

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 643 035 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.04.2006 Patentblatt 2006/14

(51) Int Cl.:
E01B 27/06^(2006.01) E01B 27/10^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05021587.0**

(22) Anmeldetag: **04.10.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **02.10.2004 DE 102004048169**

(71) Anmelder: **GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH
28832 Achim (DE)**

(72) Erfinder: **Niessen, Jürgen
28357 Bremen (DE)**

(74) Vertreter: **Klinghardt, Jürgen
Eisenführ, Speiser & Partner
Patentanwälte Rechtsanwälte
Postfach 10 60 78
28060 Bremen (DE)**

(54) **Verfahren zur Oberbausanierung von Schienenwegen unter Einsatz einer Planumsverbesserungsmaschine, Planumsverbesserungsmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Oberbausanierung von Schienenwegen unter Einsatz einer Planumsverbesserungsmaschine. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, während der Phase der Ausführung der Sanierungsarbeiten das Gleisbett mittels eines an der Planumsverbesserungsmaschine angeordneten Georadarmesskopfs zu vermessen.

Ferner betrifft die Erfindung eine Planumsverbesserungsmaschine. Erfindungsgemäß ist an dieser ein Georadarmesskopf angeordnet.

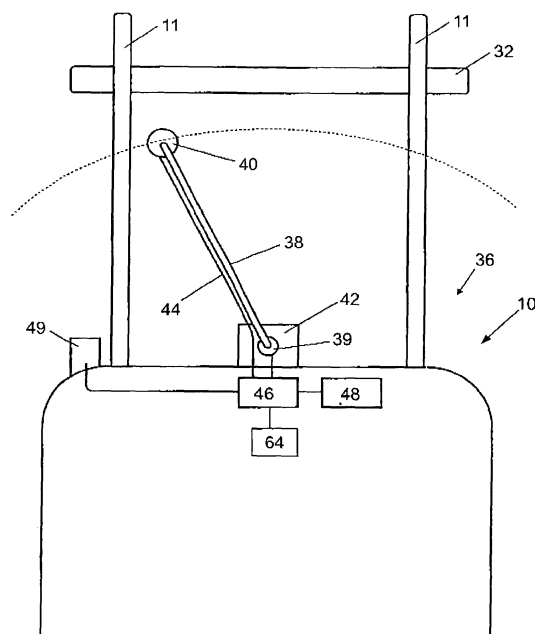


Fig. 2

EP 1 643 035 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Oberbausanierung von Schienenwegen unter Einsatz einer Planumsverbesserungsmaschine und eine Planumsverbesserungsmaschine.

[0002] Bekannt ist, den Oberbau von Schienenwegen, beispielsweise unter Einsatz einer Planumsverbesserungsmaschine RPM 2000 der H.F. Wiebe GmbH & Co. KG durchzuführen. Eine derartige Planumsverbesserungsmaschine ist ein Bauzug zum Austauschen bzw. Sanieren des Oberbaus eines Schienenwegs in einem kontinuierlichen Verfahren. Ein in Fahrtrichtung vorn befindliches Ende der Planumsverbesserungsmaschine läuft dabei auf Schienen, die noch im alten Oberbau gebettet sind, wohingegen das in Fahrtrichtung hinten liegende, zweite Ende bereits auf Schienen läuft, die im neuen, sanierten Oberbau gebettet sind.

[0003] Zwischen beiden Enden der Planumsverbesserungsmaschine befinden sich Vorrichtungen zum Sanieren des Oberbaus: Zunächst ist eine Schotteraushubkettenanlage vorgesehen, mit deren Hilfe der Schotter einer Schotterschicht unter den Schwellen abgezogen wird. Damit die Schienen aufgrund der nunmehr fehlenden Unterstützung nicht durchhängen, werden sie durch eine spezielle Haltevorrichtung gehalten. In Fahrtrichtung der Planumsverbesserungsmaschine hinter der Schotteraushubkettenanlage befindet sich eine Planumsaushubanlage, die mittels einer Planumsaushubkette die Planumsschutzschicht abzieht. Die abgezogene Planumsschutzschicht wird, wie auch der Schotter, entweder recycelt oder entsorgt.

[0004] In Fahrtrichtung hinter den beiden oben genannten Aggregaten befindet sich ein Erdplanumsverdichter, der den anstehenden Erdkörper verdichtet. In Fahrtrichtung hinter dem Erdplanumsverdichter befindet sich eine Planumsschutzschicht-Einbringvorrichtung, mit deren Hilfe eine neue Planumsschutzschicht eingebracht wird. Die Planumsschutzschicht dient dazu, die oberhalb der Planumsschutzschicht befindliche Schotterschicht gegen das Eindringen von Verunreinigungen aus dem anstehenden Erdkörper zu schützen. Insbesondere Feinkornmaterial muss aus der Schotterschicht ferngehalten werden, damit die Kraftableitung von der Schiene bzw. der Schwelle in den Erdkörper nicht verschlechtert wird.

[0005] Um das Eindringen von derartigem Feinkornmaterial aus dem anstehenden Erdkörper in die Planumsschutzschicht zu unterbinden wird mittels einer Geotextilabgabevorrichtung ein Geotextil zwischen Planumsschutzschicht und anstehendem Erdkörper eingezogen. Ein derartiges Geotextil besteht aus einem Kunststoff, insbesondere einem Hochleistungskunststoff, d.h. einem Kunststoff, der besonders mechanisch stabil und alterungsbeständig ist. Das Geotextil behindert den Durchtritt von Wasser aus der Planumsschutzschicht in den anstehenden Erdkörper nicht, verhindert jedoch die Bewegung von Feinkornmaterial aus dem anstehenden

Erdkörper in die Planumsschutzschicht.

[0006] In Fahrtrichtung hinter der Planumsschutzschicht-Einbringvorrichtung und gegebenenfalls der Geotextilabgabevorrichtung befindet sich eine Schottereinbringung, die den verbleibenden Raum zwischen der Oberkante der Planumsschutzschicht und der Schiene bzw. der Schwellen mit Schotter auffüllt.

[0007] Eine derartige Planumsverbesserungsmaschine bewegt sich während der Ausführung der Sanierungsarbeiten mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 100 m/h vorwärts, sodass während einer 8-Stunden-Schicht ungefähr ein Kilometer Oberbau eines Schienenwegs saniert werden kann.

[0008] Nachteilig an derartigen bekannten Planumsverbesserungsmaschinen ist, dass in der Regel bereits vor Baubeginn detailliert festgelegt werden muss, an welchen Stellen das (sehr teure) Geotextil in den Oberbau einzubringen ist. In Wasserstauzonen, ist der Einsatz eines Geotextils vorteilhaft, wohingegen er unter "normalen" geologischen Bedingungen möglicherweise entbehrlich ist und daher aus Kostengründen in der Regel nicht angezeigt ist.

[0009] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Sanierung von Schienenwegen effizienter zu gestalten.

[0010] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Oberbausanierung unter Einsatz einer Planumsverbesserungsmaschine gekennzeichnet durch den Schritt:

- Vermessen des Gleisbetts mittels eines an der Planumsverbesserungsmaschine angeordneten Georadarmesskopfs während der Phase der Ausführung der Sanierungsarbeiten

[0011] Ferner wird die Aufgabe gelöst durch eine Planumsverbesserungsmaschine, an der zumindest ein Georadarmesskopf angeordnet ist.

[0012] Der Oberbau umfasst in der Regel das Gleis (welches die Schwellen, Schienen und Befestigungen umfasst) und das Gleisbett. Das Gleisbett liegt auf dem anstehenden Erdkörper und umfasst gegebenenfalls eine Planumsschutzschicht und die Schotterschicht. Bei Schienenwegen mit einer festen Fahrbahn existiert keine Schotterschicht, stattdessen sind die Schienen auf einem Betonfahrweg montiert.

[0013] Unter einem Verfahren zur Oberbausanierung sind sämtliche Verfahren zu verstehen, bei denen Bestandteile des Oberbaus saniert, also beispielsweise repariert, ausgetauscht oder ersetzt werden.

[0014] Unter einem Georadarmesskopf wird eine Vorrichtung zur Abgabe und zum Empfangen von Radarwellen verstanden, die eine Auswertelektronik oder Mittel zum Übertragen von Messdaten an eine Auswertelektronik umfasst. Der Georadarmesskopf ist Teil eines Georadarsystems, das zusätzlich Hilfsgeräte wie Spannungsquelle, Halter und so weiter umfasst.

[0015] Bei der Durchführung von Oberbausanierung

gen können im Wesentlichen drei Phasen der Ausführung unterschieden werden. In einer ersten Phase wird der Schienenweg, dessen Oberbau saniert werden soll, begutachtet und durch Messungen charakterisiert. Anhand der so gewonnenen Messergebnisse zum Zustand des Schienenwegs wird in einer zweiten Phase die Sanierung des Oberbaus geplant. So wird beispielsweise festgelegt, ob eine gegebenenfalls vorhandene Planumsschutzschicht entfernt wird, oder ob dann, wenn keine Planumsschutzschicht vorhanden ist, eine solche Planumsschutzschicht eingebracht wird. In dieser Phase werden zusätzlich die Mindeststärken der bei der Sanierung einzubringenden Schichten und sonstige Spezifikationen, wie beispielsweise die Schotterdicke festgelegt.

[0016] In der sich daran anschließenden dritten Phase der Ausführung der Sanierungsarbeiten werden die Arbeiten gemäß des Sanierungsplans, der in der zweiten Phase erstellt wurde, ausgeführt. Die Phase der Ausführung der Sanierungsarbeiten ist damit der zeitlich-räumliche Abschnitt einer Oberbausanierung, der sich dadurch auszeichnet, dass die Gesamtplanung der Oberbausanierung bereits abgeschlossen ist und tatsächliche Änderungen am Oberbau des Schienenwegs vorgenommen werden.

[0017] Vorteilhaft an der erfindungsgemäßen Lösung ist zunächst, dass durch die Vermessung des Untergrunds mittels Georadar während der Phase der Ausführung der Sanierungsarbeiten, also nach der zweiten Phase, in der die Sanierung des

[0018] Oberbaus geplant wird, diejenigen Stellen ermittelt werden, an denen der Einsatz eines Geotextils angezeigt ist. Hierdurch wird eine Vermessung des Oberbaus durch Georadar vor der zweiten Phase der Durchführung der Oberbausanierung entbehrlich. Aufgrund der geringen Vorschubgeschwindigkeit von ca. 100 m/h verbleibt hinreichend Zeit für eine Interpretation der gemessenen Georadardaten und das Vorbereiten eines Einziehens eines Geotextils, in das entstehende, sanierte Gleisbett.

[0019] Das Vermessen des Gleisbretts mittels Georadar erfolgt, da der Georadarmesskopf an der Planumsverbesserungsmaschine angeordnet ist, an einer relativ zur Planumsverbesserungsmaschine festgelegten Position. Durch geeignete Wahl des Abstands vom Messort zu dem Ort, an dem das Geotextil gegebenenfalls eingebracht wird, wird die Zeit gewählt, die zur Interpretation der Messdaten und gegebenenfalls zum Einleiten von der geologischen Situation angemessenen Baumaßnahmen zur Verfügung steht.

[0020] Vorteilhafterweise werden die Georadarmessdaten dann, wenn der Georadarmesskopf am in Fahrtrichtung hinteren Ende der Planumsverbesserungsmaschine angeordnet ist, zur Qualitätssicherung der Baumaßnahme eingesetzt. Durch die geringe Vorschubgeschwindigkeit der Planumsverbesserungsmaschine ist dabei eine sehr hohe Ortsauflösung der Georadarmessung möglich, die bei Einsatz bekannter Maßnahmen zur Qualitätssicherung nur unter einem ho-

hen Kostenaufwand zu erzielen ist.

[0021] Vorteilhaft ist zudem, dass die oben genannten Vorteile weitgehend ohne den Einsatz zusätzlicher menschlicher Arbeitskraft erreicht werden können. Durch die geringe Vorschubgeschwindigkeit der Planumsverbesserungsmaschine besteht hinreichend Zeit zur Auswertung der Georadarmessdaten. Aus diesem Grund reichen handelsübliche Rechner aus, um die anfallende Datenmenge zu verarbeiten.

[0022] Bevorzugt ist ein Verfahren, das den zusätzlichen Schritt aufweist: Ermitteln eines Verschmutzungshorizonts der Schotteroberfläche des Gleisbretts aus den durch Vermessen des Gleisbretts erhaltenen Messdaten durch Mustererkennung. Unter einer Mustererkennung wird ein, vorzugsweise mittels eines Rechners, durchgeführtes Verfahren verstanden, bei dem aus den Messdaten charakteristische Parameter ermittelt werden. Beispielsweise werden dazu Schwellenwertanalysen oder neuronale Netze eingesetzt.

[0023] Hierbei werden beispielsweise die Amplituden der reflektierten Georadarwellen ausgewertet (Kontrast-Amplitudenanalyse). An Grenzflächen ist die Reflexion von Georadarwellen besonders stark, es ergibt sich somit eine hohe Amplitude, d.h. eine hohe gemessene Feldstärke der reflektierten Georadarwellen. In Vorversuchen wird eine Höhe der Amplitude ermittelt, ab der vom Vorliegen einer Grenzfläche ausgegangen wird. Überschreitet die Amplitude der reflektierten Georadarwellen diesen Schwellenwert, so wird davon ausgegangen, dass eine Reflexion an einer Grenzfläche stattgefunden hat. Aufgrund der Laufzeit der reflektierten Georadarwelle wird berechnet, in welcher Tiefe sich die Grenzfläche befindet. Durch Georadarmessungen an mehreren Stellen wird eine Abbildung, beispielsweise in Form einer flächigen Darstellung dieser Grenzfläche im Oberbau erhalten. Als Verschmutzungshorizont wird dabei beispielsweise die höchstliegende Grenzfläche innerhalb des Schotterbetts gewählt. Unterhalb dieses Verschmutzungshorizonts liegt die Konzentration an Verunreinigungen oberhalb eines vorgewählten Werts.

[0024] Alternativ wird zur Ermittlung des Verschmutzungshorizonts ein neuronales Netz eingesetzt. Dem neuronalen Netz werden die Amplituden der reflektierten Georadarmesswerte an einer Vielzahl von Georadarmessungen eingespeist. Das neuronale Netz wird dadurch trainiert, dass eine in der Analyse von durch Georadarmessung erhaltenen Messdaten erfahrene Person aus diesen den Verschmutzungshorizont ermittelt und dieses Ergebnis mit den Berechnungsergebnissen des neuronalen Netzes abgleicht. Dieses Training neuronaler Netze erfolgt, beispielsweise nach dem Backpropagation-Algorithmus. Als weitere Alternative wird zur Analyse der Messdaten eine erfahrene Person eingesetzt.

[0025] Wird die Georadarmessung zur Qualitätssicherung eingesetzt, so dient die Auswertung des Verschmutzungshorizonts dazu, die spezifikationsgemäße Ausführung der Bauarbeiten zu dokumentieren.

[0026] Ist der Georadarmesskopf an der in Fahrtrichtung der Planumsverbesserungsmaschine vom liegenden Stirnseite angeordnet, so wird aus Veränderungen des Verschmutzungshorizonts des noch nicht sanierten Gleisbetts abgeleitet, ob auch in Zukunft an der entsprechenden Stelle mit verstärkter Verschmutzung zu rechnen ist: An Gleisabschnitten, die einen besonders hoch liegenden Verschmutzungshorizont aufweisen, wird eine höhere Wahrscheinlichkeit vermutet, dass auch die Schotterschicht des sanierten Oberbaus schnell verschmutzt. An derartigen Stellen wird dann ein Geotextil eingebracht.

[0027] Bevorzugt ist, dass in dem Fall, dass der ermittelte Verschmutzungshorizont von einem vorbestimmten Niveau abweicht, eine Meldung ausgegeben wird. Eine derartige Meldung besteht beispielsweise in einem Ton- oder Lichtsignal, das an die die Planumsverbesserungsmaschine bedienenden Arbeiter ausgegeben wird. Alternativ wird die Meldung an eine Steuerung der Geotextilabgabevorrichtung abgegeben, die den Einbau des Geotextils steuert. Eine derartige Meldung hat die Wirkung, dass, gegebenenfalls nach einer Karenzzeit, automatisch das Geotextil in den Oberbau eingebaut wird. Alternativ, aber auch additiv werden weitere Meldungen an andere Aggregate der Planumsverbesserungsmaschine abgegeben. Eine weitere Alternative ist die Ausgabe eine Meldung als Kurzmitteilung an ein Mobiltelefon oder in Form eines automatisch generierten Anrufs eines Telefons.

[0028] Vorzugweise umfasst das Verfahren den zusätzlichen Schritt bzw. die zusätzlichen Schritte:

- ggf. Entfernen einer vorhandenen Planumssechutzschicht und
- Einbringen einer neuen Planumsschutzschicht.

[0029] Besonders bevorzugt ein Verfahren mit dem zusätzlichen Schritt:

- Einbringen eines Geotextils zwischen Planumsschutzschicht und anstehendem Erdkörper, insbesondere an den Stellen, an denen der ermittelte Verschmutzungshorizont der Schotterschicht von dem voreingestellten Niveau abweicht, und deren Umgebung.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Georadarmesskopf beim Vermessen des Gleisbetts mit einer Bewegungskomponente senkrecht zum Schienenverlauf bewegt. Um ein dreidimensionales Abbild des Untergrunds zu erreichen, ist es notwendig, den Oberbau zweidimensional mit dem Georadarmesskopf abzutasten. Wird der Georadarmesskopf mit einer Bewegungskomponente senkrecht zum Schienenverlauf bewegt, so ist nur ein einziger Georadarmesskopf hinreichend, um eine zweidimensionale Abtastung des Untergrundes zu erreichen.

[0031] Besonders bevorzugt ist in diesem Fall, dass der Georadarmesskopf beim Vermessen des Gleisbetts so bewegt wird, dass die Lage der Polarisationssebene des elektrischen Felds der Georadarwellen relativ zur Schiene und/oder relativ zum Horizont konstant bleibt. Flächen metallischer Gegenstände reflektieren die Radarwellen annähernd vollständig und führen zu einem besonders starken Messsignal, wenn die reflektierte Radarwelle den Detektor erreicht. Die Stärke dieses Messsignals hängt davon ab, unter welchem Winkel der Feldvektor des elektrischen Felds auf eine Oberfläche des entsprechenden metallischen Gegenstands fällt. Im Gleisbau verwendete metallische Komponenten weisen in der Regel Flächen auf, die entweder senkrecht oder aber parallel zum Schienenverlauf verlaufen. Wird nun die Polarisationssebene des elektrischen Feldes der Georadarwellen relativ zur Schiene und/oder relativ zum Horizont konstant gehalten, so ergeben sich für gleiche metallische Bauteile (wie beispielsweise Patzen oder Schrauben) stets die gleichen Reflektionsmuster. Hierdurch wird die Auswertung der Messdaten erleichtert. Günstig ist, die Lage des Feldvektors des elektrischen Felds so zu wählen, dass dieser nicht unter einem Winkel auf Flächen der metallischen Bauteile auftrifft, der um weniger als 10° von dem Winkel abweicht, unter dem die entsprechende Fläche eine Radarwelle in den Detektor des Georadarmesskopfs reflektiert.

[0032] In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Messrate und die Geschwindigkeit der Bewegung des Georadarmesskopfs in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit der Planumsverbesserungsmaschine so gewählt, dass die erhaltenen Georadarmessdaten in einer Ortsauflösung von unter 100 cm, insbesondere unter 50 cm, insbesondere unter 30 cm vorliegen. Die Zahl der Messpunkte stellt einen Kompromiss dar zwischen einer hohen Ortsauflösung und einer geringen Datenrate. Dadurch, dass die Planumsverbesserungsmaschine mit einer sehr geringen Vorschubgeschwindigkeit bewegt wird, ist eine hohe Ortsauflösung möglich, ohne das unakzeptable hohe Datenraten anfallen.

[0033] Besonders bevorzugt ist dabei, dass beim Vermessen des Gleisbetts die Messrate in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit so gewählt wird, dass die erhaltenen Georadarmessdaten eine konstante Ortsauflösung aufweisen. Das wird beispielsweise dadurch erreicht, dass die Bewegungsgeschwindigkeit des Georadarmesskopfs proportional zur Vorschubgeschwindigkeit der Planumsverbesserungsmaschine geändert wird. Vorteilhaft hieran ist, dass aus so aufgenommenen Georadarmessdaten ohne Interpolation ein Graph mit äquidistanten Stützstellen errechnet werden kann.

[0034] Die konstante Ortsauflösung bezieht sich zunächst auf den Abstand der Messpunkte entlang einer parallel an den Schienen verlaufenden Linie. Besonders günstig ist, die Bewegung des Georadarmesskopfs so zu wählen, dass die Messpunkte auf den Punkten eines äquidistanten Gitters liegen. Günstig ist, die Bewegung

des Georadarmesskopfs so zu wählen, dass die Oberauflösung längs der Schienen unter 10 cm und quer zu den Schienen unter 30 cm beträgt.

[0035] Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Vermessen des Gleisbetts ein Bewegen, insbesondere Schwenken, eines Georadarmesskopfs mit einer Bewegungs-komponente senkrecht zum Schienenweg umfasst. Durch das Bewegen mit einer senkrecht zum Schienenverlauf verlaufenden Bewegungs-komponente wird ein zweidimensionales Abtasten des Untergrunds erreicht. Vorteilhaft an einer Schwenkbewegung ist, dass sie technisch sehr einfach zu realisieren ist. Hierzu muss der Georadarmesskopf lediglich schwenkbar an der Planumsverbesserungsmaschine angelenkt sein. Alternativ weist die Planumsverbesserungsmaschine einen Antrieb auf, der für eine Hin- und Herbewegung des Georadarmesskopfs sorgt.

[0036] Besonders bevorzugt ist in diesem Fall ein Verfahren mit den zusätzlichen Schritten:

- Aufnehmen von Positionsdaten des Georadarmesskopfs und
- Speichern der Georadarmessdaten zusammen mit den Positionsdaten.

[0037] Die Positionsdaten des Georadarmesskopfs werden dabei auf verschiedene Art und Weisen erhalten: Eine Möglichkeit ist, den Georadarmesskopf mit einem GPS-Empfänger auszustatten. Dieser GPS-Empfänger ermittelt die absolute Position des Georadarmesskopfs. Eine andere Möglichkeit ist, die Position des Georadarmesskopfs relativ zur Planumsverbesserungsmaschine dadurch zu messen, dass beispielsweise der Schwenkwinkel ermittelt wird. Aus der Länge des Schwenkarms und der Position der Planumsverbesserungsmaschine lässt sich somit die exakte Position des Georadarmesskopfs errechnen. Alternativ wird ein Triangulationssensor eingesetzt. Die Position der Planumsverbesserungsmaschine wird entweder selbst durch eine absolute Positionsmessung mit einem GPS-Empfänger bestimmt oder auf klassischem Wege durch Drehwinkel-messung an einem Rad.

[0038] Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem aus den durch Vermessen des Gleisbetts erhaltenen Georadarmessdaten ein Gleisquerschnitt errechnet wird und aus diesem Gleisquerschnitt durch Integration das Volumen von Schotterschicht und/oder Planumsschutzschicht berechnet wird. Aus einem derartigen Profil wird bei Kenntnis des entnommenen bzw. eingebrachten Schotters die Schotterdicke berechnet. Die Schotterdicke ist eine wichtige Kenngröße, die häufig in den Spezifikationen eines Schienenwegs festgelegt ist. Auf entsprechende Art und Weise wird auch die Dichte der Planumsschutzschicht berechnet.

[0039] Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Vermessen des Gleisbetts mittels des Georadarmesskopfs die folgenden Schritte umfasst:

- Senden von aufeinander folgenden Georadarwellenimpulsen,
- Empfangen von reflektierten Georadarwellenimpulsen und
- Messen der Feldstärke der reflektierten Georadarwellenimpulse zu unterschiedlichen, vorzugsweise zeitlich äquidistant zueinander liegenden, Zeitpunkten nach Senden des jeweiligen Georadarwellenimpulses.

[0040] Die aufeinander folgenden Georadarwellenimpulse werden dabei vorzugsweise in einem festen zeitlichen Abstand voneinander abgestrahlt. Die Frequenz, mit der die Georadarwellenimpulse abgestrahlt werden ist die Impulsfolgefrequenz. Kurze Georadarwellenimpulse werden erzeugt, indem kurze elektrische Impulse, die beispielsweise durch eine one-shot-Schaltung erzeugt werden, auf einen Radarsender gegeben werden. Je kürzer die Georadarwellenimpulse sind, desto höher ist die Ortsauflösung in der Tiefe.

[0041] Die reflektierten Georadarwellenimpulsen werden durch eine Antenne empfangen, die Teil des Georadarmesskopfs sein kann. An diese Antenne ist eine elektronische Auswerteschaltung angeschlossen. Diese Auswerteschaltung ermittelt die Feldstärke der reflektierten Georadarwellenimpulse zu unterschiedlichen, vorzugsweise zeitlich äquidistant zueinander liegenden, Zeitpunkten nach Senden des jeweiligen Georadarwellenimpulses. Hierzu wird von der Auswerteschaltung der zeitliche Abstand von dem vorangegangenen kurzen elektrischen Impuls ermittelt. Nach Ablauf einer festgelegten Zeit wird dann die Feldstärke des reflektierten Georadarwellenimpulses gemessen. Zeitlich äquidistant zueinander liegende Zeitpunkte werden dadurch erhalten, dass die Auswerteschaltung zu Zeitpunkten nach Erzeugung der kurzen elektrischen Impulse die Feldstärke misst, deren zeitlicher Abstand voneinander konstant ist. Wenn die reflektierten Georadarwellenimpulse alle gleich sind, beispielsweise, weil sich Georadarmesskopf zwischen zwei dem Senden von zwei aufeinander folgenden Georadarwellenimpulsen nicht bewegt hat, so wird durch das beschriebene Vorgehen ein wenig aufwendiges Abtasten (Sampling) der reflektierten Georadarwellenimpulse erreicht.

[0042] Vorzugsweise haben die Georadarwellenimpulse eine Pulsdauer von unter 20 ns, insbesondere unter 3 ns. Entsprechend haben auch die kurzen elektrischen Impulse, die auf den Radarsender gegeben werden, eine Pulsdauer von unter 20 ns, insbesondere unter 3 ns.

[0043] Bevorzugt wird der Georadarmesskopf mit einer Impulsfolgefrequenz von 50 kHz bis 700 kHz gepulst betrieben. Die Impulsfolgefrequenz ist das Inverse des zeitlichen Abstands zweier Georadarimpulse.

[0044] In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird der Georadarmesskopf auf die Position relativ zur Schiene getriggert betrieben. Unter einem getriggerten Betrieb ist zu verstehen, dass der Georadar-

messkopf dann einen Messpunkt aufnimmt, wenn er von einer externen Steuerung oder einem externen Sensor ein entsprechendes Signal erhalten hat. Ein derartiges Triggersignal wird beispielsweise dann abgegeben, wenn sich der Georadarmesskopf auf einer vorbestimmten Position relativ zu den Schienen befindet.

[0045] Durch eine derartige Triggerung wird erreicht, dass aus den aufgenommenen Messpunkten Linientiefenprofile berechenbar sind, die parallel zum Verlauf der Schienen verlaufen. Ein weiterer Vorteil hieran ist, dass an den Stellen, an denen mit einer übermäßigen Reflexion gerechnet werden muss, beispielsweise im Bereich der Schienen oder der Pratzen, die Aufnahme von Messdaten unterdrückt werden kann. In diesen Bereichen würden die Messdaten aufgrund der starken Reflexion stark verfälscht. Alternativ oder zusätzlich wird der Georadarmesskopf auf die Position relativ zu den Schwellen getriggert. Hierdurch wird erreicht, dass stets Messpunkte an vergleichbaren Stellen des Gleisbetts aufgenommen werden.

[0046] Bevorzugt ist eine Planumsverbesserungsmaschine, bei der zumindest ein Georadarmesskopf an einer Stirnseite angeordnet ist. Vorzugweise weist die Planumsverbesserungsmaschine einen Georadarmesskopf bzw. Georadarmessköpfe auf, die senkrecht zur Arbeitsrichtung bewegbar antreibbar angeordnet sind.

[0047] Es ist bevorzugt, dass Mittel zum Ermitteln der Position des Georadarmesskopfs ausgebildet sind. Solche Mittel sind beispielsweise Winkelsensoren oder Triangulationssensoren.

[0048] Bevorzugt ist eine Planumsverbesserungsmaschine mit mindestens einem Aufnahmeelement für die Georadarmessköpfe bzw. den Georadarmesskopf, mindestens einem Sensor zum Erkennen von Körpern in der Umgebung des Aufnahmeelements und Mitteln zum Nachführen des mindestens einen Aufnahmeelements versehen, die so ausgebildet sind, dass weder Aufnahmeelement noch Georadarmessköpfe das Lichtraumprofil der Planumsverbesserungsmaschine verlassen.

[0049] Das Lichtraumprofil ist die größte zulässige Ausdehnung eines Schienenfahrzeugs in Höhe und Breite, mit der es sich sicher innerhalb des Regellichtraums bewegen kann. Der Regellichtraum ist derjenige Abstand, den alle an den Schienenweg angrenzende Bebauungen einhalten müssen. Durch die Mittel zum Nachführen des mindestens einen Aufnahmeelements wird sichergestellt, dass weder Aufnahmeelement, noch Georadarmesskopf mit Körpern außerhalb des Lichtraumprofils kollidieren können. Durch den Sensor zum Erkennen von Körpern in der Umgebung des Aufnahmeelements wird zudem sichergestellt, dass Körper, die sich trotzdem im Lichtraumprofil der Planumsverbesserungsmaschine befinden, nicht mit dem (teuren) Georadarmesskopf kollidieren. Diese Maßnahme dient dem Schutz des Georadarmesskopfs aber auch der Menschen und Gegenstände, die sich möglicherweise nur kurzfristig in dem Bereich aufhalten, in dem eine Kollision mit dem Georadarmesskopf oder dem Aufnahme-

element möglich ist.

[0050] Bevorzugt ist eine Planumsverbesserungsmaschine mit einem zugeordneten, gleisgebundenen Ausleger, der den in Arbeitsrichtung vorderen Teil der Planumsverbesserungsmaschine bildet, der sich in einstellbarem Abstand vor dem in Arbeitsrichtung nächst folgenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine bewegt und auf dem der Georadarmesskopf eingeordnet ist. Das den Georadarmesskopf tragende Bauelement der Planumsverbesserungsmaschine wird dazu auf einem Ausleger montiert, der in einem fixen Abstand vom Rest der Planumsverbesserungsmaschine in Fahrtrichtung vorweg läuft. Der Abstand zwischen dem Ausleger und dem nächst folgenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine wird dabei durch eine starre Verbindung, wie ein Stahlseil, oder eine sonstige Verbindung hergestellt. Eine sonstige Verbindung wird beispielsweise dadurch hergestellt, dass ein Entfernungsmesser, der am Ausleger angebracht ist, einen Antrieb des Auslegers so ansteuert, dass der Abstand zwischen Ausleger und dem nächst folgenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine konstant bleibt.

[0051] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

Figur 1 einen Ausschnitt einer Planumsverbesserungsmaschine gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer schematisierten Seitenansicht,

Figur 2 den in Fahrtrichtung vorne liegenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine aus Figur 1 mit einem daran angeordneten Georadarmesskopf in einer Draufsicht,

Figur 3 eine schematisierte Darstellung der zur Erzeugung von Georadarwellenimpulsen verwendeten elektrischen Impulse und der vom Georadarmesskopf aufgenommenen reflektierten Georadarwellenimpulse bei Ausführung eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Figur 4 einen Teil einer Planumsverbesserungsmaschine mit einem Ausleger gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer schematisierten Draufsicht und

Figur 5 den Pfad, den ein Georadarmesskopf relativ zum Erdboden zurücklegt, und die Stellen, an denen Messpunkte bei Ausführung eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung aufgenommen werden.

[0052] Figur 1 zeigt einen Ausschnitt einer Planumsverbesserungsmaschine 10, die auf Schienen 11 läuft und die eine Schotteraushubvorrichtung 12, eine Planumsschutzschichtaushubvorrichtung 14, eine

Planumsschutzschichteinbringungs Vorrichtung 16 und eine hier nicht eingezeichnete Schottereinbringung umfasst.

[0053] Die Schotteraushubvorrichtung 12 entfernt eine Schotterschicht 20, die Bestandteil eines Oberbaus 22 eines Schienenwegs 23 ist. Der Oberbau 22 umfasst zusätzlich eine Planumsschutzschicht 24, die an einen anstehenden Erdkörper 26 angrenzt. Zwischen Planumsschutzschicht 24 und Oberbau 22 befindet sich in Fahrtrichtung hinter der Planumsschutzschichteinbringungs Vorrichtung 16 eine Geotextilabgabevorrichtung 28, mit deren Hilfe eine Geotextilbahn 30 in den Oberbau eingebracht wird.

[0054] Wenn sich die Planumsverbesserungsmaschine 10 in Vorschubrichtung in Richtung des Pfeils P bewegt, so wird zunächst die Schotterschicht 20 aufgenommen und entweder zum Recycling oder zur Entsorgung gebracht. Anschließend wird die Planumsschutzschicht 24 aufgenommen und ebenfalls recycelt oder entsorgt. Die Schienen 11 und die an den Schienen befestigten Schwellen 32 werden in diesem Zustand nicht mehr von einer Schottersehicht getragen, sondern von einem Schienenhalter 34 der Planumsverbesserungsmaschine 10 gehalten.

[0055] Die Planumsverbesserungsmaschine 10 weist in Vorschubrichtung vorne eine Stirnseite 36 auf, die in Figur 1 nicht eingezeichnet ist. An der in Figur 2 dargestellten Stirnseite 36 ist ein Aufnahmeelement 38 schwenkbar angeordnet, an dem wiederum ein Georadarmesskopf 40 angeordnet ist. Das Aufnahmeelement 38 wird von einem Elektromotor 42 so geschwenkt, dass es sich hin und her bewegt, so dass der Georadarmesskopf 40 eine Bahn zurücklegt; die in Figur 2 gestrichelt gezeichnet ist. Ein Positionssensor 39 misst dabei kontinuierlich den Schwenkwinkel, um den das Aufnahmeelement 38 gegenüber der Stirnseite 36 verschwenkt ist.

[0056] Die vom Georadarmesskopf 40 aufgenommenen Georadarmessdaten werden über ein Kabel 44 an eine zentrale Steuerung 46 geleitet, die diese verarbeitet und in einem Speicher 48 ablegt. Die zentrale Steuerung 46 gibt zudem einen Triggerimpuls an den Georadarmesskopf 40 ab, wenn der Positionssensor 39 einen Wert für den Schwenkwinkel misst, der in einem voreingestellten Intervall liegt. Aufgrund dieses Triggerimpulses nimmt der Georadarmesskopf 40 einen Messpunkt auf.

[0057] Der Georadarmesskopf 40 umfasst eine Steuereinheit, die in regelmäßigen Zeitabständen oder nach Empfang eines Triggerimpulses einen Radarsender ansteuert. Figur 3 zeigt im oberen Diagramm schematisch über der Zeit t aufgetragene, kurze elektrische Impulse 41a, 41b, 41c, ..., die an den Radarsender abgegeben werden. Die zeitliche Länge t_1 dieser kurzen elektrischen Impulse 41a, 41b, 41c mit einer vorgegebenen Spannung U beträgt ca. 2 ns. Diese Impulse werden durch eine one-shot-Schaltung innerhalb der Steuereinheit erzeugt. Eine derartige one-shot-Schaltung umfasst bei-

spielsweise eine Schottky-Diode.

[0058] Die Steuereinheit gibt in regelmäßigen Zeitabständen oder nach Empfang eines Triggerimpulses in einem gleichbleibenden zeitlichen Abstand von t_2 derartige kurze elektrische Impulse 41a, 41b, 41c ab. Der Radarsender erzeugt aufgrund dieser kurzen elektrischen Impulse entsprechende Georadarwellenimpulse und strahlt diese ab. Der zeitliche Abstand t_2 liegt bei etwa 2,5 μ s bis 10 μ s.

[0059] So abgestrahlte Georadarwellenimpulse dringen in den Oberbau des Schienenwegs ein und werden an Grenzflächen, beispielsweise an der Grenzfläche von Schotterschicht zu Planumsschutzschicht reflektiert. Ein Teil der reflektierten Georadarwellenimpulse gelangt an eine Antenne, die Teil des Georadarmesskopfes ist, und wird dort registriert. In Figur 3 sind schematisch von der Antenne aufgenommene, reflektierte Georadarwellenimpulse 37a, 37b, 37c gezeigt.

[0060] Um die Digitalisierung der von der Antenne aufgenommenen Messwerte zu erleichtern, werden die Stützstellen für die Digitalisierung an aufeinander folgenden reflektierten Georadarwellenimpulsen aufgenommen; So wird der erste Sampling-Punkt t_{a1} am Radarwellenzug 37a aufgenommen, der nachfolgende, zweite Sampling-Punkt t_{s1} am zweiten Radarwellenzug 37b, und so fort. Insgesamt werden so vorzugsweise 1024 Sampling-Punkte aufgenommen. Die Samplingzeit t_s , also die Zeit, die vergehen würde, wenn an nur einem Radarwellenzug alle Sampling-Punkte aufgenommen werden würden, liegt je nach Anwendung zwischen 5 ns und 200 ns.

[0061] Diese Art des Samplings (d.h. der Abtastung der registrierten reflektierten Georadarwellenimpulse) führt zu keinem gravierenden Fehler gegenüber einem Sampling nur eines einzigen reflektierten Radarwellenzugs, da der Weg, den der Georadarmesskopf in der Zeit, in der im Beispiel 1024 Sampling-Punkte aufgenommen werden, so klein ist, dass sich die Reflexionseigenschaften des Bodens in guter Näherung nicht geändert haben. Durch die oben beschriebene Art des Samplings wird jedoch erreicht, dass für das Sampling kostengünstigere Bauteile verwendbar sind. Die so durch das Sampling erhaltenen Georadarmessdaten, die einen Georadarmesspunkt darstellen, werden an die zentrale Steuerung 46 übermittelt und dort weiter verarbeitet.

[0062] Auf der Bahnseite der Planumsverbesserungsmaschine 10, in Figur 2 also auf der linken Seite, ist ein Fächerlasersensor 49 angebracht. Dieser Fächerlasersensor 49 scannt den Arbeitsbereich des Georadarmesskopfs 40 nach Hindernissen ab. Sobald ein Hindernis erkannt wird, wird ein Signal an die zentrale Steuerung 46 gesendet, woraufhin diese das Aufnahmeelement 38 so verschwenkt, dass es zu keiner Kollision des Georadarmesskopfs 40 mit dem erkannten Hindernis kommt. Alternativ wird die Schwenkbewegung durch die zentrale Steuerung 46 gestoppt.

[0063] Figur 4 zeigt eine alternative Ausführungsform der Anbringung des Georadarmesskopfs 40. An einem

Ausleger 50 ist über zwei Lager 52 eine Gewindestange 54 durch einen Motor 56 antreibbar gelagert. Die Gewindestange 54 durchsetzt eine Mutter 58, an welcher der Georadarmesskopf 40 befestigt ist. Durch Drehen der Gewindestange 54 im bzw. gegen den Uhrzeigersinn wird der Georadarmesskopf 40 nach links bzw. nach rechts bewegt.

[0064] Die vom Georadarmesskopf aufgenommenen Georadarmessdaten werden über das Kabel 44 an die zentrale Steuerung 46 weitergeleitet, die diese Daten wiederum in den Speicher 48 schreibt. Die zentrale Steuerung 46 steuert den Motor 56 so an, dass der Georadarmesskopf 40 sich entlang der Gewindestange 54 hin und her bewegt.

[0065] Der Ausleger 50 wird durch einen Motor 60 angetrieben. Um den Abstand zum nächst folgenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine konstant zu halten ist ein Seil 62 vorgesehen, das zwischen dem Ausleger 50 und dem nächst folgenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine verläuft und beide miteinander verbindet. Das Seil 62 wird dabei durch den Motor 60 des Auslegers 50 straff gespannt.

[0066] In der zentralen Steuerung 46 werden die aufgenommenen Georadar- und Positionsmessdaten zunächst so verarbeitet, dass ein dreidimensionaler Graph erhalten wird, der das Tiefenprofil des Untergrunds angibt. Dieser Graph wird kontinuierlich auf einem hier nicht eingezeichneten Bildschirm ausgegeben. Zusätzlich wird aus den Messdaten der Verschmutzungshorizont berechnet. Hierzu wird ein Mustererkennungsprogramm verwendet, das auf der zentralen Steuerung 46 läuft. Das Mustererkennungsprogramm beruht auf einer Schmielenwertanalyse, wie sie oben beschrieben ist. Alternativ wird ein auf einem neuronalen Netz beruhendes Mustererkennungsprogramm eingesetzt.

[0067] Unterschreitet der Verschmutzungshorizont ein voreingestellte Niveau, so wird über einen Lautsprecher 64 ein Tonsignal ausgegeben. Nach einer voreingestellten Karenzzeit wird über eine nicht eingezeichnete Funkverbindung an die Geotextilabgabevorrichtung 28 eine Meldung abgegeben, so dass diese die Geotextilbahn 30 in den Oberbau einbaut. Sobald der Verschmutzungshorizont das voreingestellte Niveau wieder unterschreitet, wird wiederum nach einer voreingestellten Karenzzeit der Einbau des Geotextils eingestellt. Die Karenzzeiten werden dabei geringer gewählt, als die Zeit beträgt, die zwischen dem Vermessen eines Gleisabschnitts und dem Zeitpunkt vergeht, zu dem dieser Gleisabschnitt die Geotextilabgabevorrichtung 28 passiert.

[0068] Figur 5 zeigt einen Pfad 64, den der Georadarmesskopf 40 relativ zum Erdboden zurücklegt und auf dem er Messpunkte 66 aufnimmt. Es muss sich dabei nicht notwendigerweise um einen sinusförmigen Verlauf handeln. Die Schwenk- bzw. Hin- und Herbewegung des Georadarmesskopfs 40 wird dabei so gesteuert und die Zahl der Messpunkte 66 so hoch gewählt, dass eine Ortsauflösung Y in Richtung entlang der Schienen von ca. 20 cm und eine Ortsauflösung X in Richtung quer zu den

Schienen von ca. 5 cm erhalten wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Oberbausanierung von Schienenwegen (23) unter Einsatz einer Planumsverbesserungsmaschine (10) **gekennzeichnet durch** den Schritt:

- Vermessen des Gleisbetts (20; 24) mittels eines an der Planumsverbesserungsmaschine (10) angeordneten Georadarmesskopfs (40) während der Phase der Ausführung der Sanierungsarbeiten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** den zusätzlichen Schritt:

- Ermitteln eines Verschmutzungshorizonts der Schotterschicht des Gleisbetts (20; 24) aus den **durch** Vermessen des Gleisbetts (20; 24) erhaltenen Daten **durch** Mustererkennung.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** den zusätzlichen Schritt:

- Ausgeben einer Meldung, wenn der ermittelte Verschmutzungshorizont von einem vorbestimmten Niveau abweicht.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** den zusätzlichen Schritt / die Schritte:

- ggf. Entfernen einer vorhandenen Planumsschutzschicht (24),
- Einbringen einer neuen Planumsschutzschicht (24).

5. Verfahren nach Anspruch 4, **gekennzeichnet durch** den zusätzlichen Schritt:

- Einbringen eines Geotextils (30) zwischen Planumsschutzschicht (24) und anstehendem Erdkörper (26), insbesondere an den Stellen, an denen der ermittelte Verschmutzungshorizont der Schotterschicht (20) von dem voreingestellten Niveau abweicht, und in deren Umgebungen.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Georadarmesskopf (40) beim Vermessen des Gleisbetts (20; 24) mit einer Bewegungskomponente senkrecht zum Schienenverlauf bewegt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Georadar-

messkopf (40) beim Vermessen des Gleisbetts (20; 24) so bewegt wird, dass die Lage der Polarisations-ebene des elektrischen Felds der Georadarwellen relativ zur Schiene (11) und/oder relativ zum Horizont konstant bleibt.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Vermessen des Gleisbetts (20; 24) die Messrate und die Geschwindigkeit der Bewegung des Georadarmesskopfs (40) in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit so gewählt werden, dass die erhaltenen Georadarmessdaten eine Ortsauflösung von unter 100 cm, insbesondere unter 50 cm, insbesondere unter 30 cm aufweisen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Vermessen des Gleisbetts (20; 24) die Messrate in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit so gewählt wird, dass die erhaltenen Georadarmessdaten eine konstante Ortsauflösung aufweisen.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vermessen des Gleisbetts (20; 24) ein Bewegen, insbesondere Schwenken, eines Georadarmesskopfs (40) mit einer Bewegungskomponente senkrecht zum Schienenweg (23) umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 10 zusätzlich mit den Schritten:

- Aufnehmen von Positionsdaten des Georadarmesskopfs (40) und
- Speichern der Georadarmessdaten zusammen mit den Positionsdaten.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den durch Vermessen des Gleisbetts (20; 24) erhaltenen Georadarmessdaten ein Gleisquerschnitt errechnet wird und aus diesem Gleisquerschnitt durch Integration das Volumen von Schotterschicht (20) und/oder Planumsschutzschicht (24) berechnet wird.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vermessen des Gleisbetts mittels des Georadarmesskopfs die folgenden Schritte umfasst:

- Senden von aufeinander folgenden Georadarwellenimpulsen
- Empfangen von reflektierten Georadarwellenimpulsen und
- Messen der Feldstärke der reflektierten Georadarwellenirripulsen zu unterschiedlichen, vorzugsweise zeitlich äquidistant zueinander lie-

genden, Zeitpunkten nach Senden des jeweiligen Georadarwellenimpulses

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Georadarwellenimpulse eine Pulsdauer von unter 20 ns, insbesondere unter 3 ns haben.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Georadarmesskopf (40) mit einer Impulsfolgefrequenz von 50 kHz bis 700 kHz gepulst betrieben wird.

16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Georadarmesskopf (40) auf die Position relativ zur Schiene (11) getriggert betrieben wird.

17. Planumsverbesserungsmaschine zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Oberbausanierung von Schienenwegen (23), **gekennzeichnet durch** mindestens einen an der Planumsverbesserungsmaschine (10) angeordneten Georadarmesskopf (40).

18. Planumsverbesserungsmaschine nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Georadarmesskopf (40) an einer Stirnseite (36) der Planumsverbesserungsmaschine (10) angeordnet ist.

19. Planumsverbesserungsmaschine nach einem der Ansprüche 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Georadarmesskopf (40) bzw. die Georadarmessköpfe (40) senkrecht zur Arbeitsrichtung beweglich antreibbar angeordnet ist bzw. sind.

20. Planumsverbesserungsmaschine (10) nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **gekennzeichnet durch** Mittel zum Ermitteln der Position des Georadarmesskopfs (40).

21. Planumsverbesserungsmaschine nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **gekennzeichnet durch**

- mindestens ein Aufnahmeelement (38) für die Georadarmessköpfe (40) bzw. den Georadarmesskopf (40),
- mindestens einem Sensor (49) zum Erkennen von Körpern in der Umgebung des Aufnahmeelements (38) und
- Mitteln zum Nachführen des mindestens einen Aufnahmeelements (38) so, dass weder Aufnahmeelement (38) noch Georadarmessköpfe (40) das Lichttraumprofil der Planumsverbesserungsmaschine (10) verlassen.

22. Planumsverbesserungsmaschine nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen zugeordneten, gleisgebundenen Ausleger (50) umfasst, der den in Arbeitsrichtung vorderen Teil der Planumsverbesserungsmaschine (10) bildet, sich in einstellbarem Abstand vor dem in Arbeitsrichtung nächst folgenden Teil der Planumsverbesserungsmaschine bewegt und auf dem der Georadarmesskopf (40) angeordnet ist.
23. Planumsverbesserungsmaschine nach einem der Ansprüche 17 bis 22 mit Mitteln zum Ausführen des Schritts bzw. der Schritte gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

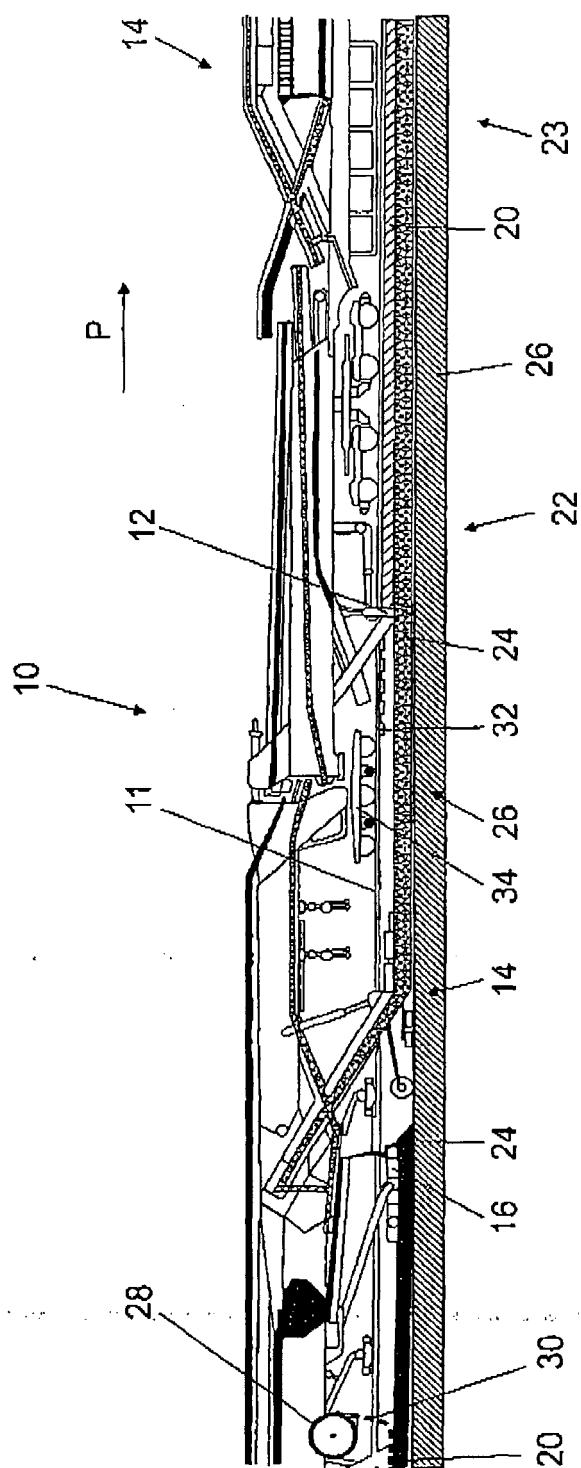


Fig.1

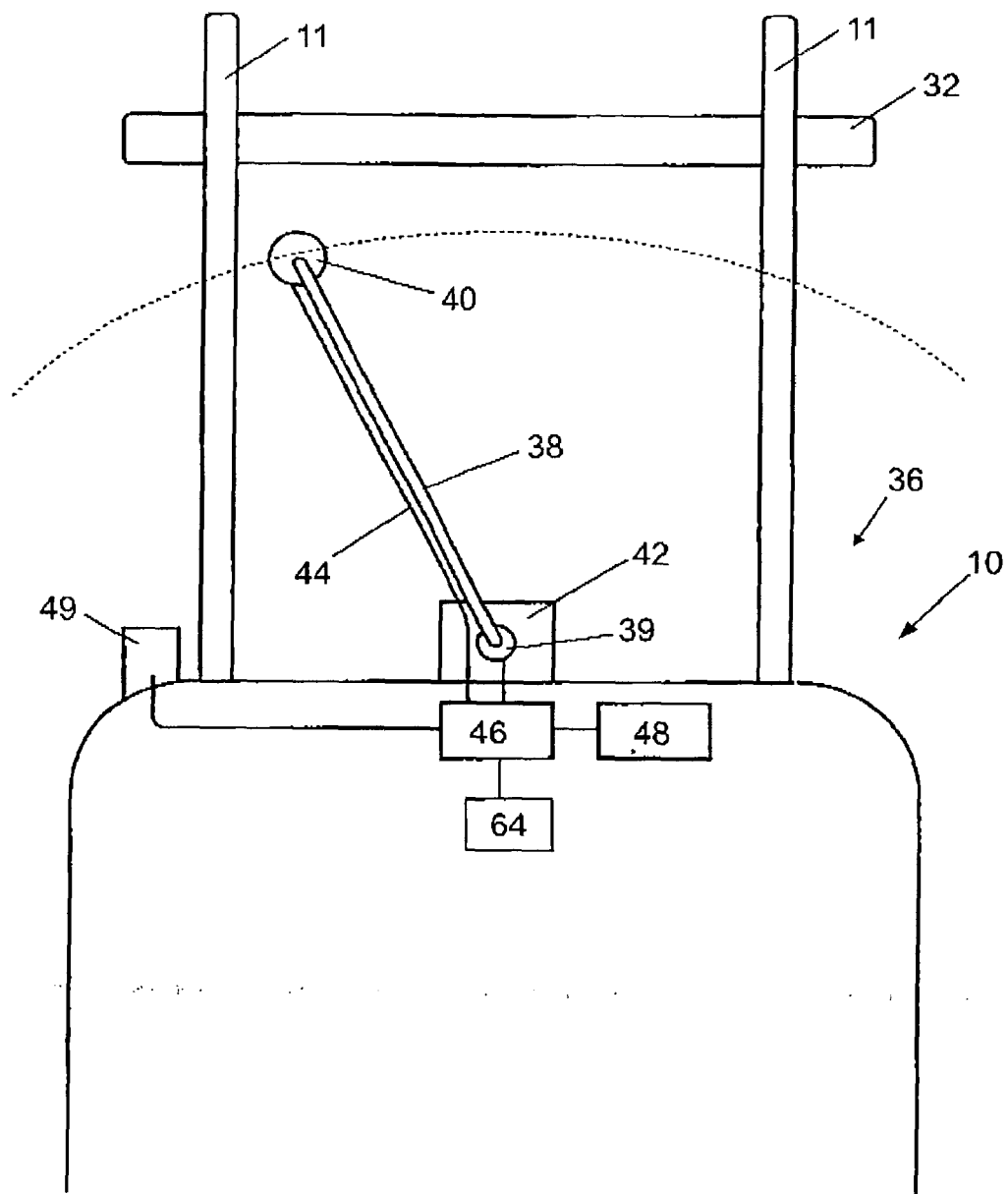


Fig. 2

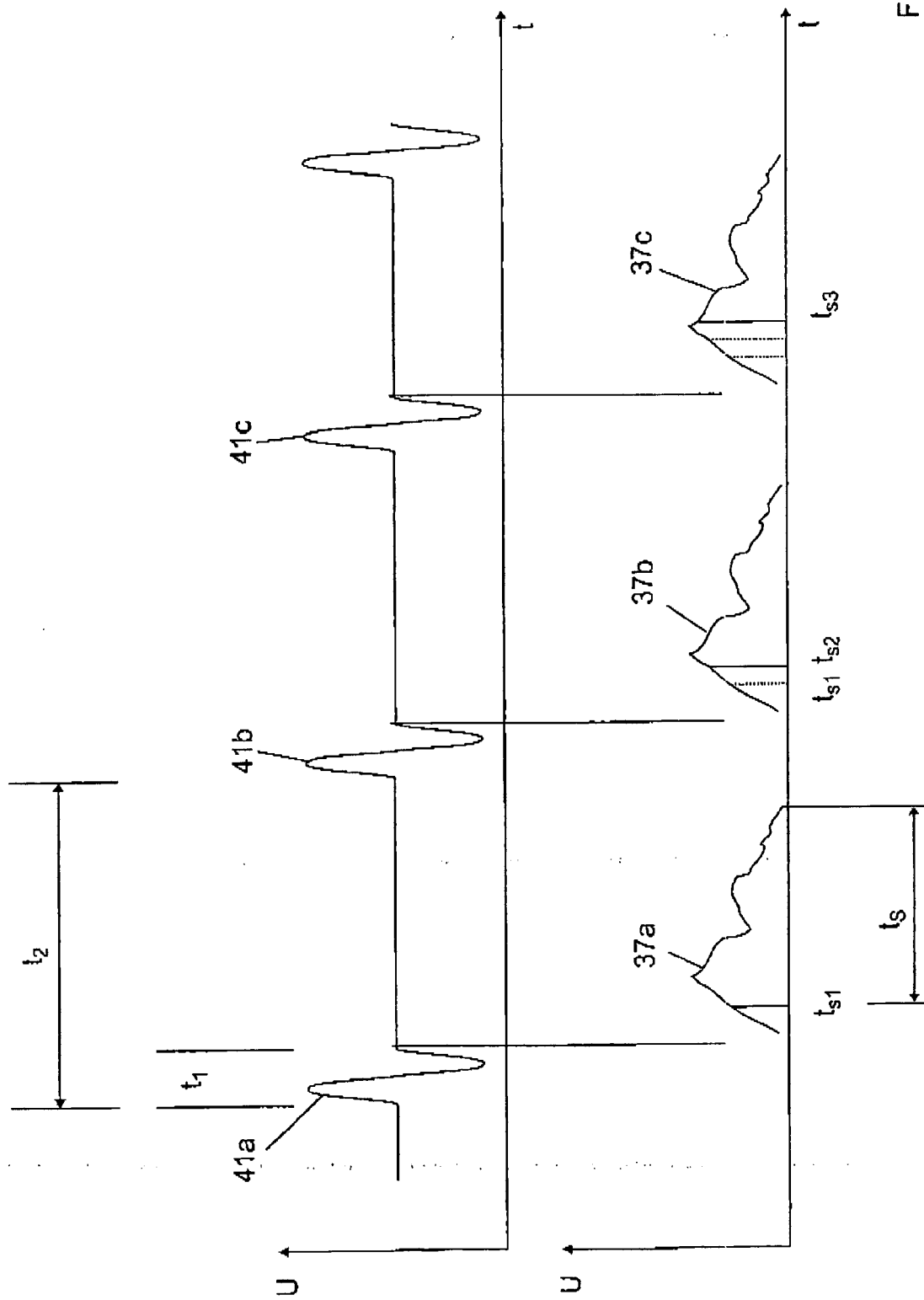


Fig. 3

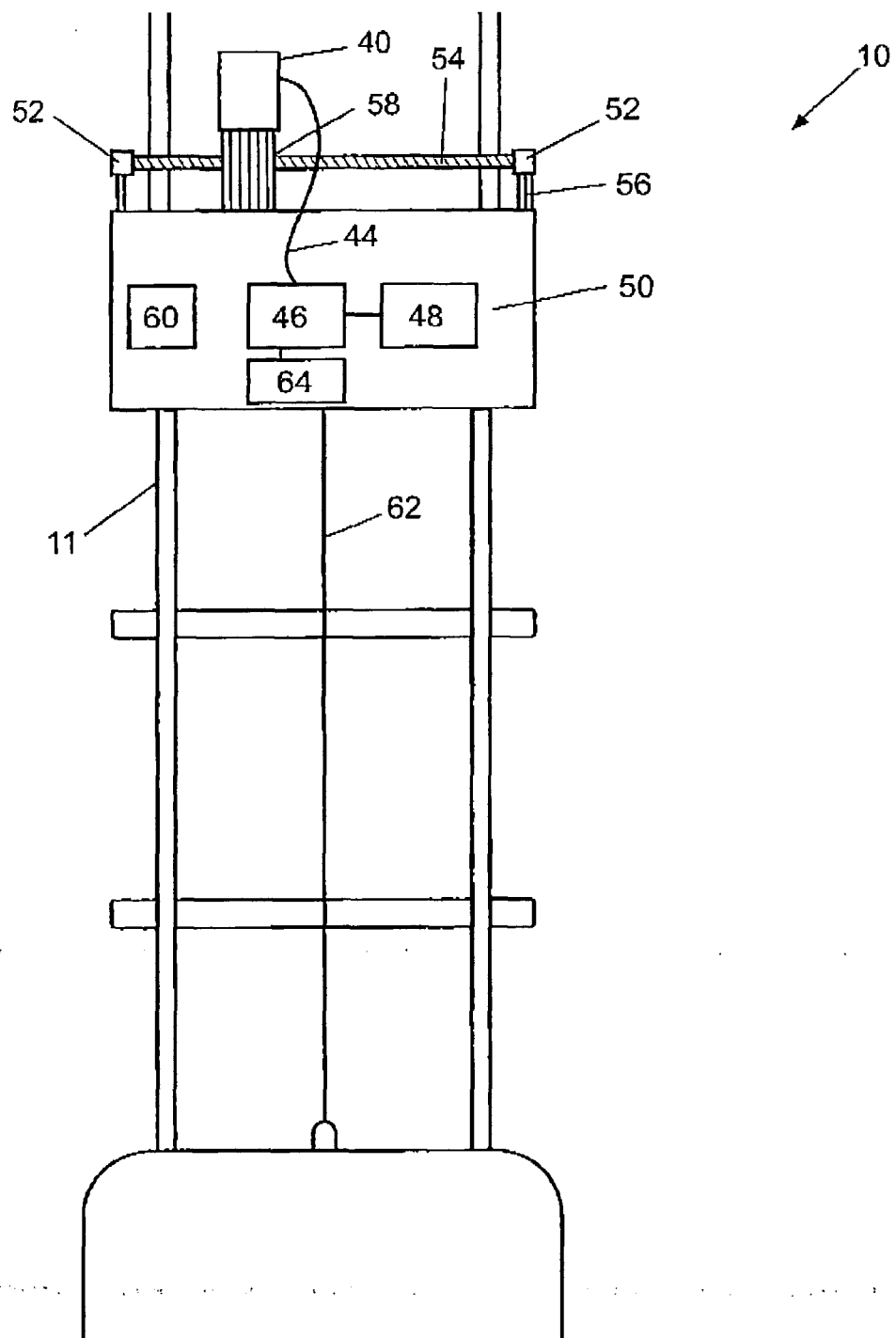


Fig. 4

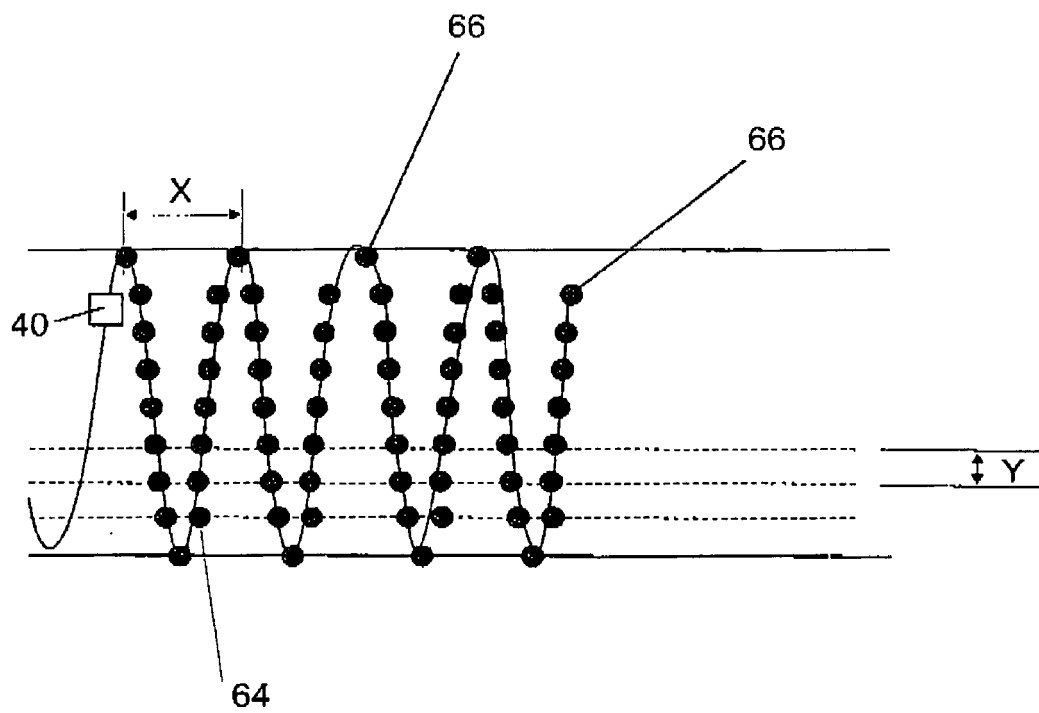


Fig. 5