine geringfügige Abweichung von diesem noch als optimal angesehen. Beispielsweise kann eine Abweichung von maximal 20 %, bevorzugt maximal 15 % oder maximal 10 % oder maximal 5 %, vom als Referenzwert für den Soll-Schwingungseintrag hinterlegten IPF-Wert noch als optimal angesehen werden. Dies kann entsprechend in das Vergleichen des Verfahrens und auch in die Wertung mit eingehen.

[0021] Wie bereits angesprochen, durchlaufen Schwingungserreger, insbesondere Kreiserreger, beim Ein- und Ausschalten unvermeidlich eine Resonanzfrequenz, bei der kurzzeitig vergrößerte Schwingamplituden auftreten und daher auch ein höherer Schwingungseintrag in den Boden stattfinden. Dies führt daher ebenfalls zu Wellen im Boden. Der Effekt tritt besonders beim Abschalten des Schwingungserregers, also vor dem Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine, auf. Um diese Wellen beim Reversieren möglichst gut zu glätten, sieht eine optimale Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine daher vor, dass die entstandenen Wellen nach dem Reversieren bereits mit möglichst hoher Verdichtungsleistung nochmals überfahren werden. Dies bedeutet, dass die Wellen im besten Fall ebenfalls mit hohem

Schwingungseintrag, beispielsweise der maximal vorgesehenen Arbeitsleistung des Schwingungserregers, überfahren werden sollen. Der Schwingungserreger muss daher beim Beschleunigen der Bodenverdichtungsmaschine nach dem Reversieren früher beziehungsweise näher am Umkehrpunkt wieder eingeschaltet werden, als er vor dem Reversieren ausgeschaltet wurde. Auch dies kann vom erfindungsgemäßen Verfahren überwacht werden und in die nachstehend noch näher erläuterte Wertung mit einfließen. Hierfür kann es bevorzugt vorgesehen sein, dass innerhalb des Intervalls und/oder der Wegstrecke eine Position des maximalen Schwingungseintrags vor dem Reversieren ermittelt wird, und dass der Referenzwert für den Soll-Schwingungseintrag angibt, mit welchem minimalen Schwingungseintrag diese Position nach dem Reversieren überfahren werden soll. Die Position des maximalen Schwingungseintrages bezeichnet insbesondere diejenige Position, an der der Schwingungserreger beim Reduzieren des Schwingungseintrages seine Resonanzfrequenz durchläuft. Die Ermittlung dieser Position kann beispielsweise über die Fahrgeschwindigkeit, die Fahrgeschwindigkeitsänderung oder eine Ortsbestimmung, beispielsweise per GNSS, wie vorstehend bereits beschrieben erfolgen. Beispielsweise kann der Soll-Schwingungseintrag vorgeben, dass diese Position nach dem Reversieren bereits mit einem Nenn-Schwingungseintrag, beispielsweise der maximalen Verdichtungsleistung des Schwingungserregers, überfahren werden soll. Der Nenn-Schwingungseintrag bezeichnet insbesondere einen Schwingungseintrag, mit dem der Schwingungserreger an der gegebenen Position des zu verdichtenden Bodens optimal arbeitet. Dies kann beispielsweise durch eine Automatik vorgegeben werden, wie beispielsweise durch den "Asphalt Manager" der Anmel-
 5 derin. Besonders bevorzugt wird die Position des maximalen Schwingungseintrages für jede Walzbandage der Bodenverdichtungsmaschine separat bestimmt und einzeln wie vorstehend beschrieben betrachtet.

[0022] Weist die Bodenverdichtungsmaschine eine vordere und eine hintere Walzbandage auf, die in Maschinenlängsrichtung voneinander beabstandet sind, so ist für eine optimale Steuerung der Bodenverdichtungs-
 10 maschine ebenfalls wichtig, dass die in aktueller Fahrtrichtung beziehungsweise Arbeitsrichtung hintere Walzbandage die Position des maximalen Schwingungseintrags der vorderen Walzbandage vor dem Reversieren noch überrollt. Wie vorstehend bereits erläutert, durchläuft der Schwingungserreger der vorderen Walzbandage beim Reduzieren des Schwingungseintrags seine Resonanzfrequenz und weist hierbei einen erhöhten Schwingungseintrag auf, der zu Wellenbildung führt. Diese Wellen sollen daher optimalerweise noch vor dem Reversieren von der hinteren Walzbandage über-
 15 rollt werden, wofür es wichtig ist, dass der Schwingungseintrag rechtzeitig vor dem Reversieren reduziert wird, also beispielsweise der Schwingungserreger rechtzeitig vor dem Reversieren abgeschaltet wird. Um auch dies im

erfindungsgemäßen Verfahren zu berücksichtigen, ist es bevorzugt, dass innerhalb des Intervalls und/oder der Wegstrecke eine Position des maximalen Schwingungseintrags einer vorderen Walzbandage der Bodenverdichtungsmaschine vor dem Reversieren ermittelt wird, und dass überwacht wird, ob eine hintere Walzbandage der Bodenverdichtungsmaschine diese Position vor dem Reversieren überfährt. Ob und gegebenenfalls zu welchem Grad dies gelingt oder nicht, kann dann ebenfalls in die nachstehend noch näher erläuterte Wertung mit ein-
 20 gehen.

[0023] Wie groß der Effekt der beschriebenen Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine durch den Bediener auf die Ebenheit des verdichteten Bodens tatsächlich ist, wird ebenfalls von äußeren Umständen beeinflusst. Diese werden vorliegend als Betriebszustände bezeichnet. Beispielsweise hängt die Konsistenz einer von einem Straßenfertiger verlegten Asphaltsschicht maßgeblich von deren Temperatur ab. Je heißer der Asphalt ist, desto einfacher entstehen unerwünschte Wellen, so dass ein Abweichen von den Referenzwerten größere Unebenheiten zur Folge hat als bei kühlerem Asphalt. Gleichzeitig wird die Temperatur des Asphalts ebenfalls von äußeren Umständen beeinflusst, beispielsweise vom Wetter. Auch die Bodensteifigkeit, bei der es also auch auf die Eigenschaften des unter dem Asphalt liegenden Bodens ankommt, nimmt hier einen Einfluss. Darüber hinaus macht es einen Unterschied, ob der zu verdichtende Boden ein Gefälle aufweist. Ein Gefälle kann beispielsweise die Auswirkungen des Abbremsens auf einer Asphaltsschicht positiv oder negativ beeinflussen, je nach Fahrtrichtung. Es ist daher insgesamt bevorzugt, dass beim Vergleichen der erfassten Werte mit den Referenzwerten zusätzlich wenigstens ein äußerer Betriebszustand mit berücksichtigt wird, wobei der Betriebszustand beispielsweise eine Bodentemperatur und/oder eine Bodensteifigkeit und/oder Wetterbedingungen und/oder ein Quer- und/oder Längsgefälle des Bodens umfasst. Die äußeren Betriebszustände können dabei entweder sensorisch erfasst werden, wozu die Bodenverdichtungsmaschine bevorzugt mit einem oder mehreren Sensoren ausgestattet ist, die die jeweiligen Betriebszustände detektieren können. Die Messergebnisse der Sensoren werden entsprechend an die Steuereinrichtung weitergeleitet, die die äußeren Betriebszustände dann beim Vergleichen berücksichtigen kann. Ergänzend oder alternativ können die äußeren Betriebszustände auch vom Bediener an der Steuereinrichtung eingegeben werden. Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die Referenzwerte anhand des Betriebszustands beziehungsweise der Betriebszustände anpasst. So kann es beispielsweise notwendig sein, strengere Referenzwerte anzuwenden, wenn die Bodentemperatur besonders hoch ist. Ist die Bodentemperatur dagegen besonders niedrig, können die Referenzwerte weniger streng gewählt werden, da der Einfluss der Fahrmanöver der Bodenverdichtungsmaschine auf kühlem Boden beziehungsweise Asphalt geringer ist. Auch die

Anpassung der Referenzwerte anhand der äußeren Betriebszustände kann qualitativ oder quantitativ erfolgen. Beispielsweise können die Referenzwerte um einen fest vorgegebenen Wert erhöht oder erniedrigt werden, wenn entsprechende äußere Betriebszustände vorliegen, beispielsweise besonders heißer Asphalt. Alternativ und bevorzugt kann es vorgesehen sein, dass die Anpassung der Referenzwerte graduell gemäß den äußeren Betriebszuständen modifiziert wird. Beispielsweise können die Referenzwerte für einen bestimmten Ausgangswert der äußeren Betriebszustände vorgegeben werden, beispielsweise Bodentemperatur, Außentemperatur, Niederschlagsmenge Gefällewinkel etc., und anhand einer Rechenvorschrift an hiervon abweichende äußere Betriebszustände angepasst werden. Die Referenzwerte werden in diesem Fall dynamisch und quantitativ an die äußeren Betriebszustände beziehungsweise die aktuellen Gegebenheiten der Baustelle angepasst.

[0024] Das Ausgeben des Ergebnisses des Vergleichs kann ein Anzeigen für den Bediener der Bodenverdichtungsmaschine umfassen. Wie bereits erläutert, kann der Bediener aufgrund dieses Feedbacks die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine für zukünftiges Reversieren anpassen, um optimale Ergebnisse in Bezug auf die Ebenheit des verdichteten Bodens zu erreichen. Bevorzugt ist es nun vorgesehen, dass dem Bediener in dem Fall, in dem eine Abweichung des Lenkwinkels und vorzugsweise ergänzend des Schwingungseintrags innerhalb des Intervalls und vorzugsweise ergänzend der Wegstrecke von den Referenzwerten festgestellt wurde, eine Handlungsanweisung angezeigt wird, wie die Abweichung zukünftig reduziert oder vermieden werden kann. Neben dem reinen Ergebnis des Vergleichs wird dem Bediener also auch eine Information vermittelt, wie er konkret die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine optimieren kann. Dies gilt ebenfalls für sämtlichen weiteren Aspekte der Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine, die hierin beschrieben sind, und die in die Wertung eingehen können. Auch diese können zur Anzeige von Hinweisen zur Verbesserung der Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine durch den Bediener genutzt werden. Derartige Hinweise können beispielsweise sein "Schwingungserreger früher ausschalten", "Schwingungserreger später einschalten" oder "beim Reversieren stärker einlenken". Es können auch mehrere derartige Hinweise gleichzeitig angezeigt werden, falls beim zugrundeliegenden Reversieren mehrere Abweichungen von den Referenzwerten festgestellt wurden. Diese Hinweise können beispielsweise optisch, insbesondere schriftlich, auf der Anzeigeeinrichtung angezeigt werden. Ergänzend oder alternativ ist es ebenfalls möglich, die Hinweise akustisch, beispielsweise über eine Sprachausgabe, auszugeben. Auf diese Weise wird dem Bediener der Bodenverdichtungsmaschine während des Betriebes automatisch assistiert, so dass ihm Einblicke in die Auswirkungen der Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine auf die Ebenheit des verdichteten Bodens bereitgestellt werden, über die üblicherweise nur

sehr erfahrene Bediener verfügen. Auch unerfahrene Bediener können so eine erhöhte Ebenheit des Bodens erreichen. Erfahrene Bediener wiederum können ihr Fachwissen weiter perfektionieren.

[0025] Um noch mehr Informationen für den Bediener bereitzustellen, kann es bevorzugt vorgesehen sein, dass dem Bediener mit der Handlungsanweisung ein Hinweis angezeigt wird, falls ein äußerer Betriebszustand zu einer Anpassung des oder der Referenzwerte geführt hat, die eine Abweichung des Lenkwinkels und/oder des Schwingungseintrags innerhalb des Intervalls und/oder der Wegstrecke von dem oder den Referenzwerten vergrößert. Dies kommt also immer dann zum Tragen, wenn äußere Betriebszustände vorliegen, die die Auswirkungen des Fahrverhaltens des Bedieners auf die Ebenheit des Bodens erhöhen. Derartige Hinweise können also beispielsweise "aufgrund der hohen Bodentemperatur beim Reversieren mehr einlenken", "aufgrund des hohen Gefälles beim Reversieren mehr einlenken" oder "aufgrund der niedrigen Bodensteifigkeit Schwingungserreger noch früher ausschalten" sein. Auf diese Weise wird dem Bediener neben der Verbesserung des aktuellen Arbeitsergebnisses zusätzliches Fachwissen vermittelt.

[0026] Grundsätzlich kann das Ergebnis des Vergleichs numerisch ausgegeben werden. Es könnte also ganz konkret die zahlenmäßige Abweichung des erfassten Lenkwinkels und/oder Schwingungseintrags von dem oder den Referenzwerten ausgegeben werden. Um dem Bediener allerdings nicht während sämtlicher weiteren Pflichten, die er während des Arbeitsbetriebes zu erfüllen hat, auch noch aufzubürden, dass er sich Gedanken darüber machen muss, wie schlimm die angezeigte Abweichung denn nun tatsächlich ist, ist es bevorzugt, dass das Ergebnis des Vergleichs automatisch gewertet wird. Es ist also bevorzugt, dass dem Ergebnis des Vergleichs eine Wertung zugeordnet wird, die mit höherer Abweichung von dem oder den Referenzwerten beziehungsweise der optimalen Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine schlechter wird, und die insbesondere ebenfalls ausgegeben oder abgespeichert wird. Beispielsweise könnten verschiedene Stufen definiert werden, die ein Spektrum von keiner Abweichung über geringfügige Abweichung bis zu hoher Abweichung abbilden. Hier könnte beispielsweise auf ein übliches Notensystem, beispielsweise in Stufen von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend), zurückgegriffen werden. Alternativ wäre auch eine Wertung in weniger Stufen, beispielsweise in drei Stufen, möglich. Diese könnten beispielsweise "keine Abweichung", "geringe Abweichung" und "hohe Abweichung" sein. Die jeweiligen Grenzwerte der einzelnen Stufen können entweder fest vorgegeben sein oder vom Bediener oder Betreiber der Bodenverdichtungsmaschine einstellbar sein. So kann beispielsweise berücksichtigt werden, dass bei unterschiedlichen Baustellen unterschiedliche Anforderungen an die Ebenheit des verdichteten Bodens vorliegen können. Um das Ablesen der Wertung für den Bediener noch einfacher zu

gestalten, kann es vorgesehen sein, die Wertung in Form eines Symbols, beispielsweise eines Piktogramms oder eines Smileys mit einem der Wertung entsprechenden Gesichtsausdruck, anzuzeigen.

[0027] Neben den genannten Kriterien kann das Verfahren auch weitere Punkte überwachen, die Einfluss auf die Ebenheit des verdichteten Bodens nehmen können. Wie bereits beschrieben, muss die Bodenverdichtungsmaschine zum Reversieren abgebremst und danach wieder beschleunigt werden. Sowohl das Abbremsen als auch das Beschleunigen der Bodenverdichtungsmaschine soll dabei möglichst sanft erfolgen, also ohne ruckartige beziehungsweise sprunghafte Veränderungen der Fahrgeschwindigkeit. Derartige ruckartige Änderungen der Fahrgeschwindigkeit können ebenfalls zu Wellen im Boden führen. Es ist daher bevorzugt vorgesehen, dass ebenfalls ruckartige Veränderungen der Fahrgeschwindigkeit erfasst werden und in die Wertung mit eingehen. Insbesondere werden ruckartige Veränderungen der Fahrgeschwindigkeit innerhalb des Intervalls und/oder innerhalb der Wegstrecke erfasst. Derartige Fälle sind von einem schnellen betragsmäßigen Anstieg der Fahrgeschwindigkeit und/oder der Beschleunigung, also der Fahrgeschwindigkeitsänderung, der Bodenverdichtungsmaschine gekennzeichnet. Auch hierfür können entsprechend Schwellenwerte vorgesehen sein, die zum Erkennen von ruckartigen Veränderungen der Fahrgeschwindigkeit dienen. Werden derartige ruckartigen Änderungen erfasst, so kann dies in die Wertung mit eingehen und insbesondere auch in der Handlungsanweisung berücksichtigt werden. Es wird dann beispielsweise ein Hinweis mit angezeigt, dass sanfter gebremst oder beschleunigt werden soll.

[0028] Grundsätzlich lässt sich bereits eine assistierte Bedienunterstützung und eine damit verbundene Verbesserung der Ebenheit des verdichteten Bodens erreichen, wenn das erfindungsgemäße Verfahren nur auf ein einziges Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine angewendet wird. Der Bediener kann dann das hieraus entstehende Feedback nutzen, um zukünftiges Reversieren gegebenenfalls optimaler zu gestalten. Bevorzugt ist es allerdings, dass das Verfahren für mehrere, insbesondere sämtliche Reversiervorgänge innerhalb eines Arbeitsintervalls durchgeführt wird. Auf diese Weise wird der Bediener durchgehend assistiert und ein optimales Arbeitsergebnis erzielt. Ein Arbeitsintervall beschreibt dabei beispielsweise einen Arbeitstag eines Bedieners oder eine Arbeitszeit eines Bedieners auf einer bestimmten Baustelle. Grundsätzlich könnten allerdings auch kleinere Arbeitsintervalle gewährt werden, beispielsweise eine oder mehrere Stunden eines Arbeitstages oder Arbeitseinsatzes. Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass aus den einzelnen Wertungen sämtlicher Reversiervorgänge des Arbeitsintervalls eine Gesamtwertung erstellt wird, die ebenfalls ausgegeben oder abgespeichert wird. Die Gesamtwertung kann dabei beispielsweise demselben Schema folgen wie die Wertung eines einzelnen Reversierens. Beispielsweise kann hier also

auch ein Schulnotensystem oder ähnliches eingesetzt werden. Bei der Gesamtwertung handelt es sich beispielsweise um den Mittelwert sämtlicher Wertungen des Arbeitsintervalls. Die Gesamtwertung kann vom Bediener dazu herangezogen werden, herauszufinden, ob die von ihm durchgeführte Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine für die aktuelle Baustelle angemessen war und/oder ob sich seine Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine verbessert oder verschlechtert hat. Gleichzeitig kann ein Betreiber der Bodenverdichtungsmaschine feststellen, ob und welche Bediener zusätzlichen Schulungs- oder Trainingsbedarf haben.

[0029] Das vorstehend beschriebene Verfahren ermittelt somit bevorzugt einen oder mehrere genannte Parameter, identifiziert daraus einen Reversiervorgang, beispielsweise durch Ermittlung einer Fahrrichtungsumkehr, vergleicht dann den tatsächlichen Reversiervorgang hinsichtlich eines oder mehrerer der genannten Parameter mit einem optimalen Reversiervorgang, beispielsweise durch einen Vergleich mit einem oder mehreren Kennfeldern, Formeln etc., und bewertet anhand dieses Vergleichs, wie nah der tatsächlich erfolgte Reversiervorgang herankommt in der vorstehend beschriebenen Weise. Dieses Bewertungsergebnis kann dann beispielsweise dem Fahrer angezeigt werden, der auf diese Weise auch bereits im laufenden Fahrbetrieb einen Hinweis bekommt, wie er seine Fahrweise in dieser Betriebsituation weiter optimieren kann.

[0030] Es ist möglich, eine Bodenverdichtungsmaschine, insbesondere Tandemwalze oder Walzenzug, mit wenigstens einer Walzbandage und einer Steuereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens auszubilden. Insbesondere kann die Steuereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens, selbstverständlich mit Ausnahme des Verfahrensschrittes des Steuerns der Bodenverdichtungsmaschine durch den Bediener, ausgebildet sein. Die Bodenverdichtungsmaschine kann dabei wie die eingangs beschriebene Bodenverdichtungsmaschine ausgestattet sein. Sämtliche für das erfindungsgemäße Verfahren beschriebenen Merkmale, Wirkungen und Vorteile gelten im übertragenen Sinne ebenfalls für eine solche Bodenverdichtungsmaschine und umgekehrt. Es wird lediglich zur Vermeidung von Wiederholungen auf die jeweils anderen Ausführungen Bezug genommen.

[0031] Die Erfindung wird nachstehend anhand der in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen schematisch:

- Figur 1: eine Seitenansicht einer Tandemwalze;
- Figur 2: eine Seitenansicht eines Walzenzuges;
- Figur 3: das Auftreten von Wellen im Boden beim Reversieren ohne Einlenken;
- Figur 4: das Auftreten von schrägen Wellen im Boden beim Reversieren mit Einlenken;

- Figur 5: das Auftreten von Wellen im Boden durch zu spätes Reduzieren des Schwingungseintrags;
- Figur 6: die Vermeidung von Wellen im Boden durch frühzeitiges Reduzieren des Schwingungseintrags;
- Figur 7: den Verlauf verschiedener Parameter beim Reversieren;
- Figur 8: die Ausgabe einer positiven Wertung und einer Handlungsanweisung;
- Figur 9: die Ausgabe einer mittleren Wertung und einer Handlungsanweisung;
- Figur 10: die Ausgabe einer schlechten Wertung und einer Handlungsanweisung; und
- Figur 11: ein Ablaufdiagramm des Verfahrens.

[0032] Gleiche beziehungsweise gleich wirkende Bauteile sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen beziffert. Sich wiederholende Bauteile sind nicht in jeder Figur gesondert bezeichnet.

[0033] In den Figuren 1 und 2 sind zwei Bodenverdichtungsmaschinen 1 dargestellt. Konkret zeigt Figur 1 eine Tandemwalze und Figur 2 einen Walzenzug. Die Bodenverdichtungsmaschinen 1 weisen bevorzugt einen Maschinenrahmen 3 und einen Fahrerstand 2 auf. Die Tandemwalze gemäß Figur 1 weist bevorzugt eine vordere und eine hintere Walzbandage 5 auf, während der Walzenzug gemäß Figur 2 bevorzugt eine vordere Walzbandage 5 und am Hinterrahmen bevorzugt Räder 7 aufweist. Im Arbeitsbetrieb fahren die Bodenverdichtungsmaschinen 1 bevorzugt in oder entgegen der Arbeitsrichtung R über den Boden 8, beispielsweise eine von einem Straßenfertiger verlegte Asphalttschicht, und verdichten diesen. Hierfür weisen sie bevorzugt einen Antriebsmotor 4 auf, der beispielsweise ein Verbrennungsmotor oder ein Elektromotor sein kann. Die Walzbandagen 5 können jeweils mit einem Schwingungserreger 10 ausgestattet sein, der die jeweilige Walzbandage 5 zur Beeinflussung der Verdichtungsleistung in Schwingungen versetzt. Die Bodenverdichtungsmaschinen 1 umfassen ferner bevorzugt eine Steuereinrichtung 6, die insbesondere die wesentlichen Schritte des Verfahrens ausführt. Hierfür kann die Steuereinrichtung 6 ebenfalls mit einer Anzeigeeinrichtungen 9, beispielsweise einem Display, verbunden sein. Ferner können Eingabeeinrichtungen, wie beispielsweise Taster, Hebel etc. vorhanden sein, über die der Fahrer der Bodenverdichtungsmaschine Steuerbefehle, beispielsweise hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeit, Lenkvorgaben, Einstellungen zu einer Erregereinrichtung etc., vornehmen kann. Darüber hinaus kann die Steuereinrichtung 6 mit einem Sensor 11 oder mit mehreren Sensoren 11 einer

oder mehrerer Erfassungseinrichtungen verbunden sein, der oder die zur Erfassung einer Fahrgeschwindigkeitsänderung und bevorzugt ergänzend zur Erfassung der Fahrgeschwindigkeit und/oder der Fahrtrichtungs-umkehr und/oder des Lenkwinkels und/oder des Schwingungseintrages oder von hiermit korrelierenden Größen ausgebildet sind. Um das Ergebnis des erfindungsgemäßen Vergleichs auch kabellos beispielsweise an einen zentralen Server übermitteln zu können, kann die Bodenverdichtungsmaschine 1 darüber hinaus eine Datenübertragungseinrichtung 12 aufweisen, die beispielsweise dazu ausgebildet sein kann, Daten über das Internet oder über eine andere kabellose Datenverbindung zu übertragen.

[0034] In Figur 3 ist ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 dargestellt. Insbesondere zeigen die Darstellungen a) bis e) dieselbe Bodenverdichtungsmaschine 1 auf demselben Baustellenabschnitt in Draufsicht aus der Vogelperspektive, allerdings in zeitlich aufeinander folgenden Momentaufnahmen. So fährt die Bodenverdichtungsmaschine 1 in Darstellung a) mit einer Fahrgeschwindigkeit v in Arbeitsrichtung R, wobei die Fahrgeschwindigkeit v in Darstellung a) einer Arbeitsgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine 1 entspricht, in der diese üblicherweise den Boden 8 verdichtet. In Darstellung b) wurde die Bodenverdichtungsmaschine 1 bereits teilweise abgebremst, sodass die Fahrgeschwindigkeit v kleiner ist als diejenige der Darstellung a). In Darstellung c) ist die Bodenverdichtungsmaschine 1 zum Stillstand gekommen. Der in Darstellung c) dargestellte Zeitpunkt ist also der Zeitpunkt des Reversierens beziehungsweise der Umkehrpunkt der Bodenverdichtungsmaschine 1, wenn die Maschine, wie in d) dargestellt, in entgegengesetzter Fahrtrichtung wieder anfährt. Zum Zeitpunkt der Darstellung d) wiederum ist die Bodenverdichtungsmaschine 1 bereits in entgegengesetzter Fahrtrichtung, also entgegen der Arbeitsrichtung R beschleunigt worden und fährt mit einer Fahrgeschwindigkeit v, die betragsmäßig allerdings noch unter der Arbeitsgeschwindigkeit bzw. der zu erreichenden Arbeitsgeschwindigkeit der Bodenverdichtungsmaschine 1 liegt. In der Situation gemäß Darstellung e) ist die Bodenverdichtungsmaschine 1 wieder auf eine Fahrgeschwindigkeit v beschleunigt worden, die der Arbeitsgeschwindigkeit entspricht. Die Wegstrecke L, auf die sich das Verfahren beispielsweise beziehen kann, kann durch den Abstand des Umkehrpunktes der Bodenverdichtungsmaschine 1 bis zu demjenigen Ort verlaufen, an dem die Bodenverdichtungsmaschine 1 wieder eine Fahrgeschwindigkeit v erreicht hat, die der vorgegebenen Arbeitsgeschwindigkeit entspricht. Alternativ kann die Wegstrecke L auch durch eine Distanz vorgegeben sein, beispielsweise 30 m.

[0035] Wie in Figur 3 in den Darstellungen d) und e) gezeigt ist, hinterlässt die Bodenverdichtungsmaschine 1 beziehungsweise deren Walzbandagen 5 am Ort des Reversierens beziehungsweise am Umkehrpunkt der Bodenverdichtungsmaschine 1 jeweils eine Bodenwelle

13. Im Fall der Figur 3 sind diese Bodenwellen 13 senkrecht zur Arbeitsrichtung R ausgerichtet, da beim Reversieren nicht eingelenkt wurde. Derartige Bodenwellen 13 werden bei nachfolgenden Überfahrten der Bodenverdichtungsmaschine 1 nur schlecht geglättet. Es besteht daher eine erhöhte Gefahr, dass die Bodenwellen 13 auch am Ende der Arbeit noch die Ebenheit des Bodens 8 negativ beeinflussen. Figur 4 zeigt denselben Vorgang wie Figur 3. Der einzige Unterschied liegt darin, dass der Bediener der Bodenverdichtungsmaschine 1 in Figur 4 beim Reversieren einlenkt, wie insbesondere in Darstellung c) gezeigt. Durch das Einlenken sind die entstehenden Bodenwellen 13 hinsichtlich des Längsverlaufes ihres Wellentals nicht mehr senkrecht zur Arbeitsrichtung R, sondern schräg zur Arbeitsrichtung R ausgerichtet. Derartige Bodenwellen 13 werden bei nachfolgenden Überfahrten der Bodenverdichtungsmaschine 1 deutlich effizienter geglättet als die Bodenwellen 13 gemäß Figur 3, da sie in einem schrägen Winkel überfahren werden. Insgesamt entsteht daher durch das Vorgehen gemäß Figur 4 ein deutlich ebenerer verdichteter Boden 8.

[0036] Die Figuren 5 und 6 zeigen den Ablauf eines Reversierens der Bodenverdichtungsmaschine 1, analog zu den Figuren 3 und 4. In den Figuren 5 und 6 sind nun Einwirkungen 14 von Schwingungen der Walzbandagen 5 auf den Boden 8 gezeigt. Die Einwirkungen 14 können dabei als *Impacts* im Sinne eines IPF-Wertes verstanden werden. Beispielsweise zeigt eine Einwirkung 14 einen Ort an, an dem durch die Schwingung der Walzbandage 5 diese auf den Boden 8 gedrückt wird. Mit anderen Worten wird an den Orten der Einwirkungen 14 Schwingungsenergie auf den Boden 8 übertragen. Der Abstand zwischen den Einwirkungen 14 ist dabei ein Maß für den Schwingungseintrag, wobei näher aneinander dargestellte Einwirkungen 14 einen höheren Schwingungseintrag bedeuten. Selbstredend handelt es sich bei den Figuren 5 und 6 lediglich um Prinzipskizzen, die die zugrundeliegenden Vorgänge verständlich machen sollen, diese allerdings nicht in realistischer Weise darstellen.

[0037] In Figur 5 sind zwei separate Fehler in der Bedienung durch den Bediener gezeigt. Insbesondere zeigen die Darstellungen a) bis c) den Fall, dass der Schwingungseintrag in den Boden 8 zu spät vor dem Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 reduziert wird, beispielsweise auf null. Das Reduzieren des Schwingungseintrags wird beispielsweise dadurch erreicht, dass der Schwingungserreger 10 beziehungsweise die Vibration der Walzbandage 5 abgeschaltet wird. Das Reduzieren des Schwingungseintrags erfolgt erst zu einem Zeitpunkt, bei dem die Bodenverdichtungsmaschine 1 bereits auf eine Fahrgeschwindigkeit v abgebremst wurde, die so klein ist, dass auf einer kurzen Wegstrecke zu viele Einwirkungen 14 beziehungsweise ein zu großer Schwingungseintrag stattfindet. Dies ist durch die eng aneinander angeordneten Einwirkungen 14 in Darstellung c) gezeigt. Dort, wo die Einwirkungen 14 zu eng aneinander liegen beziehungsweise der

Schwingungseintrag zu groß ist, können Bodenwellen entstehen, die der Ebenheit des zurückgelassenen Bodens 8 nach der Arbeit abträglich sind. In den Darstellungen d) und e) ist dagegen der Fall dargestellt, dass der Schwingungseintrag in den Boden 8 zu früh nach dem Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 wieder erhöht wird, beispielsweise ausgehend von null. Hierfür wird beispielsweise der Schwingungserreger 10 beziehungsweise die Vibration der Walzbandage 5 eingeschaltet. Insbesondere wird der Schwingungseintrag zu einem Zeitpunkt erhöht, an dem die Bodenverdichtungsmaschine 1 erst auf eine zu kleine Fahrgeschwindigkeit v beschleunigt wurde, so dass es wieder dazu kommt, dass die Einwirkungen 14 zumindest über eine Teilstrecke hinweg zu eng aneinander liegen beziehungsweise der Schwingungseintrag zu groß ist, wodurch wiederum Bodenwellen entstehen können. Dies wird in den Darstellungen d) und e) ebenfalls durch die nah aneinander liegenden Einwirkungen 14 gezeigt. Im schlimmsten Fall treten die gezeigten Fälle gemäß den Darstellungen a) bis c) und d) bis e) gemeinsam bei einem einzigen Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 auf. Selbstverständlich können die beiden Fälle allerdings auch alleine bei einem Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 auftreten. Dies wird gegebenenfalls in der Wertung des Reversierens berücksichtigt.

[0038] Auch in Figur 6 ist der Ablauf eines Reversierens der Bodenverdichtungsmaschine 1 gezeigt. In Figur 6 ist in den Darstellungen a) bis c) dargestellt, dass die Bodenverdichtungsmaschine 1 zum Reversieren abbremsen, wobei hier insbesondere der Schwingungseintrag rechtzeitig vor dem Stillstand reduziert wird. Beispielsweise wird der Schwingungserreger 10 ausreichend früh abgeschaltet, so dass der Rückgang der Fahrgeschwindigkeit v der Bodenverdichtungsmaschine 1 durch einen Rückgang des Schwingungseintrags, beispielsweise durch ein Abnehmen der Frequenz des Schwingungserregers 10, ausgeglichen wird. Der Schwingungseintrag nimmt daher im Wesentlichen im gleichen Maße wie die Fahrgeschwindigkeit v ab und es entstehen keine Teilstrecken, auf denen der Schwingungseintrag zu groß ist, sprich, auf denen zu stark verdichtet wird. Dies ist durch den gleichmäßigen Abstand der Einwirkungen 14 dargestellt. Auf diese Weise entstehen auch keine oder zumindest keine nennenswerten Bodenwellen, die der Ebenheit des verdichteten Bodens 8 am Ende des Arbeitsbetriebes abträglich sind. In den Darstellungen d) und e) der Figur 6 ist derjenige Fall dargestellt, in dem die Bodenverdichtungsmaschine 1 nach der Fahrtrichtungsumkehr erneut beschleunigt. Hierbei wird der Schwingungseintrag in den Boden 8 allerdings erst zu einem Zeitpunkt wieder erhöht, bei dem die Fahrgeschwindigkeit v der Bodenverdichtungsmaschine 1 bereits ausreichend hoch ist, sodass auch hier keine Teilstrecken mit zu hohem Schwingungseintrag entstehen. Beispielsweise wird hierzu der Schwingungserreger 10 erst dann wieder angeschaltet, nach-

dem die Bodenverdichtungsmaschine 1 eine ausreichend große Fahrgeschwindigkeit v erreicht hat. Auf diese Weise wird die Entstehung von Bodenwellen verhindert, was durch den gleichmäßigen Abstand der Einwirkungen 14 dargestellt ist. In Figur 6 ist daher ein Reversieren dargestellt, bei dem sowohl vor als auch nach dem Umkehrpunkt optimal gesteuert wird. Wie bereits erläutert, können Fehler allerdings auch separat voneinander vor oder nach dem Umkehrpunkt auftreten, was entsprechend in der Wertung berücksichtigt wird.

[0039] Die in den Figuren 4 und 6 jeweils optimierten Prozesse werden zudem besonders bevorzugt miteinander kombiniert, d.h. es erfolgt bevorzugt ein Schrägeinlenken, wie in Fig. 4 gezeigt, und ein ausreichend frühes und spätes Aus- und Einschalten der Schwingungserreger, wie in Fig. 6 dargestellt.

[0040] Figur 7 zeigt den zeitlichen Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit v , der Fahrgeschwindigkeitsänderung a sowie dem Lenkwinkel w und dem Schwingungseintrag S der Bodenverdichtungsmaschine 1. Hierfür sind für diese jeweiligen Werte Diagramme übereinander dargestellt, deren Abszisse jeweils die Zeit t angibt, die über sämtliche Diagramme der Figur 7 hinweg synchronisiert ist. Auf der Ordinate der jeweiligen Diagramme sind dann die entsprechenden Werte der genannten Parameter aufgetragen.

[0041] Das oberste Diagramm der Figur 7 zeigt beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit v der Bodenverdichtungsmaschine 1. Von links nach rechts ist dargestellt, dass die Bodenverdichtungsmaschine 1 aus dem Stillstand beschleunigt wird, bis sie eine konstante Fahrgeschwindigkeit v erreicht hat, beispielsweise die Arbeitsgeschwindigkeit. Nachdem die Bodenverdichtungsmaschine 1 eine Strecke mit dieser Fahrgeschwindigkeit v zurückgelegt hat, wird sie wieder bis in den Stillstand abgebremst. Anschließend wird sie wieder in dieselbe Richtung wie zuvor beschleunigt, bis sie wieder eine konstante Fahrgeschwindigkeit v erreicht hat. Bei diesem Vorgang handelt es sich also um ein Abbremsen und nachfolgendes Beschleunigen der Bodenverdichtungsmaschine 1, wobei sich die Fahrtrichtung nicht geändert hat. Zwar kann auch dieser Vorgang auf die Ebenheit des Bodens 8 nach der Arbeit Einfluss nehmen, es handelt sich hierbei allerdings nicht um ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1, worauf es vorliegend besonders ankommen soll. Nach einer Strecke mit konstanter Fahrgeschwindigkeit v wird die Bodenverdichtungsmaschine 1 erneut bis zum Stillstand abgebremst, dann allerdings in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt, beispielsweise wieder bis auf die Arbeitsgeschwindigkeit, nur in der entgegengesetzten Richtung. Mit anderen Worten hat hier ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 stattgefunden. Der Zeitabschnitt um das Reversieren wird als Intervall T bezeichnet. Dieses kann beispielsweise einen festen Betrag haben oder alternativ auch beispielsweise dadurch festgelegt werden, wann die Bodenverdichtungsmaschine 1 vor dem Reversieren aus der Arbeitsgeschwindigkeit

abgebremst und nach dem Reversieren wieder auf die Arbeitsgeschwindigkeit beschleunigt wurde. Im weiteren Verlauf fährt die Bodenverdichtungsmaschine 1 mit im Wesentlichen konstanter Fahrgeschwindigkeit v , beispielsweise der Arbeitsgeschwindigkeit, und wird dann erneut reversiert. Die Bodenverdichtungsmaschine 1 wird also wieder bis auf den Stillstand abgebremst und danach in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt. Auch dieses Reversieren findet innerhalb eines zeitlichen Intervalls T statt. Dieses zweite Intervall T kann grundsätzlich genauso groß sein wie das erste Intervall T . Es ist allerdings auch denkbar, dass die Intervalle T unterschiedlich groß sind, beispielsweise insbesondere dann, wenn diese funktional festgelegt werden, beispielsweise anhand eines Wertes der Fahrgeschwindigkeit v . Aus dem Diagramm der Fahrgeschwindigkeit v geht darüber hinaus ebenfalls hervor, wie anhand der Fahrgeschwindigkeit v oder einer Fahrtrichtungsumkehr auf ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 geschlossen werden kann. Dies ergibt sich insbesondere aus einer Umkehr des Vorzeichens der Fahrgeschwindigkeit v .

[0042] Direkt unter dem Diagramm der Fahrgeschwindigkeit v zeigt Figur 7 ein Diagramm der Beschleunigung beziehungsweise der Fahrgeschwindigkeitsänderung a der Bodenverdichtungsmaschine 1. Wie gezeigt kann auch die Fahrgeschwindigkeitsänderung a zur Identifizierung eines Reversierens der Bodenverdichtungsmaschine 1 genutzt werden. Insbesondere ergibt sich beim Reversieren eine durch den Stillstand der Maschine getrennte zweifache Fahrgeschwindigkeitsänderung a in dieselbe Richtung, woraus auf ein Reversieren geschlossen werden kann. Wie sich aus dem linken Teil des Diagramms ergibt, liegt eine derartige doppelte, gleich gerichtete Fahrgeschwindigkeitsänderung a bei einer unterbrochenen Geradeausfahrt in einer Richtung nicht vor.

[0043] Unter dem Diagramm der Fahrgeschwindigkeitsänderung a ist in Figur 7 ein Diagramm des Lenkwinkels w gezeigt. Da es auf die Richtung des Einlenkens beim Reversieren nicht ankommt, zumindest in Bezug auf die Ebenheit des Bodens 8 nach dem Arbeitsbetrieb, ist lediglich der Betrag des Lenkwinkels w dargestellt. Darüber hinaus zeigt das Diagramm lediglich Lenkwinkel w , die einem Einlenken während des Reversierens innerhalb der Intervalle T entsprechen. Andere, während der Fahrt der Bodenverdichtungsmaschine 1 auftretende Lenkwinkel w sind nicht dargestellt. Insbesondere zeigt das Diagramm, dass der Lenkwinkel w im ersten, links dargestellten, Intervall T unter einem durch die gestrichelte Linie parallel zur Abszisse dargestellten Schwellenwert bleibt. Dies bedeutet, dass der Bediener während diesem Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 nicht ausreichend eingelenkt hat, sodass die am Umkehrpunkt entstehenden Bodenwellen 13 nicht ausreichend schräg zur Arbeitsrichtung R ausgerichtet sind, um in nachfolgenden Überfahrten der Bodenverdichtungsmaschine 1 optimal geglättet zu werden. Mit

anderen Worten liegt eine Abweichung von einem Referenzwert vor, der beispielsweise durch den angedeuteten Schwellenwert gegeben ist. Die ansprechende Abweichung kann quantitativ bestimmt werden und geht in eine entsprechende Wertung des Reversierens der Bodenverdichtungsmaschine 1 durch den Bediener ein. Die Situation des Reversierens im ersten, links dargestellten Intervall T entspricht daher derjenigen gemäß Figur 3. Im Gegensatz dazu zeigt das Diagramm, dass der Lenkwinkel w im zweiten, rechts dargestellten, Intervall T über dem durch die gestrichelte Linie parallel zur Abszisse dargestellten Schwellenwert liegt. Hier hat der Bediener also beim Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 ausreichend weit eingelenkt, was dazu führt, dass die am Umkehrpunkt entstehenden Bodenwellen 13 derart schräg zur Arbeitsrichtung R ausgerichtet sind, dass sie bei nachfolgenden Überfahrten der Bodenverdichtungsmaschine 1 optimal geglättet werden können. Auf diese Weise wird daher insgesamt die Ebenheit des von der Bodenverdichtungsmaschine 1 hinterlassenen, verdichteten Bodens 8 positiv beeinflusst. Die Situation des Reversierens im zweiten, rechts dargestellten Intervall T entspricht daher derjenigen gemäß Figur 4.

[0044] Das unterste in Figur 7 dargestellte Diagramm betrifft den Schwingungseintrag S . Um eine punktuell zu starke Verdichtung des Bodens 8 zu vermeiden, da diese zu Wellenbildung führen würde, ist es im Arbeitsbetrieb der Bodenverdichtungsmaschine 1 vorgesehen, dass der Schwingungseintrag S nur dann erhöht wird, beziehungsweise der Schwingungserreger 10 nur dann mit einer Energieübertragung auf den Boden 8 betrieben wird, wenn die Bodenverdichtungsmaschine 1 mit einer ausreichenden Fahrgeschwindigkeit v fährt. Dies ist beispielsweise auch links im Diagramm bei der pausierten Vorwärtsfahrt der Bodenverdichtungsmaschine 1 dargestellt. Auch hier hat allerdings das Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 einen besonderen Stellenwert, schon alleine, weil es im Arbeitsbetrieb der Bodenverdichtungsmaschine 1 besonders häufig vorkommt. Wie in den Intervallen T um das Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 dargestellt ist, wird der Schwingungseintrag S vor dem Stillstand der Maschine reduziert, insbesondere auf null. Nach der Fahrrichtungsumkehr wiederum wird der Schwingungseintrag S dann typischerweise wieder erhöht. Es kann allerdings auch vorkommen, dass nur vor oder nur nach dem Reversieren ein Schwingungseintrag S genutzt wird beziehungsweise vorliegt. Auch dann kann das Verfahren auf das Reduzieren des Schwingungseintrages S vor dem Reversieren oder auf das Erhöhen des Schwingungseintrags S nach dem Reversieren angewendet werden. Insbesondere zeigt das Diagramm im ersten, links dargestellten, Intervall T, dass der Schwingungseintrag S frühzeitig vor dem Reversieren reduziert wird, so dass die Fahrgeschwindigkeit v ausreichend groß ist, so lange noch ein Schwingungseintrag S vorliegt. Darüber hinaus wird der Schwingungseintrag S erst dann wieder erhöht, wenn die Bodenverdichtungsmaschine

1 eine ausreichende Fahrgeschwindigkeit v erreicht hat. Es entstehen hierbei also keine Streckenabschnitte, in denen ein übermäßiges Verdichten des Bodens 8 stattfindet oder in denen ein übermäßiger Schwingungseintrag S vorliegt. Die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine 1 in diesem Intervall T ist daher optimal bezüglich der Ebenheit des hinterlassenen Bodens 8. Die Situation entspricht daher derjenigen der Figur 6. Darüber hinaus zeigt das Diagramm im zweiten, rechts dargestellten, Intervall T, dass der Schwingungseintrag S vor dem Stillstand der Maschine beim Reversieren zu spät reduziert wird. Der Schwingungseintrag S ist auch dann noch maximal, wenn die Fahrgeschwindigkeit v der Bodenverdichtungsmaschine 1 bereits in einem Maße abgenommen hat, die dazu führt, dass der von der Bodenverdichtungsmaschine 1 überfahrene Boden 8 zu stark verdichtet wird. In diesem Fall kommt es also zu Bodenwellen, die die Ebenheit des hinterlassenen Bodens 8 negativ beeinflussen. Nach dem Umkehrpunkt dagegen entspricht das Erhöhen des Schwingungseintrags S demjenigen des vorhergehenden Intervalls T, so dass der Schwingungseintrag S erst dann erhöht wird, wenn die Fahrgeschwindigkeit v der Bodenverdichtungsmaschine 1 bereits ausreichend groß ist. Die dargestellte Situation im zweiten, rechts dargestellten, Intervall T ist also zusammengesetzt aus analogen Situationen zu den Darstellungen a) bis c) der Figur 5 und den Darstellungen d) und e) der Figur 6.

[0045] Die Figuren 8, 9 und 10 zeigen beispielhaft, wie eine Anzeige des Ergebnisses des Vergleichs im Zuge der Ausgabe an der Anzeigeeinrichtung 9 aussehen könnte. Die Anzeigeeinrichtung 9 kann beispielsweise einen Bildschirm oder ein Display sein, welcher mit der Steuereinrichtung 6 verbunden ist. Das Ausgeben des Ergebnisses des Vergleichs kann dabei beispielsweise über ein Wertungssymbol 15 erfolgen, welches die vom Vergleich ermittelte Wertung symbolisiert. Im gezeigten Beispiel handelt es sich bei dem Wertungssymbol 15 um einen Smiley, der je nach dem Ergebnis des Vergleichs beziehungsweise je nach Qualität der Wertung beispielsweise ein Einhalten der Referenzwerte (Figur 8), eine geringfügige Abweichung von den Referenzwerten (Figur 9) oder ein signifikantes Abweichen von den Referenzwerten (Figur 10) darstellt. Auf diese Weise kann ein Bediener auf einen Blick sofort erkennen, ob die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine 1 beim zurückliegenden Reversieren den Vorgaben entsprochen hat oder nicht. Gegebenenfalls kann er die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine 1 für zukünftiges Reversieren anpassen. Um dem Bediener bei der Bedienung zu assistieren beziehungsweise ihn zu unterstützen, kann neben dem Wertungssymbol 15 ebenfalls eine Handlungsanweisung 16, beispielsweise in Schriftform, auf der Anzeigeeinrichtung 9 ausgegeben werden. Alternativ könnte die Handlungsanweisung 16 ebenfalls akustisch ausgegeben werden. Die Handlungsanweisung 16 umfasst dabei bevorzugt konkrete Hinweise, welche Referenzwerte beim letzten Reversieren nicht

eingehalten wurden und/oder wie die Abweichung von den Referenzwerten bei zukünftigem Reversieren vermieden oder zumindest verringert werden kann.

[0046] Figur 11 zeigt schließlich ein Ablaufdiagramm des Verfahrens 20. Dieses beginnt mit dem Steuern 21 der Bodenverdichtungsmaschine 1 durch einen Bediener. Der Bediener betreibt die Bodenverdichtungsmaschine 1 auf einer Baustelle zur Verdichtung eines Bodens 8. Typischerweise werden zur Verdichtung des Bodens 8 mehrere Überfahrten der Bodenverdichtungsmaschine 1 benötigt. Es kommt daher zu einem wiederholten Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1, wobei die Art und Weise, in der der Bediener die Bodenverdichtungsmaschine 1 beim Reversieren steuert, einen verstärkten Einfluss auf die resultierende Ebenheit des Bodens 8 nimmt. Aus diesem Grund sieht das Verfahren 20 ein Erfassen 22 wenigstens der Fahrgeschwindigkeitsänderung a und ergänzend bevorzugt wenigstens eines der Parameter Fahrgeschwindigkeit v und/oder Fahrrihtungsumkehr oder wenigstens einer mit einem der genannten Parameter korrelierenden Größe vor. Derartige Parameter werden an Bodenverdichtungsmaschinen 1 oftmals sowieso bereits erfasst, so dass hierfür benötigte Sensoren 11 teilweise bereits vorhanden sein können. Als nächstes erfolgt ein Ermitteln 27 eines Zeitpunkts, an dem ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 stattfindet, aus dem wenigstens einen erfassten Parameter oder der wenigstens einen erfassten Größe. Hierdurch wird bevorzugt ebenfalls der Ort der Bodenverdichtungsmaschine 1 zu diesem Zeitpunkt erfasst, wenn eine Positions- oder eine Wegerfassung stattfindet. Durch die Feststellung, wann ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine 1 stattfindet, kann das Steuern der Bodenverdichtungsmaschine 1 durch den Bediener um das Reversieren herum überprüft werden. Hierzu erfolgt ein Erfassen 23 eines Lenkwinkels w der Bodenverdichtungsmaschine 1 und ergänzend bevorzugt eines Schwingungseintrages S eines Schwingungserregers 10 in den Boden 8 oder einer mit dem Lenkwinkel w oder mit dem Schwingungseintrag S korrelierenden Größe innerhalb eines zeitlichen Intervalls T und ergänzend bevorzugt einer Wegstrecke L um den ermittelten Zeitpunkt des Reversierens und ergänzend bevorzugt um einen Ort der Bodenverdichtungsmaschine 1 zu diesem Zeitpunkt. Für den Lenkwinkel w zum Zeitpunkt des Reversierens sowie für den Schwingungseintrag S um das Reversieren herum bestehen Empfehlungen, die für eine optimale Ebenheit des Bodens 8 nach dem Arbeitsvorgang sorgen sollen. Ob die Empfehlungen eingehalten werden, ergibt sich aus einem Vergleichen 24 des erfassten Lenkwinkels w und ergänzend bevorzugt des Schwingungseintrags S innerhalb des Intervalls T und ergänzend bevorzugt der Wegstrecke L mit vorgegebenen Referenzwerten für einen Soll-Lenkwinkel und ergänzend bevorzugt für einen Soll-Schwingungseintrag. Insbesondere kann hieraus unmittelbar abgelesen werden, ob der Bediener bei der Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine 1 die Empfehlun-

gen einhält oder nicht. Darüber hinaus kann auch quantitativ ermittelt werden, inwiefern die Empfehlungen gegebenenfalls nicht eingehalten werden. Um hieraus eine assistierte Bedienunterstützung beziehungsweise eine Hilfestellung für den Bediener zu gewinnen, erfolgt ein Ausgeben 25 und ergänzend bevorzugt ein Abspeichern 26 des Ergebnisses des Vergleichs 24. Der Bediener und gegebenenfalls ebenfalls ein Betreiber der Bodenverdichtungsmaschine 1 erhalten daher insgesamt eine Rückmeldung darüber, inwiefern die Steuerung der Bodenverdichtungsmaschine 1 während des Reversierens den Empfehlungen für eine optimale Ebenheit des verdichteten Bodens 8 entspricht. Der Bediener kann daher die Art und Weise, wie er die Bodenverdichtungsmaschine 1 in Zukunft steuert, anpassen und seine Arbeitsergebnisse verbessern. Der Betreiber wiederum kann feststellen, inwiefern ein Bediener Schulungs- oder Trainingsbedarf hat. Alles in allem ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren 20 daher eine Verbesserung der Ebenheit des verdichteten Bodens 8, ohne diese Ebenheit selbst sensorisch erfassen zu müssen.

Patentansprüche

1. Verfahren (20) zur assistierten Bedienunterstützung einer Bodenverdichtungsmaschine (1), umfassend die Schritte:
 - a) Steuern (21) der Bodenverdichtungsmaschine (1) durch einen Bediener;
 - b) Erfassen (22) wenigstens einer Fahrgeschwindigkeitsänderung (a), wobei das Verfahren **gekennzeichnet ist durch** die weiteren Schritte
 - c) Ermitteln (27) eines Zeitpunkts, an dem ein Reversieren der Bodenverdichtungsmaschine (1) stattfindet, aus der im Schritt b) erfassten Größe;
 - d) Erfassen (23) eines Lenkwinkels (w) der Bodenverdichtungsmaschine (1) innerhalb eines zeitlichen Intervalls (T) um den in Schritt c) ermittelten Zeitpunkt;
 - e) Vergleichen (24) des in Schritt d) erfassten Lenkwinkels (w) innerhalb des Intervalls (T) mit vorgegebenen Referenzwerten für einen Soll-Lenkwinkel;
 - f) Ausgeben (25) eines Ergebnisses des Vergleichs (24).
2. Verfahren (20) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erfassen (22, 23) in den Schritten b) oder d) kontinuierlich erfolgt.
3. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

dass das Intervall (T) derart festgelegt wird, dass das Reversieren in der Mitte des Intervalls (T) liegt.

4. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die zum Vergleichen (24) in Schritt e) herangezogenen Referenzwerte einen Soll-Lenkwinkel umfassen, der angibt, wie groß der Lenkwinkel (w) zum im Schritt c) ermittelten Zeitpunkt des Reversierens mindestens sein soll.

5. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass vor dem Reversieren ein Reduzieren, insbesondere auf null, des Schwingungseintrags (S) stattfindet und die zum Vergleichen (24) in Schritt e) herangezogenen Referenzwerte einen Soll-Schwingungseintrag umfassen, der angibt, wie groß der Schwingungseintrag (S), insbesondere bezogen auf die Fahrgeschwindigkeit (v) der Bodenverdichtungsmaschine (1), maximal sein soll und

dass nach dem Reversieren ein Erhöhen, insbesondere ausgehend von null, des Schwingungseintrags (S) stattfindet und die zum Vergleichen (24) in Schritt e) herangezogenen Referenzwerte einen Soll-Schwingungseintrag umfassen, der angibt, wie groß der Schwingungseintrag (S), insbesondere bezogen auf die Fahrgeschwindigkeit (v) der Bodenverdichtungsmaschine (1), maximal sein soll.

6. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass innerhalb des Intervalls (T) eine Position des maximalen Schwingungseintrags (S) vor dem Reversieren ermittelt wird, und dass der Referenzwert für den Soll-Schwingungseintrag angibt, mit welchem minimalem Schwingungseintrags (S) diese Position nach dem Reversieren überfahren werden soll.

7. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass innerhalb des Intervalls (T) eine Position des maximalen Schwingungseintrags (S) einer vorderen Walzbandage (5) der Bodenverdichtungsmaschine (1) vor dem Reversieren ermittelt wird, und dass überwacht wird, ob eine hintere Walzbandage (5) der Bodenverdichtungsmaschine (1) diese Position vor dem Reversieren überfährt.

8. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden

Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Schritt e) zusätzlich wenigstens ein äußerer Betriebszustand mit berücksichtigt wird, wobei der Betriebszustand eine Bodentemperatur umfasst.

9. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Ausgeben (25) des Ergebnisses des Vergleichs (24) in Schritt f) ein Anzeigen für den Bediener der Bodenverdichtungsmaschine (1) umfasst, wobei dem Bediener in dem Fall, in dem eine Abweichung des Lenkwinkels (w) und innerhalb des Intervalls (T) von den Referenzwerten festgestellt wurde, eine Handlungsanweisung (16) angezeigt wird, wie die Abweichung zukünftig reduziert werden kann.

10. Verfahren (20) nach den Ansprüchen 8 und 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass dem Bediener mit der Handlungsanweisung ein Hinweis angezeigt wird, falls ein äußerer Betriebszustand zu einer Anpassung der Referenzwerte geführt hat, die eine Abweichung des Lenkwinkels (w) innerhalb des Intervalls (T) von den Referenzwerten vergrößert.

11. Verfahren (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Schritt e) dem Ergebnis des Vergleichs (24) eine Wertung zugeordnet wird, die mit höherer Abweichung von den Referenzwerten schlechter wird.

12. Verfahren (20) nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet,

dass ebenfalls ruckartige Veränderungen der Fahrgeschwindigkeit (v) erfasst werden und in die Wertung mit eingehen.

13. Verfahren (20) nach einem der Ansprüche 11 oder 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Verfahren (20) für sämtliche Reversiervorgänge innerhalb eines Arbeitsintervalls durchgeführt wird, wobei aus den einzelnen Wertungen aus Schritt e) eine Gesamtwertung erstellt wird, die ebenfalls in Schritt f) ausgegeben oder abgespeichert wird.

Claims

1. A method (20) for assisted operating support for a ground compaction machine (1), comprising the steps of:

- a) controlling (21) the ground compaction machine (1) by an operator;
 b) detecting (22) of at least a change in travel speed
 the method being characterized with the additional steps
 c) determining (27) a time at which a reversal of the ground compaction machine (1) takes place from the parameter detected in step b);
 d) detecting (23) a steering angle (w) of the ground compaction machine (1) within a time interval (T) around the time determined in step c);
 e) comparing (24) the steering angle (w) within the interval (T) with predetermined reference values for a target steering angle;
 f) outputting (25) a result of the comparison (24).
2. The method (20) according to claim 1, **characterized in that** detecting (22, 23) in steps b/or d) is performed continuously.
3. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the interval (T) is set such that the reversal is in the middle of the interval (T).
4. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the reference values used for comparing (24) in step e) comprise a target steering angle indicating how large the steering angle (w) should at least be at the time of the reversal as determined in step c).
5. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that**
- reducing the vibration input (S), in particular to zero, is performed before the reversal, and that the reference values used for comparing (24) in step e) comprise a target vibration input indicating how large the maximum vibration input (S) should be, in particular in relation to the travel speed (v) of the ground compaction machine (1), and
 that increasing the vibration input (S), in particular starting from zero, is performed after reversing, and that the reference values used for comparing (24) in step e) comprise a target vibration input indicating how large the maximum vibration input (S) should be, in particular in relation to the travel speed (v) of the ground compaction machine (1).
6. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** that within the interval (T) a position of a maximum vibration input (S) before reversing is determined, and that the reference value for the target vibration input indicates a minimum vibration input (S) with which this position is to be passed over after reversing.
7. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** that within the interval (T) a position of a maximum vibration input (S) of a front roller drum (5) of the ground compaction machine (1) before reversing is determined, and that it is monitored whether a rear roller drum (5) of the ground compaction machine (1) passes over this position before reversing.
8. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** in step e), at least one external operating condition is additionally taken into account, the operating condition comprising a ground temperature.
9. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** outputting (25) the result of the comparison (24) in step f) comprises displaying to the operator of the ground compaction machine (1), wherein in a case where a deviation of the steering angle (w) within the interval (T) from the reference values has been detected, an instruction (16) is displayed to the operator as to how the deviation can be reduced in the future.
10. The method (20) according to claims 8 and 9, **characterized in that** an indication is displayed to the operator along with the instruction if an external operating condition has resulted in an adjustment of the reference values which increases a deviation of the steering angle (w) within the interval (T) from the reference values.
11. The method (20) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** in step e), the result of the comparison (24) is assigned a rating which becomes worse with a higher deviation from the reference values.
12. The method (20) according to the preceding claim, **characterized in that** jerky changes in travel speed (v) are also detected and included in the rating.

13. The method (20) according to any one of claims 11 or 12,

characterized in that

the method (20) is carried out for all reversing operations within a work interval, wherein the individual ratings from step e) are used to create an overall rating, which is likewise output or stored in step f).

Revendications

1. Procédé (20) pour l'assistance à la manœuvre d'une machine de compactage du sol (1), comprenant les étapes consistant à :

- a) commander (21) la machine de compactage du sol (1) par un opérateur ;
- b) détecter (22) au moins un changement de vitesse de déplacement (a), dans lequel le procédé est **caractérisé par** les étapes supplémentaires consistant à
- c) déterminer (27) un instant auquel une inversion de la machine de compactage du sol (1) a lieu, à partir de la grandeur détectée à l'étape b) ;
- d) détecter (23) un angle de braquage (w) de la machine de compactage du sol (1) pendant un intervalle de temps (T) à l'instant déterminé à l'étape c) ;
- e) comparer (24) l'angle de braquage (w) détecté à l'étape d) pendant l'intervalle (T) avec des valeurs de référence prédéfinies pour un angle de braquage de consigne ;
- f) délivrer en sortie (25) un résultat de la comparaison (24).

2. Procédé (20) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la détection (22, 23) à l'étape b) ou d) est effectuée en continu.

3. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'intervalle (T) est spécifié de telle sorte que l'inversion se situe au milieu de l'intervalle (T).

4. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les valeurs de référence utilisées pour la comparaison (24) à l'étape e) comprennent un angle de braquage de consigne qui indique quelle doit être la valeur minimale de l'angle de braquage (w) à l'instant de l'inversion déterminé à l'étape c).

5. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce**

qu'avant l'inversion, une réduction, en particulier à zéro, de l'apport vibratoire (S) a lieu et les valeurs de référence utilisées pour la comparaison (24) à l'étape e) comprennent un apport vibratoire de consigne qui indique quelle doit être la valeur maximale de l'apport vibratoire (S), en particulier par rapport à la vitesse de déplacement (v) de la machine de compactage du sol (1), et

qu'après l'inversion, une augmentation, en particulier à partir de zéro, de l'apport vibratoire (S) a lieu et les valeurs de référence utilisées pour la comparaison (24) à l'étape e) comprennent un apport vibratoire de consigne qui indique quelle doit être la valeur maximale de l'apport vibratoire (S), en particulier par rapport à la vitesse de déplacement (v) de la machine de compactage du sol (1).

6. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce

que, pendant l'intervalle (T), une position de l'apport vibratoire (S) maximal est déterminée avant l'inversion, **et que** la valeur de référence pour l'apport vibratoire de consigne indique avec quel apport vibratoire (S) minimal ladite position doit être franchie après l'inversion.

7. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce

que, pendant l'intervalle (T), une position de l'apport vibratoire (S) maximal d'un rouleau avant (5) de la machine de compactage du sol (1) avant l'inversion est déterminée, **et que** l'on surveille si un rouleau arrière (5) de la machine de compactage du sol (1) dépasse ladite position avant l'inversion.

8. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce

que, à l'étape e), au moins un état de fonctionnement extérieur est en outre pris en compte, dans lequel l'état de fonctionnement comprend une température du sol.

9. Procédé (20) selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce

que la sortie (25) du résultat de la comparaison (24) à l'étape f) comprend un affichage pour l'opérateur de la machine de compactage du sol (1), dans lequel, dans le cas où un écart entre l'angle de braquage (w), et pendant l'intervalle (T), et les valeurs de référence a été constaté, une instruction de manipulation (16) concernant la possibilité de réduction de l'écart à l'avenir est affichée à l'opérateur.

10. Procédé (20) selon les revendications 8 et 9,
caractérisé en ce
qu'une indication est affichée à l'opérateur avec
l'instruction de manipulation si un état de fonction-
nement extérieur a conduit à une adaptation des 5
valeurs de référence qui augmente un écart entre
l'angle de braquage (w) pendant l'intervalle (T) et les
valeurs de référence.
11. Procédé (20) selon l'une des revendications précé- 10
dentes,
caractérisé en ce
que, à l'étape e), une évaluation est attribuée au
résultat de la comparaison (24), laquelle évaluation
devient plus mauvaise au fur et à mesure que l'écart 15
par rapport aux valeurs de référence augmente.
12. Procédé (20) selon la revendication précédente,
caractérisé en ce
que des variations brusques de la vitesse de dépla- 20
cement (v) sont également détectées et prises en
compte dans l'évaluation.
13. Procédé (20) selon l'une des revendications 11 ou 25
12,
caractérisé en ce
que le procédé (20) est exécuté pour tous les pro-
cessus d'inversion pendant un intervalle de travail,
dans lequel une évaluation globale est établie à
partir des évaluations individuelles de l'étape e), 30
laquelle évaluation globale est également délivrée
en sortie ou mémorisée à l'étape f).

35

40

45

50

55

Fig. 1

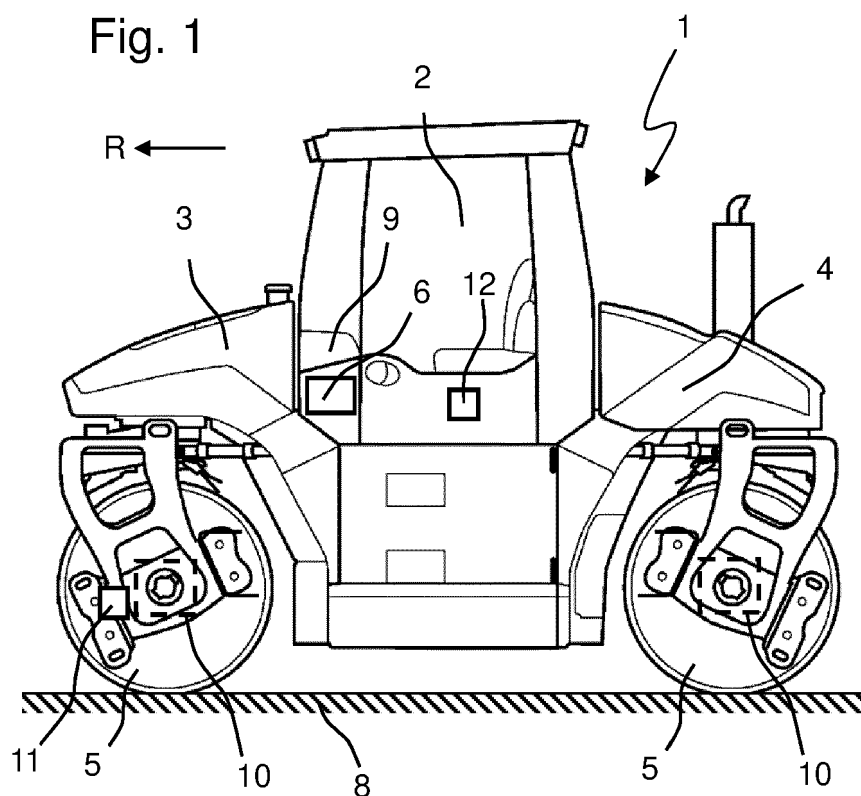


Fig. 2

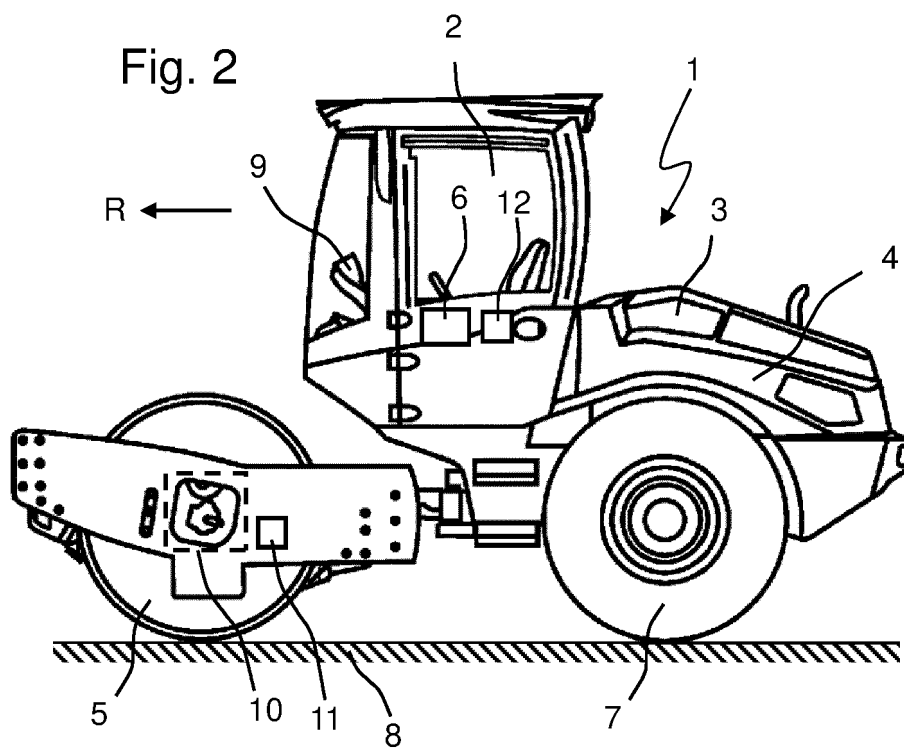


Fig. 3

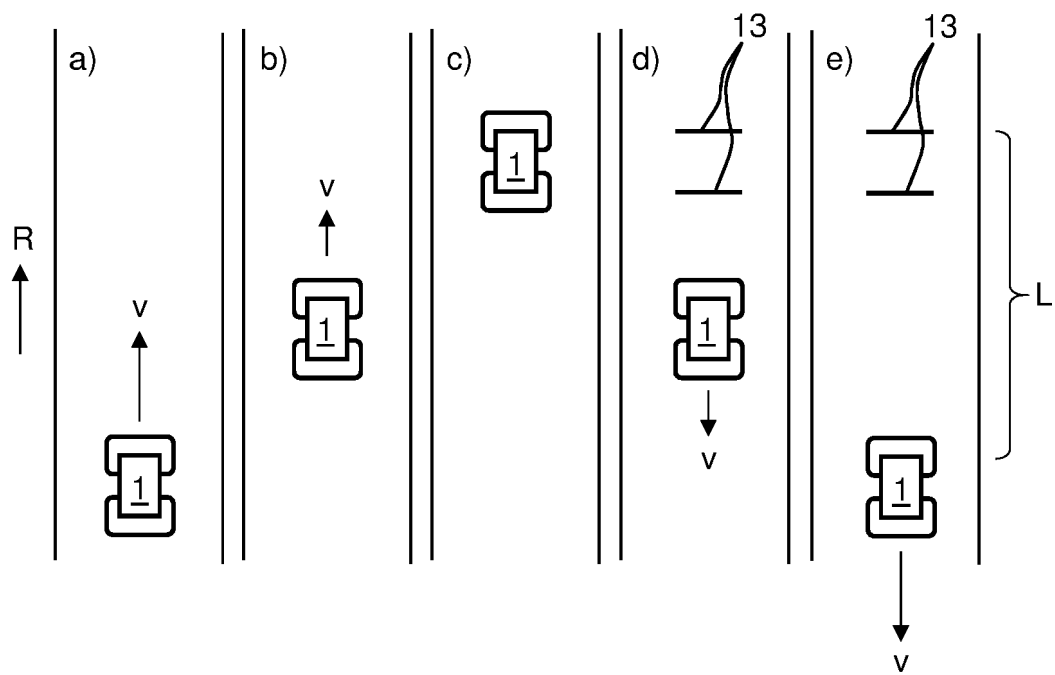


Fig. 4

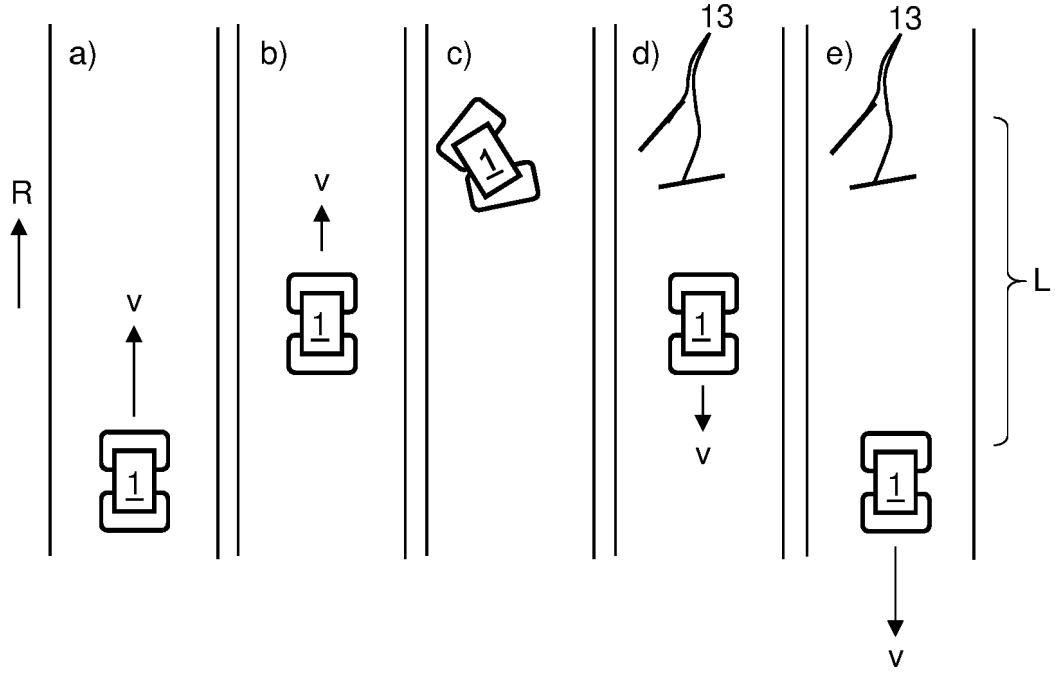


Fig. 5

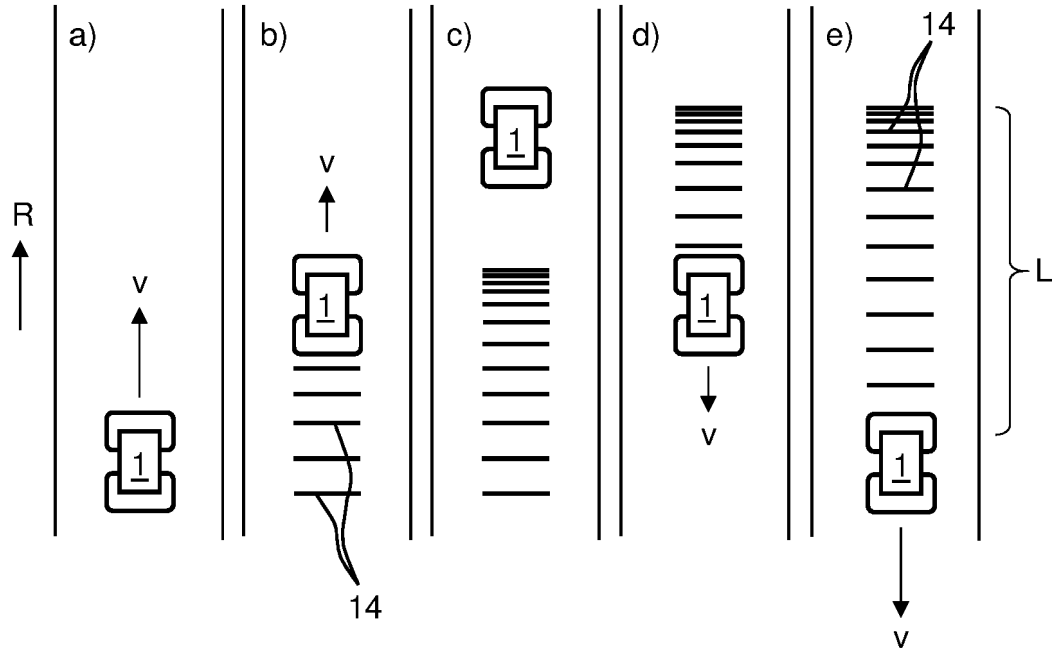


Fig. 6

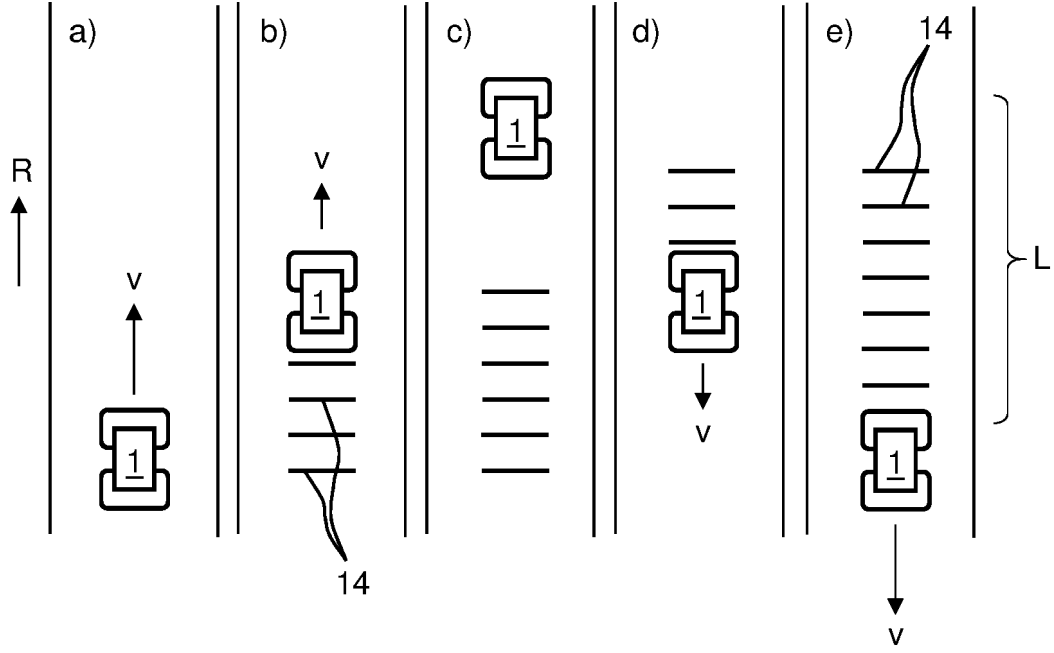


Fig. 7

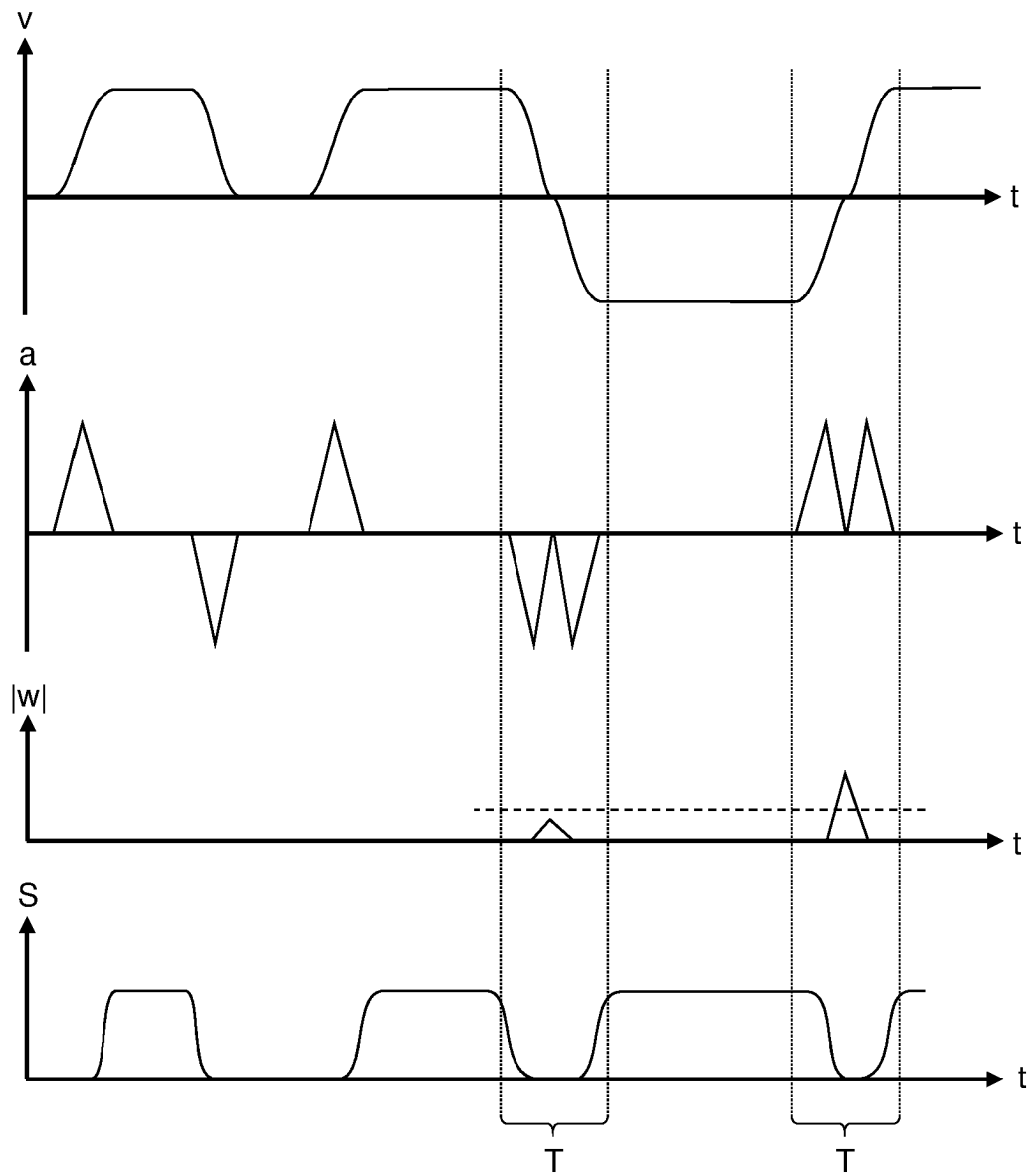


Fig. 8

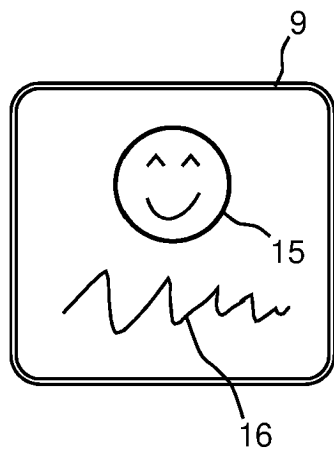


Fig. 9

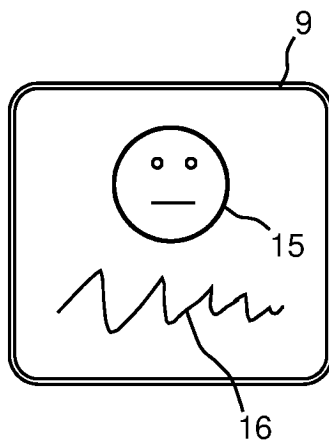


Fig. 10

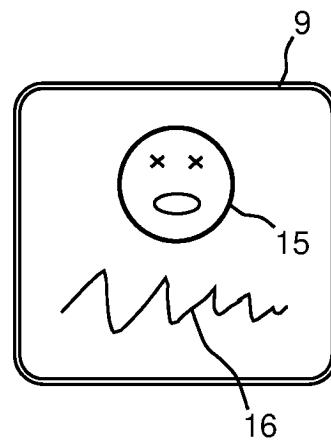
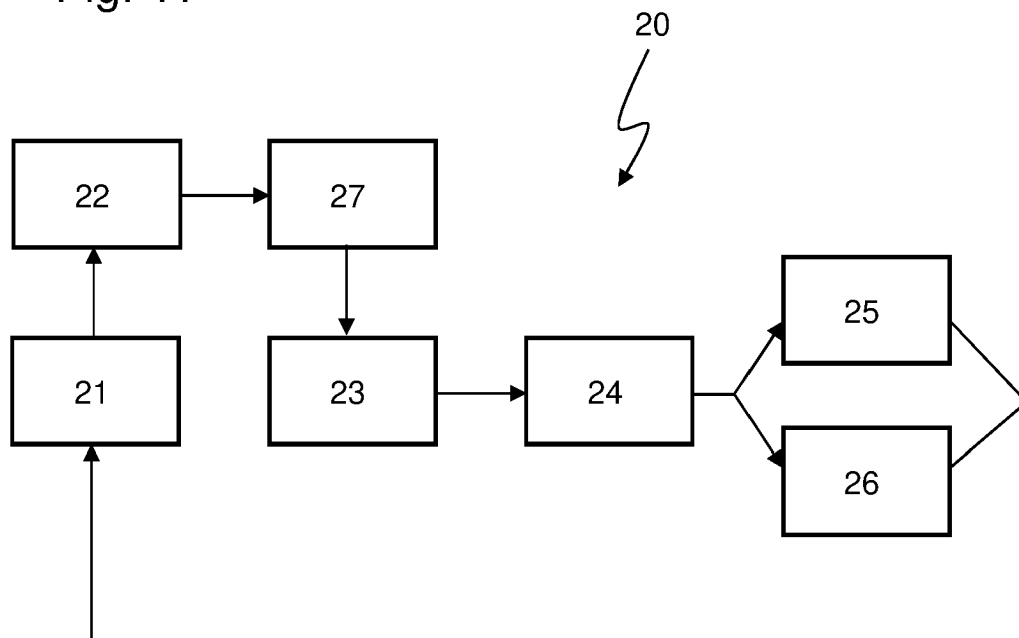


Fig. 11



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 102018007825 A1 [0002] [0013]
- DE 102019002442 A1 [0002]