

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51026/2020  
(22) Anmeldetag: 25.11.2020  
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2022

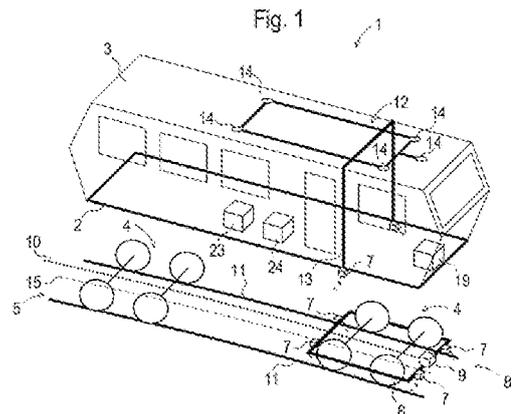
(51) Int. Cl.: **B61L 23/04** (2006.01)  
**B61K 9/08** (2006.01)  
**E01B 29/04** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
EP 3358079 A1  
EP 1028193 A1  
DE 102007016395 B3  
WO 2016061602 A1

(73) Patentinhaber:  
Plasser & Theurer Export von  
Bahnbaumaschinen Gesellschaft m. b. H.  
1010 Wien (AT)

### (54) Verfahren und System zur Ermittlung von Korrekturwerten für eine Lagekorrektur eines Gleises

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Korrekturwerten (26) für eine Lagekorrektur eines Gleises (5), wobei eine Ist-Geometrie (10) eines Gleisabschnitts mittels einer an einem Messfahrzeug (1) angeordneten inertialen Messeinrichtung (8) während des Befahrens des Gleises (5) erfasst wird und wobei von der inertialen Messeinrichtung (8) Messdaten (18) des erfassten Gleisabschnitts an eine Auswerteeinrichtung (19) ausgegeben werden. Dabei wird mittels einer Simulationseinrichtung (24) eine virtuelle inertielle Messung desselben Gleisabschnitts mit einer Soll-Geometrie (16) berechnet, um simulierte Messdaten (25) für die Soll-Geometrie (16) zu erhalten, wobei mittels einer Recheneinheit (23) Korrekturwerte (26) zur Lagekorrektur des Gleises (5) ermittelt werden, indem die simulierten Messdaten (25) von den Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) subtrahiert werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Korrekturwerte (26) direkt auf Basis der Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) ermittelt.



## Beschreibung

### VERFAHREN UND SYSTEM ZUR ERMITTLUNG VON KORREKTURWERTEN FÜR EINE LAGEKORREKTUR EINES GLEISES

#### TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Korrekturwerten für eine Lagekorrektur eines Gleises, wobei eine Ist-Geometrie eines Gleisabschnitts mittels einer an einem Messfahrzeug angeordneten inertialen Messeinrichtung während des Befahrens des Gleises erfasst wird und wobei von der inertialen Messeinrichtung Messdaten des erfassten Gleisabschnitts an eine Auswerteeinrichtung ausgegeben werden. Zudem betrifft die Erfindung ein System zur Durchführung des Verfahrens.

#### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Bei einem Schottergleis wird durch Befahren und durch Witterungseinflüsse ein im Schotterbett gelagerter Gleisrost in seiner örtlichen Lage beeinflusst. Zur Überprüfung einer aktuellen Ist-Geometrie (Linienführung des Gleises) und insbesondere vor Instandsetzungsarbeiten erfolgen deshalb regelmäßig Messungen mittels eines eigens dafür vorgesehenen Messwagens. Auch eine entsprechend ausgestattete Gleisbaumaschine kann als Messwagen zum Einsatz kommen. In der Regel ist die Gleisgeometrie durch die horizontale Lage (Richtung) und die vertikale Lage (Gleisneigung) definiert. Für die Festlegung einer absoluten Gleisgeometrie ist zudem die Position gegenüber einem externen Referenzsystem erforderlich.

**[0003]** Bekannte Messmethoden nutzen neben dem Gleis befindliche externe Referenzpunkte, die an fixen Einrichtungen wie Elektromasten angebracht sind. Solche externen Referenzpunkte können als Vermarktungsbolzen oder sonstige Markierungsobjekte festgelegt sein. Die vorgesehene Lage jedes externen Referenzpunktes zum Gleis ist in Verzeichnissen dokumentiert. Auf diese Weise ist auf Eisenbahn-Hauptstrecken die absolute Gleisgeometrie exakt definiert (=Designgeometrie des Gleises).

**[0004]** Zudem ist eine Soll-Geometrie des Gleises mittels interner Referenzen festlegbar. Dabei wird die Trassierung durch eine Abfolge von Trassierungselementen hinsichtlich ihrer Länge und Größe angegeben. Bei Geraden ist die Angabe einer Länge ausreichend. Übergangsbögen und Bögen werden jeweils durch die Angabe einer Länge und einer Bogengröße festgelegt. Sogenannte Gleishauptpunkte geben einen Wechsel zwischen unterschiedlichen Trassierungselementen an, insbesondere für Kreis- und Übergangsbögen sowie Neigungsbrüche.

**[0005]** Somit setzt sich die horizontale Lage des Gleises aus der Gleiskrümmung als Folge von geraden Abschnitten, Übergangsbögen und Kreisbögen zusammen. Die vertikale Lage des Gleises wird durch die Angabe der Neigung sowie Neigungswechsel samt deren Ausrundungsradien bestimmt. Der Überhöhungsverlauf des Gleises definiert sich durch deren Überhöhungsfolge inklusive Überhöhungsrampen. Bei der Festlegung der Gleisgeometrie werden Überhöhung und Richtung des Gleises entsprechend den Trassierungsrichtlinien (z.B. EN 13803) aufeinander abgestimmt.

**[0006]** Die Wiederherstellung einer gewünschten Gleislage mit hoher Qualität lässt sich mit dem sogenannten Präzisionsverfahren erreichen. Bei diesem Verfahren ist die exakte, absolute Gleisgeometrie (Designgeometrie) durch eine Abfolge definierter Trassierungselemente und durch die geothetische Position der Gleishauptpunkte bekannt. Vor einem Instandhaltungsvorgang werden die bestehende Gleisgeometrie und die Gleisposition relativ zu definierten Referenzpunkten (Festpunkten, Fixpunkten) gemessen. Das Messergebnis wird mit der Designgeometrie verglichen, wobei aus einer ermittelten Differenz Hebe- und Richtwerte für eine Gleislagekorrektur bestimmt werden. Dieses Verfahren ist sehr genau und eignet sich für Hochgeschwindigkeitsstrecken, die eine optimierte Instandhaltung erfordern. Dabei müssen die Geometrieparameter prozesssicher verarbeitet und die geothetischen Referenzpunkte regelmäßig nachgemessen wer-

den.

**[0007]** Aus Kostengründen wird bei Strecken mit geringeren Anforderungen das sogenannte Ausgleichsverfahren angewandt. Dieses Verfahren ist ohne bekannte Designgeometrie des Gleises durchführbar. Genutzt wird beispielsweise ein Messsystem einer Gleisstopfmaschine, bei dem Messsehnern (Wandersehnern) zwischen auf dem Gleis geführten Messwägen gespannt sind und als Bezugssystem dienen. Verschiedene Ausprägungen dieses Wandersehnern-Messprinzips finden sich beispielsweise in der DE 10 2008 062 143 B3 oder in der DE 103 37 976 A1. Vorhandene Gleislagefehler werden dabei im Verhältnis der Spannweiten der Messsehnern zum Längsabstand der Messwägen verkleinert. Bei 4-Punktverfahren wird die bestehende relative Gleisgeometrie durch eine zusätzliche Messsehne erfasst. Eine entsprechende Maschine und ein Verfahren sind in der AT 520 795 A1 offenbart.

**[0008]** Bei einem Ausgleichsverfahren mit vorheriger Gleismessung wird die bestehende relative Ist-Geometrie des Gleises mit einer Vorabfahrt der Gleisstopfmaschine oder eines Messwagens gemessen. Zu diesem Zweck kommt bei modernen Gleismessfahrzeugen eine sogenannte inertielle Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) zum Einsatz. Ein Inertial-Messsystem ist in der Fachzeitschrift Eisenbahningenieur (52) 9/2001 auf den Seiten 6-9 beschrieben. Auch die DE 10 2008 062 143 B3 offenbart ein Inertial-Messprinzip zur Erfassung einer Gleislage. Basierend auf dieser Messung erfolgt eine Ausgleichsberechnung, bei der auf Basis der Ist-Geometrie eine zuvor unbekannte Soll-Geometrie berechnet wird.

**[0009]** In der Regel wird die Ist-Geometrie des Gleises in Form eines Pfeilhöhen- und Längshöhenverlaufs sowie einer Abfolge von Überhöhungswerten erfasst. Anhand dieser Aufzeichnung berechnet eine Recheneinheit unter Berücksichtigung einer zuvor festgelegten Geschwindigkeitsklasse des Gleises sowie vorgegebener Obergrenzen für Verschiebe- und Hebewerte einen elektronischen Pfeilhöhenausgleich. Dabei werden die gemessenen Pfeilhöhen geglättet, um einen für die gegebenen Bedingungen möglichst idealen Verlauf zu erhalten. Die Lage der Übergangspunkte zwischen den Trassierungselementen (Gleishauptpunkte) ergibt sich im Zuge der Ausgleichsberechnung.

**[0010]** In einem nächsten Schritt werden aus den Pfeilhöhen durch Anwendung eines digitalen Filters die resultierenden Verschiebungen und Hebungen berechnet, um die das Gleis berichtigt werden muss, damit sich der berechnete Pfeilhöhenverlauf einstellen kann. Ergebnisse dieser weiteren Berechnungen sind somit Hebe- und Richtwerte (Korrekturwerte) für die Lagekorrektur des Gleises mittels der Gleisstopfmaschine.

**[0011]** Eine wiederholte Anwendung des Ausgleichsverfahrens hat den Nachteil, dass die Gleishauptpunkte von ihren ursprünglichen Positionen (gemäß der ursprünglich festgelegten Designgeometrie) wegdriften. Somit führt die Alterung eines Gleises trotz Korrekturen mittels Ausgleichsverfahren zu einer zunehmenden Abweichung von der ursprünglichen Designgeometrie.

**[0012]** Kleinere Lageveränderungen der Gleishauptpunkte sind in der Regel unproblematisch. Oft lässt die Trassengestaltung einen ausreichenden Spielraum für die Festlegung der Gleislage. Schwierigkeiten ergeben sich jedoch bei sogenannten Zwangspunkten oder Zwangslagen wie zum Beispiel Brücken, Tunnel oder Bahnübergängen. Dort ist kein Spielraum für eine Verlagerung des Gleises gegeben. Deshalb ist es nach dem Stand der Technik üblich, die Verschiebewerte an diesen Stellen bei der Ausgleichsberechnung auf null zu setzen.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0013]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art in der Weise zu verbessern, dass eine Ermittlung von Korrekturwerten für eine Gleislagekorrektur in effizienter Weise auf Basis von ermittelten Messwerten einer inertialen Messeinrichtung durchführbar ist. Weiter ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein entsprechendes System anzugeben.

**[0014]** Erfindungsgemäß werden diese Aufgaben gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und ein System gemäß Anspruch 8. Abhängige Ansprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung an.

**[0015]** Dabei ist vorgesehen, dass mittels einer Simulationseinrichtung eine virtuelle inertielle Messung desselben Gleisabschnitts mit einer Soll-Geometrie berechnet wird, um simulierte Messdaten für die Soll-Geometrie zu erhalten, wobei mittels einer Recheneinheit Korrekturwerte zur Lagekorrektur des Gleises ermittelt werden, indem die simulierten Messdaten von den Messdaten der inertialen Messeinrichtung subtrahiert werden.

**[0016]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Korrekturwerte direkt auf Basis der Messdaten der inertialen Messeinrichtung mit ausreichender Genauigkeit ermittelt. Bei den Messdaten der inertialen Messeinrichtung handelt es sich um formtreue Messdaten, welche die Gleislagefehler direkt wiedergeben. Mit den simulierten Messdaten liegen unmittelbar Vergleichswerte für die Bestimmung der Korrekturdaten zur Verfügung. Somit führt die erfindungsgemäße Simulation insgesamt zu einer deutlichen Vereinfachung des Datenverarbeitungsprozesses.

**[0017]** Dabei ist es von Vorteil, wenn der Simulationseinrichtung die Soll-Geometrie als Abfolge geometrischer Trassierungselemente vorgegeben wird. Beispielsweise wird eine bekannte absolute Gleisgeometrie (Designgeometrie) herangezogen. Dabei geben Gleishauptpunkte einen Wechsel unterschiedlicher Trassierungselemente an. Solche Trassierungselemente sind insbesondere Geraden, Kreisbögen, Übergangsbögen und Neigungsbrüche. Zum Abgleich der Ist-Geometrie mit der Soll-Geometrie wird beispielsweise ein ortsfestes Koordinatensystem mit dem Startpunkt einer Messfahrt als Ursprung gewählt. Selbstverständlich sind auch andere Koordinatensysteme zur Georeferenzierung nutzbar.

**[0018]** In einer weitergebildeten Variante des Verfahrens werden die Messdaten der inertialen Messeinrichtung mittels eines Filteralgorithmus gefiltert, wobei in der Simulationseinrichtung die simulierten Messdaten mit demselben Filteralgorithmus gefiltert werden. Das ist insbesondere bei inertialen Messeinrichtungen mit integrierter Datenfilterung sinnvoll. In diesen Fällen liegen die Ausgabedaten der Messeinrichtung bereits als gefilterte Messdaten vor. Deshalb werden auch die simulierten Messdaten als gefilterte Daten bereitgestellt, um durch einen direkten Datenvergleich Korrekturwerte zu erhalten.

**[0019]** Eine weitere Verbesserung sieht vor, dass in der inertialen Messeinrichtung die Messdaten auf Basis einer virtuellen Ausgleichsgeraden mit einer Länge zwischen 100m und 300m ermittelt werden, insbesondere mit einer Länge von 200m. Diese Datenermittlung erlaubt den Einsatz des Verfahrens für Hochgeschwindigkeitsstrecken, weil auch langwellige Lagefehler sicher erkannt werden.

**[0020]** Zur Steigerung der Datenqualität ist es sinnvoll, wenn mittels der inertialen Messeinrichtung entlang eines Messweges in Abständen zwischen 15cm und 50cm Messdaten erfasst werden, insbesondere in einem jeweiligen Abstand von 25cm. Damit wird eine genaue dreidimensionale Trajektorie der entlang des Gleises bewegten inertialen Messeinrichtung abgebildet, wobei auch sehr kurzwellige Lagefehler erfasst werden.

**[0021]** Für eine verbesserte Georeferenzierung ist es von Vorteil, wenn mittels einer am Messfahrzeug angeordneten GNSS-Empfangseinrichtung Messstellen am Gleis als Ortsdaten erfasst werden und wenn die Messdaten der inertialen Messeinrichtung mit den Ortsdaten verknüpft werden. Auf diese Weise werden ortsbezogenen Messdaten automatisiert erfasst. Diese ortsbezogenen Messdaten der inertialen Messeinrichtung sind ohne weitere Bearbeitung mit den simulierten Messdaten abgleichbar. Eine Erfassung weiterer Ortsdaten (zum Beispiel mittels eines Odometers) ist nicht erforderlich.

**[0022]** In einer Weiterbildung des Verfahrens werden aus den ermittelten Korrekturwerten zur Lagekorrektur mittels der Recheneinheit horizontale Richtwerte und vertikale Hebewerte des Gleises abgeleitet. Diese aufbereiteten Korrekturwerte sind direkt zur Ansteuerung eines Hebe-/Richtaggregats einer Gleisbaumaschine nutzbar, um das Gleis in eine vorgegebene Lage zu bringen.

**[0023]** Das erfindungsgemäße System zur Durchführung eines der beschriebenen Verfahren umfasst ein Messfahrzeug zum Befahren eines Gleises, mit einer inertialen Messeinrichtung zum Erfassen einer Ist-Geometrie eines Gleisabschnitts, wobei eine Auswerteeinrichtung zur Verar-

beitung von Messdaten der inertialen Messeinrichtung eingerichtet ist, wobei eine Simulationseinrichtung zur Simulation einer virtuellen inertialen Messung desselben Gleisabschnitts auf Basis einer Soll-Geometrie eingerichtet ist und wobei eine Recheneinheit zur Subtraktion der simulierten Messdaten von den Messdaten der inertialen Messeinrichtung eingerichtet ist, um Korrekturwerte zur Lagekorrektur des Gleises zu ermitteln. Das System ermöglicht eine direkte Bestimmung von Korrekturwerten bei hohen Messgeschwindigkeiten. Messungenauigkeiten und Verzerrungen durch Pendel- oder Sehnennmessungen werden vermieden. Es sind keine Übertragungsfunktionen notwendig, um die mittels der inertialen Messeinrichtung erfassten Daten mit der Soll-Geometrie zu vergleichen. Es müssen auch keine Trajektorien-Koordinaten errechnet werden, weil die simulierten Messdaten von den originären Messdaten der inertialen Messeinrichtung subtrahiert werden.

**[0024]** Die inertielle Messeinrichtung umfasst eine sogenannte inertielle Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU), die auf einer Messplattform des Messfahrzeugs angeordnet ist. Die genaue Lage der Messplattform gegenüber den Schienen des Gleises wird mittels berührungsloser Lagemesseinrichtungen bestimmt. Beim Einsatz einer inertialen Messeinheit kann es vorkommen, dass insbesondere in Kurvenfahrten in den Messdaten Artefakte auftreten. Diese Artefakte resultieren aus spezifischen Merkmalen des verwendeten inertialen Messverfahrens. Wenn nun auf die Soll-Geometrie dasselbe inertielle Messverfahren in virtueller Form angewandt wird, treten dieselben Artefakte auf. Durch die anschließende Subtraktion der Messdaten zur Ermittlung der Korrekturwerte heben sich die Artefakte gegenseitig auf. Damit sinkt insgesamt die notwendige Rechenleistung, weil die mitunter aufwendige digitale Filterung der Messdaten entfällt.

**[0025]** Eine Verbesserung des Systems sieht vor, dass das Messfahrzeug eine GNSS-Empfangseinrichtung zur Erfassung von Ortsdaten umfasst. Auf diese Weise sind die erfassten Messdaten automatisiert mit GNSS-Daten verknüpfbar, um einen ortsbezogenen Abgleich mit den simulierten Messdaten durchzuführen. Konkret werden mittels der GNSS-Empfangseinrichtung die Messpunkte, an welchen die Messwerte erfasst werden, in einem geodätischen Referenzsystem bestimmt.

**[0026]** In einer vorteilhaften Weiterbildung des Systems ist ein Kommunikationssystem zur Übertragung der Korrekturdaten an eine Gleisbaumaschine eingerichtet, wobei eine Steuerungseinrichtung der Gleisbaumaschine zur Verarbeitung der Korrekturwerte eingerichtet ist, um das Gleis mittels eines angesteuerten Hebe-/Richtaggregats in die vorgegebene Soll-Geometrie zu bringen. Dieses System umfasst alle Komponenten, um eine Ist-Geometrie zu erfassen, Korrekturwerte bereitzustellen und die Gleislage zu korrigieren. Auf diese Weise ist eine durchgängige Instandhaltung eines Gleises durchführbar.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0027]** Die Erfindung wird nachfolgend in beispielhafter Weise unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

- Fig. 1 Messfahrzeug auf einem Gleis
- Fig. 2 Blockdiagramm zur Bestimmung von Korrekturwerten
- Fig. 3 Diagramme eines Gleisverlaufs und ungefilterte Messdaten
- Fig. 4 Diagramme eines Gleisverlaufs und gefilterte Messdaten

## BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0028]** Fig. 1 zeigt ein Messfahrzeug 1 mit einem Fahrzeugrahmen 2, auf dem ein Wagenkasten 3 aufgebaut ist. Das Messfahrzeug 1 ist mittels Schienenfahrwerke 4 auf einem Gleis 5 verfahrbar. Zur besseren Veranschaulichung ist der Fahrzeugrahmen 2 samt Wagenkasten 3 von den Schienenfahrwerken 4 abgehoben dargestellt. Das Fahrzeug 1 kann auch als Gleisbaumaschine, insbesondere als Stopfmaschine ausgebildet sein. In diesem Fall ist nur eine Maschine zum Aufmessen und zur Korrektur des Gleises 5 erforderlich.

**[0029]** Die Schienenfahrwerke 4 sind vorzugsweise als Drehgestelle ausgebildet. Eine Messplattform 6 ist als Messrahmen mit den Radachsen des Drehgestells verbunden, sodass Bewegungen der Räder ohne Federwirkung auf den Messrahmen 6 übertragen werden. Gegenüber dem Gleis 5 ergeben sich somit lediglich Seitwärts- bzw. Pendelbewegungen des Messrahmens 6. Diese Bewegungen werden mittels am Messrahmen 6 angeordneter Lagemesseinrichtungen 7 erfasst. Diese sind beispielsweise als Laserlinienschnittsensoren ausgebildet.

**[0030]** Die Lagemesseinrichtungen 7 sind Komponenten einer auf der Messplattform 6 aufgebauten inertialen Messeinrichtung 8, die eine inertielle Messeinheit 9 umfasst. Mit der inertialen Messeinheit 9 werden während einer Messfahrt Messdaten einer Ist-Geometrie 10 des Gleises 5 erfasst, wobei Relativbewegungen der inertialen Messeinheit 9 gegenüber dem Gleis 5 mittels der Daten der Lagemesseinrichtungen 7 kompensiert werden. Mittels der Messergebnisse der Lagemesseinrichtungen 7 sind zudem die Messdaten der inertialen Messeinheit 9 auf eine jeweilige Schiene 11 des Gleises 5 transformierbar. Ergebnis ist eine Ist-Geometrie 10 für jede Schiene 11.

**[0031]** Das Messfahrzeug 1 umfasst des Weiteren eine GNSS-Empfangseinrichtung 12, mit dem eine jeweils aktuelle Position des Messfahrzeugs 1 erfassbar ist. Aufgrund der bekannten Lage des Messfahrzeugs 1 gegenüber dem Gleis 5 sind damit auch Ortskoordinaten der aktuell befahrenen Gleisstelle erfassbar. Die erfassten Gleisstellen entsprechen dabei einer Abfolge von Messstellen, an welchen die inertielle Messeinrichtung 8 Messdaten sammelt.

**[0032]** Beispielsweise ist die GNSS-Empfangseinrichtung 12 über einen Träger 13 starr mit dem Fahrzeugrahmen 2 verbunden ist. Dabei umfasst die GNSS- Empfangseinrichtung 12 mehrere zueinander ausgerichtete GNSS-Antennen 14 für eine genaue Erfassung von GNSS-Positionen des Messfahrzeugs 1. Um Pendelbewegungen des Fahrzeugrahmens 2 gegenüber dem Gleis 5 zu erfassen, sind am Fahrzeugrahmen 2 weitere Lagemesseinrichtungen 7 angeordnet. Auch hier kommen beispielsweise Laserlinienschnittsensoren zum Einsatz. Für eine einfache Ausführung der Erfindung ist eine GNSS- Antenne 14 ausreichend. Auf diese Weise werden laufend Ist-Positionen am Gleis 5 bzw. entlang einer Gleisachse 15 erfasst.

**[0033]** Alternativ oder ergänzend erfolgt die Ortserfassung mittels eines Odometers, mit dem eine Kilometrierung entlang des gemessenen Gleisabschnitts bestimmbar ist. Resultat sind in jedem Fall Ortsdaten, die mit den Messdaten der inertialen Messeinrichtung verknüpft werden. Über diesen Ortsbezug ist in weiterer Folge ein Abgleich mit einer bekannten Soll-Geometrie 16 des Gleises 5 durchführbar.

**[0034]** Beispielsweise dient zur Georeferenzierung der Messergebnisse ein ortfestes Koordinatensystem, das seinen Ursprung am Startpunkt der Messfahrt hat. Die X-Achse zeigt am Startpunkt in Richtung des zu messenden Gleises 5. Die Y-Achse ist quer dazu horizontal ausgerichtet. Auf der Z-Achse ergibt sich die Höhenlage des Gleises 5. Während der Messfahrt wird zudem ein Weg s erfasst, der neben einem Zeitstempel zur Synchronisation von Messergebnissen der unterschiedlichen Systeme 8, 12 dienen kann. Entlang eines gemessenen Gleisabschnitts befinden sich sogenannte Gleishauptpunkte 17. Diese Gleishauptpunkte markieren jeweils eine Grenze zwischen geometrischen Trassierungselementen (z.B. Gerade, Übergangsbogen Kreisbogen bzw. Vollbogen).

**[0035]** Das Blockdiagramm in Fig. 2 veranschaulicht ein beispielhaftes Schema der beteiligten Systemkomponenten. Die von der inertialen Messeinrichtung 8 erfassten Messdaten 18 sind einer Auswerteeinrichtung 19 zugeführt. Vorteilhafterweise ist in der Auswerteeinrichtung 19 ein Datenintegrations-Algorithmus eingerichtet, mittels dem die Messdaten 18 der inertialen Messeinrichtung 8 sowie GNSS-Daten bzw. Ortsdaten 20 der GNSS- Empfangseinrichtung 12 und/oder eines Odometers 21 verknüpft werden. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Koordinaten auf ein gemeinsames Koordinatensystem bezogen sind. Mittels eines Systemprozessors erfolgt eine gemeinsame Auswertung der von den GNSS-Antennen 14 empfangenen Signalen und eine Kompensation der Relativbewegungen gegenüber dem Gleis 5.

**[0036]** In einer Variante der Erfindung gibt die inertielle Messeinrichtung 8 ungefilterte Messdaten

18 der inertialen Messeinheit 9 aus, wobei Relativbewegungen der Messplattform 6 gegenüber den Schienen 11 kompensiert werden. Die mittels der Auswerteeinrichtung 19 bereitgestellten ortsbezogene Messdaten 22 sind einer Recheneinheit 23 zugeführt.

**[0037]** Neben dieser Erfassung der Ist-Geometrie 10 bildet die bekannte Soll-Geometrie 16 die Ausgangsbasis für die weiteren Verfahrensschritte. Dabei ist die Soll-Geometrie 16 als optimaler virtueller Gleisverlauf einer Simulationseinrichtung 24 vorgegeben. Die Simulationseinrichtung 24 ist beispielsweise ein separater Computer, der zur Verarbeitung virtueller Szenarien eingerichtet ist. Zur Optimierung der Hardware kann es auch sinnvoll sein, die Auswerteeinrichtung 19, die Recheneinheit 23 und die Simulationseinrichtung 24 in einem integrierten Computersystem zusammenzufassen.

**[0038]** In der Simulationseinrichtung 24 ist eine virtuelle inertielle Messeinrichtung eingerichtet, welche dieselben Eigenschaften aufweist wie die auf der Messplattform 6 aufgebaute inertielle Messeinrichtung 8. Mittels dieser virtuellen inertialen Messeinrichtung erfolgt eine virtuelle Messung des Gleisverlaufs auf Basis der vorgegebenen Soll-Geometrie 16. Herangezogen wird derselbe Gleisabschnitt, für den auch die Ist-Geometrie 10 erfasst wird. Dabei nutzen die reale und die virtuelle Messeinrichtung dasselbe inertielle Messverfahren. Resultat der virtuellen Messung sind simulierte Messdaten 25, die vorteilhafterweise einen Ortsbezug aufweisen, um einen direkten Abgleich mit den realen ortsbezogenen Messdaten 22 durchzuführen.

**[0039]** In der Recheneinheit 23 erfolgt eine ortsbezogene Subtraktion der simulierten Messdaten 25 von den Messdaten 18 der realen inertialen Messeinrichtung 8. Ergebnis dieser Subtraktion sind Korrekturwerte 26 für das Gleis 5, um die erfasste Ist-Geometrie 10 in die gewünschte Soll-Geometrie 16 überzuführen. Dabei ist es von Vorteil, wenn aus den Korrekturwerten 26 mittels der Recheneinheit 23 horizontale Richtwerte und vertikale Hebewerte des Gleises 5 abgeleitet werden. Beispielsweise erfolgt eine Projektion der Korrekturwerte 26 in eine XY-Ebene und in eine Z- Richtung des zugrunde gelegten Koordinatensystems. Für die Vorgabe einer Überhöhung sind jeder Schiene 11 eigene Hebewerte zugeordnet.

**[0040]** In weiterer Folge dienen die Hebe- und Richtwerte zur Ansteuerung eines Hebe-/Richtaggregats einer an sich bekannten Gleisbaumaschine, beispielsweise einer Strecken- oder Universalstopmaschine. Vorteilhafterweise ist ein drahtloses Kommunikationssystem eingerichtet, um die mittels des Messfahrzeugs 1 ermittelten Korrekturdaten 26 direkt auf die Gleisbaumaschine zu übertragen. In einer anderen Ausprägung umfasst die Gleisbaumaschine auch alle Funktionen des hier beschriebenen Messfahrzeugs 1.

**[0041]** Zum Korrigieren der Gleislage wird das Gleis 5 nach dem Vormessen mittels der Gleisbaumaschine befahren. Entsprechend den vorgegebenen Korrekturwerten 26 wird der Gleisrost mittels des Hebe-/Richtaggregats in seine gewünschte Lage gebracht und dort mittels eines Stopfaggregats fixiert. Zur Überprüfung der Gleislage dient ein Sehnenmesssystem, das auf der Gleisbaumaschine aufgebaut ist. Bei einer integrierten Maschine 1 umfasst ein sogenannter Gleisgeometrie-Leitcomputer (auch Automatischer Leitcomputer ALC genannt) die Recheneinheit 23 und die Auswerteeinrichtung 19. Der Leitcomputer dient dabei als zentrale Einheit zur Bestimmung der Korrekturwerte 26 und zur Steuerung der Gleisbaumaschine.

**[0042]** Fig. 3 zeigt im obersten Diagramm ein Ortsbild eines Gleisabschnitts in einem ortsfesten Koordinatensystem. Die Abszisse entspricht der X-Koordinate und die Ordinate entspricht der Y-Koordinate. Der dargestellte Gleisabschnitt beginnt mit einer Geraden und geht dann in einen Übergangsbogen mit steigender Krümmung über, bis die Krümmung in einem anschließenden ersten Kreisbogen (Vollbogen) konstant bleibt. Daran anschließend umfasst der Gleisabschnitt einen Übergangsbogen mit fallender Krümmung, einen zweiten Kreisbogen, einen weiteren Übergangsbogen und eine Gerade.

**[0043]** Die für die Simulation vorgegebene Soll-Geometrie 16 des Gleisabschnitts ist mit einer dicken durchgehenden Linie dargestellt. Dabei grenzen die einzelnen Trassierungselemente an Gleishauptpunkten 17 aneinander. Mit einer absoluten Verortung der Gleishauptpunkte 17 wird diese optimale Gleislage auch als Designgeometrie des Gleises 5 bezeichnet. Bei der Vorgabe

einer relativen Soll-Geometrie 16 ist gegebenenfalls die Festlegung von Zwangspunkten von Vorteil, um die Gleislage an Bahnübergängen, Brücken, Tunnel oder ähnlichen Zwangseinrichtungen festzulegen. Eine dünne durchgehende Linie zeigt die mittels der inertialen Messeinrichtung 8 erfasste Ist-Geometrie 10.

**[0044]** Unter dem dargestellten Ortsbild ist eine Seitenlage einer mittels der inertialen Messeinrichtung 8 erfassten Raumkurve dargestellt. Dabei handelt es sich um ungefilterte Messdaten 18, wodurch der Verlauf annähernd einem Krümmungsdiagramm (Krümmungsbild) entspricht. Auf der Abszisse ist der Weg  $s$  aufgetragen. Die Ordinate zeigt die aktuelle Amplitude  $a$  (Krümmung) über dem Weg  $s$  an. Für die Datenerfassung kommt ein an sich bekannter Raumkurvenalgorithmus zum Einsatz. Das trifft auch auf das Inertial-Messsystem der Firma Applanix zu, das im eingangs erwähnten Artikel in der Fachzeitschrift Eisenbahningenieur (52) 9/2001 auf den Seiten 6-9 beschrieben ist. Beispielsweise wird eine 200m lange Ausgleichsgerade gewählt, um an einer aktuellen Messstelle eine Amplitude  $a$  zu berechnen. Dabei erfolgt entlang des Gleises 5 alle 25cm eine Neuberechnung, sodass sich ein genauer und nahezu durchgängiger Verlauf der erfassten Messdaten 18 ergibt.

**[0045]** Im untersten Diagramm ist eine Seitenlage einer Raumkurve des idealisierten, virtuellen Gleises 5 dargestellt. Hier sind auf der Ordinate die simulierten Messdaten 25 aufgetragen, die sich bei einer Messsimulation mit der in der Simulationseinrichtung 24 eingerichteten virtuellen Messeinrichtung ergeben. Auch für diese simulierte Messung wird eine Ausgleichsgerade mit 200m Länge und ein Messintervall von 25cm zugrunde gelegt. Das in der Simulation gemessene virtuelle Gleis weist die vorgegebene Soll-Geometrie 16 auf.

**[0046]** Für die anschließende Ermittlung der Korrekturwerte 26 werden Messdaten 18, 25 für denselben Gleisabschnitt herangezogen. Ein örtlicher Abgleich erfolgt dabei entweder anhand einer Kilometrierung oder auf Basis von GNSS-Daten. Die Korrekturwerte 26 ergeben sich dann unmittelbar durch eine Subtraktion der beiden dargestellten Raumkurven.

**[0047]** In einer anderen Variante werden gefilterte Messdaten der inertialen Messeinrichtung 8 herangezogen (Fig. 4). Bei der virtuellen Messung werden die simulierten Messdaten 25 in gleicher Weise gefiltert. Beispielsweise kommt ein FIR-Filter (Finite Impulse Response Filter) zum Einsatz. Vorgaben finden sich in der europäischen Norm EN 13848. Laut dieser Norm müssen für Strecken mit einer Streckenhöchstgeschwindigkeit von mehr als 250km/h auch Fehleramplituden im Wellenlängenbereich von 70m bis 200m beurteilt werden. In den Diagrammen in Fig. 4 sind das Messsignal der inertialen Messeinrichtung 8 (dünne Linie) und das simulierte Messsignal (dicke Linie) mit einem Bandpassfilter mit einem Wellenlängenbereich von 3m bis 70m gefiltert.

**[0048]** Sowohl bei der realen als auch bei der virtuellen Messung können verfahrensbedingt Artefakte auftreten. In den dargestellten Diagrammen der gefilterten Messwerte sind solche Artefakte an den Übergängen zwischen den Trassierungselementen sichtbar. Durch Subtraktion der erhaltenen Messdaten der Ist-Geometrie 10 und der Soll-Geometrie 16 heben sich diese Artefakte auf. Als Resultat ergeben sich die Korrekturwerte 26 für den entsprechenden Gleisabschnitt. Durch eine unmittelbare Subtraktion der Messdaten 18, 25 besteht keine Notwendigkeit, 3D-Trajektorien in Form von XYZ-Koordinaten zu bestimmen. Damit ergibt sich trotz der erforderlichen Simulation insgesamt ein einfacheres und genaueres Verfahren zur Bestimmung der Korrekturwerte 26.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Korrekturwerten (26) für eine Lagekorrektur eines Gleises (5), wobei eine Ist-Geometrie (10) eines Gleisabschnitts mittels einer an einem Messfahrzeug (1) angeordneten inertialen Messeinrichtung (8) während des Befahrens des Gleises (5) erfasst wird und wobei von der inertialen Messeinrichtung (8) Messdaten (18) des erfassten Gleisabschnitts an eine Auswerteeinrichtung (19) ausgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels einer Simulationseinrichtung (24) eine virtuelle inertielle Messung desselben Gleisabschnitts mit einer Soll-Geometrie (16) berechnet wird, um simulierte Messdaten (25) für die Soll-Geometrie (16) zu erhalten, und dass mittels einer Recheneinheit (23) Korrekturwerte (26) zur Lagekorrektur des Gleises (5) ermittelt werden, indem die simulierten Messdaten (25) von den Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) subtrahiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Simulationseinrichtung (24) die Soll-Geometrie (16) als Abfolge geometrischer Trassierungselemente vorgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) mittels eines Filteralgorithmus gefiltert werden und dass in der Simulationseinrichtung (24) die simulierten Messdaten (25) mit demselben Filteralgorithmus gefiltert werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der inertialen Messeinrichtung (8) die Messdaten (18) auf Basis einer virtuellen Ausgleichsgerade mit einer Länge zwischen 100m und 300m ermittelt werden, insbesondere mit einer Länge von 200m.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der inertialen Messeinrichtung (8) entlang eines Messweges (s) in Abständen zwischen 15cm und 50cm Messdaten (18) erfasst werden, insbesondere in einem jeweiligen Abstand von 25cm.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels einer am Messfahrzeug (1) angeordneten GNSS-Empfangseinrichtung (12) Messstellen am Gleis (5) als Ortsdaten (20) erfasst werden und dass die Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) mit den Ortsdaten (20) verknüpft werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den ermittelten Korrekturwerten (26) zur Lagekorrektur mittels der Recheneinheit (23) horizontale Richtwerte und vertikale Hebewerte des Gleises (5) abgeleitet werden.
8. System zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit einem Messfahrzeug (1) zum Befahren eines Gleises (5), umfassend eine inertielle Messeinrichtung (8) zum Erfassen einer Ist-Geometrie (10) eines Gleisabschnitts, wobei eine Auswerteeinrichtung (19) zur Verarbeitung von Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) eingerichtet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Simulationseinrichtung (24) zur Simulation einer virtuellen inertialen Messung desselben Gleisabschnitts auf Basis einer Soll-Geometrie (16) eingerichtet ist und dass eine Recheneinheit (23) zur Subtraktion der simulierten Messdaten (25) von den Messdaten (18) der inertialen Messeinrichtung (8) eingerichtet ist, um Korrekturwerte (26) zur Lagekorrektur des Gleises (5) zu ermitteln.
9. System nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messfahrzeug (1) eine GNSS-Empfangseinrichtung (12) zur Erfassung von Ortsdaten (20) umfasst.

10. System nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kommunikationssystem zur Übertragung der Korrekturdaten (26) an eine Gleisbaumaschine eingerichtet ist und dass eine Steuerungseinrichtung der Gleisbaumaschine zur Verarbeitung der Korrekturwerte (26) eingerichtet ist, um das Gleis (5) mittels eines angesteuerten Hebe-/Richtaggregats in die vorgegebene Soll-Geometrie (16) zu bringen.

**Hierzu 3 Blatt Zeichnungen**

1/3

Fig. 1

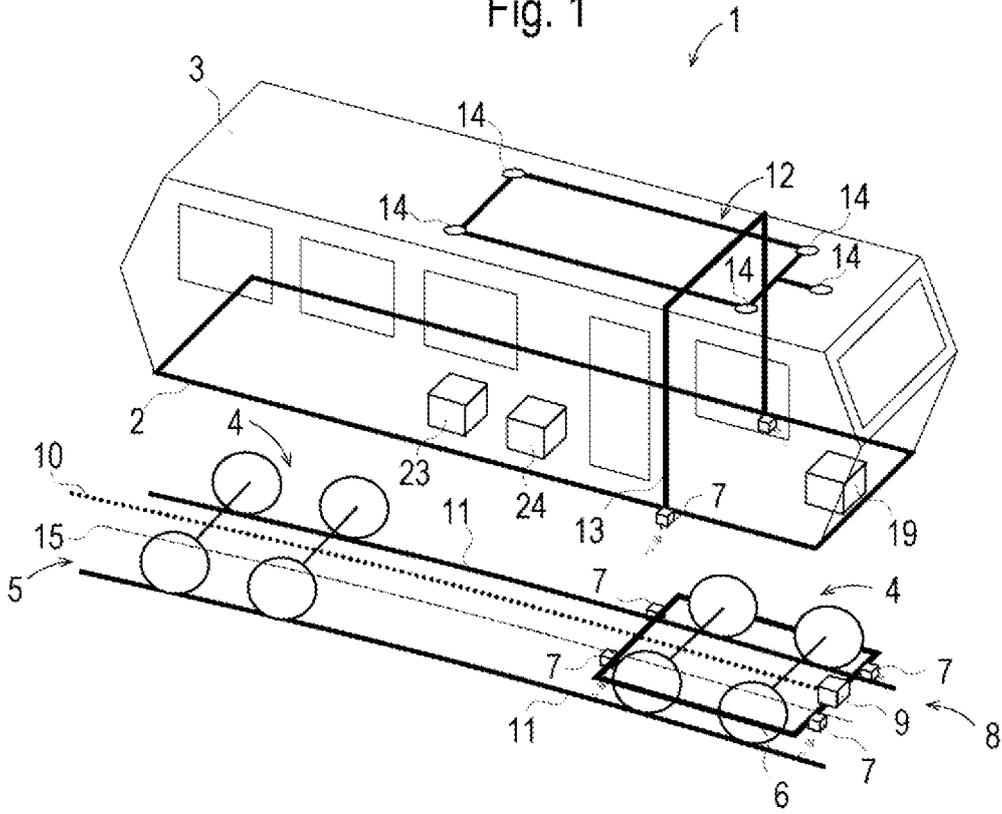
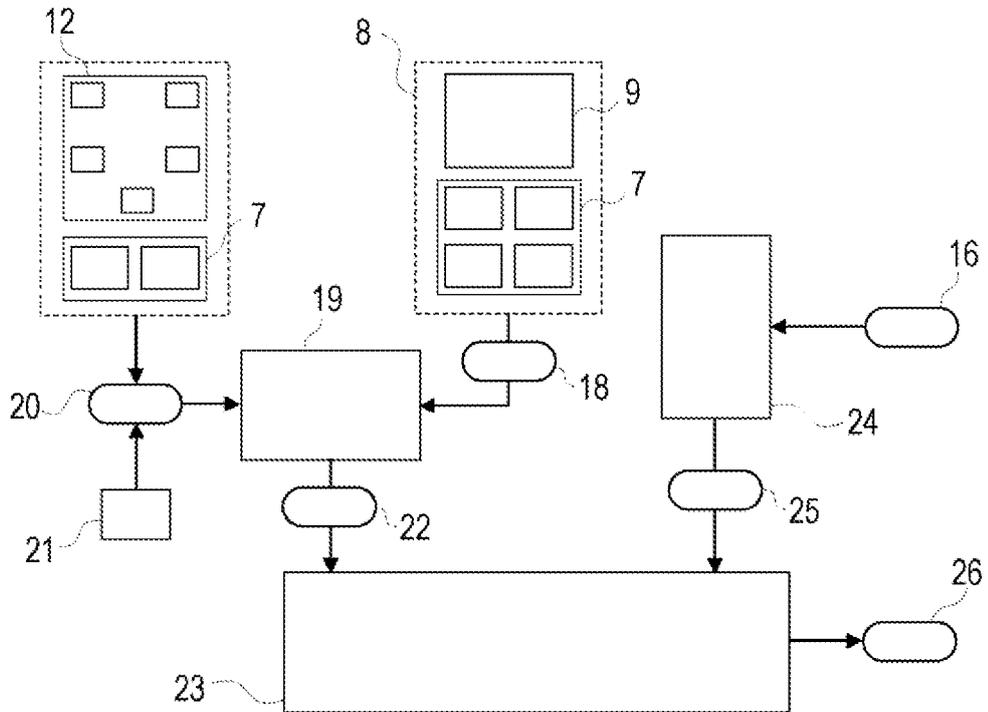
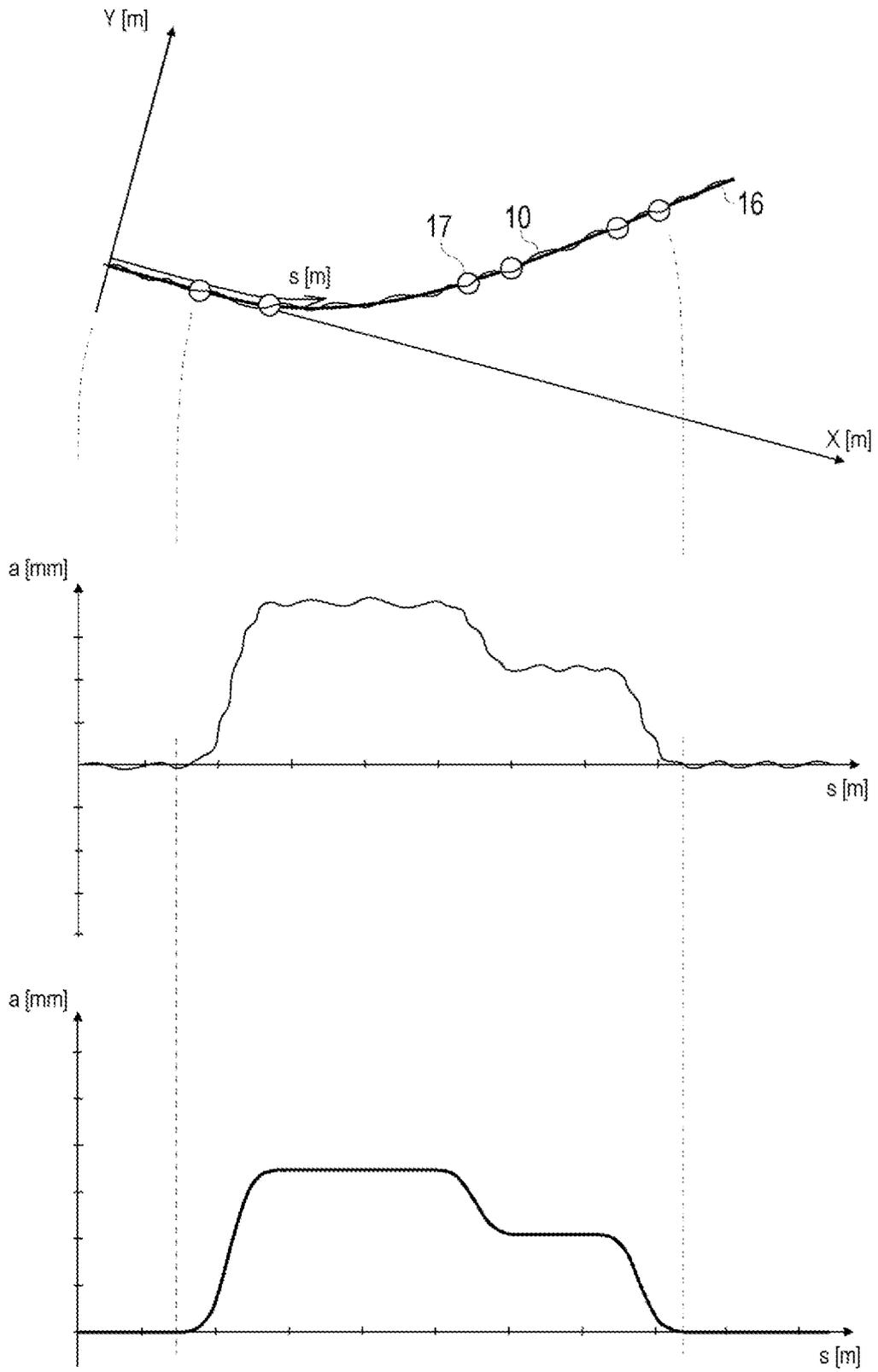


Fig. 2



2/3

Fig. 3



3/3

Fig. 4

