
5 Verfahren und mobile Erfassungsvorrichtung zur Erfassung
 von Infrastrukturelementen eines unterirdischen Leitungsnetzwerks

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur lagerichtigen Erfassung von im Untergrund angeordneten, freiliegenden Infrastrukturelementen, insbesondere in einer geöffneten Baugrube, mit einer mobilen Erfassungsvorrichtung. Ferner betrifft die Erfindung eine mobile Erfassungsvorrichtung zur lagerichtigen Erfassung von im Untergrund angeordneten, freiliegenden Infrastrukturelementen, insbesondere in einer geöffneten Baugrube. Bei den freiliegenden Infrastrukturelementen handelt es sich insbesondere um Infrastrukturelemente von Verteilnetzen.

15 Unterirdische Infrastrukturelemente befinden sich zumeist in großer Zahl in sogenannten Leitungsnetzwerken. Diese Leitungsnetzwerke unterscheiden sich sowohl von ihrer Netzstruktur als auch von ihrer Verlegeweise sowie von ihren regulatorischen Rahmenbedingungen in sogenannte Übertragungs- und Verteilnetze. Während Übertragungsnetze aus übergeordneten, großen, einzelnen Fernleitungen mit geradlinigen Verläufen zum nationalen und internationalen Transport bestehen, übernehmen die Verteilnetze mit ihrem hohen Grad an Vermaschung von mehreren Infrastrukturelementen und kleinteiligen bzw. stark verästelten Struktur die regionale Umverteilung zu den Endverbrauchern. Die Verlegung von Infrastrukturelementen der Übertragungsnetze erfolgt
25 sogar deutlich tiefer als die von Verteilnetzen.

Nach den Vorschriften und Regelwerken der Eigentümer und Betreiber öffentlicher Verteilnetze werden zur Dokumentation von erdverlegten Leitungsnetzwerke heutzutage spartenübergreifend grundsätzlich zwei Messvarianten unterschieden: Entweder erfolgt die
30 Einmessung der Leitungen und Verbindungselemente über elektronische Tachymeter-einrichtungen, GNSS Systeme (engl. Global Navigation Satellite System) oder sogar händisch über das klassische Bandmaß. Bei der Verlegung von Glasfaserleitungen werden zur späteren Ortung neuerdings auch sogenannte Kugelmärker mit einem RFID-Chip (engl. radio-frequency identification) eingesetzt, da die Einmessung mit den aktuellen, herkömmlichen Verfahren
35 hinsichtlich der Genauigkeit unzureichend ist. Für die Einmessung von unterirdischen Leitungsnetzwerken werden bei Bauvorhaben in der Regel externe Ingenieurbüros für

Vermessungswesen beauftragt. Hierbei besteht ein hoher zeitlicher Koordinationsaufwand zwischen dem Auftraggeber (Netzbetreiber), dem Auftragnehmer (Bauausführende Firma) und dem Subdienstleister (Vermessungsingenieur). Gleichzeitig erhält der Auftraggeber aktuell noch kein georeferenziertes, dreidimensionales Modell der verbauten

5 Infrastrukturelemente, die er z. B. für Qualitätsuntersuchungen auf Richtlinienkonformität oder bei späteren Leitungsauskünften nutzen könnte. Bei kleinen Bauvorhaben wie z. B. dem Anschluss eines einzelnen Verbrauchers an das Verteilnetz werden von den bauausführenden Firmen vor Ort aus Kosten- und Zeitgründen häufig nur Handskizzen mittels Bandmaß angefertigt. Diese sind zum Teil sehr fehleranfällig und auch ungenau. Bei beiden

10 Messvarianten wird die Leitung als Infrastrukturelement in den Dokumentationszeichnungen in der Regel nur mit einer Abfolge von Polygonzügen abgebildet. Der tatsächliche, geometrische Verlauf einer Leitung wird folglich hierbei außer Acht gelassen.

Sowohl für die Instandhaltung dieser Leitungsnetzwerke als auch für die Planung von neuen

15 Tiefbauvorhaben in der Nähe solcher Leitungsnetzwerke im Verteilnetz ist es demnach zwingend erforderlich, eine möglichst präzise Dokumentation mit genauen Positionsangaben dieser unterirdischen Infrastrukturelemente mit absoluter Genauigkeit weniger Zentimeter zur Verfügung zu haben. Unzureichende Lage- und Tiefekenntnisse über diese Infrastrukturelemente kann zu Schäden an diesen Infrastrukturelementen, zu

20 Versorgungsunterbrechungen und im schlimmsten Fall auch zu fatalen Personenschäden führen.

In der US 2014 210 856 A1 wird ein Verfahren zur Erfassung und Visualisierung von

25 Infrastrukturelementen eines Leitungsnetzwerks beschrieben, die verdeckt in einem Wand- oder Bodenelement eines Gebäudes angeordnet sind. In einem Zustand, in welchem die Infrastrukturelemente freiliegend angeordnet sind, werden diese mittels eines Laserscanners erfasst. Zudem wird ein Kontrollpunkt erfasst, dessen Koordinaten bekannt sind. Anhand der durch den Laserscanner erfassten Daten wird ein 3D-Modell der Infrastrukturelemente erstellt, dessen Koordinaten in Bezug auf den Kontrollpunkt definiert sind. Nach dem Verdecken der

30 Infrastrukturelemente, wird ein Marker an einer sichtbaren Stelle angeordnet. Zur Visualisierung der nunmehr verdeckten Infrastrukturelemente wird dieser Marker von einer Kamera einer mobilen Anzeigeeinheit erfasst und in der Anzeigeeinheit wird das 3D-Modell der Infrastrukturelemente dem Kamerabild überlagert dargestellt. Als nachteilig hat sich bei dem bekannten Verfahren allerdings herausgestellt, dass sowohl bei dem Erfassen der

35 Infrastrukturelemente zum Erzeugen des 3D-Modells als auch bei der dem Kamerabild überlagerten Visualisierung des 3D-Modells in der von der erfassten Szene jeweils ein Kontrollpunkt bzw. Marker angeordnet sein muss. Hierdurch ergeben sich relativ viele

Arbeitsschritte sowie eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Vandalismus, beispielsweise dem unerwünschten Entfernen bzw. Versetzen der Marker.

Die WO 2018/213 927 A1 beschreibt ein Verfahren zur Erfassung von freiliegenden
5 Infrastrukturelementen einer großen überregionalen Fernleitung („Pipeline“) in einem Übertragungsnetz, welches das Ziel verfolgt, die regulatorisch vorgeschriebene Mindestdeckung zu überprüfen. Hierzu wird eine an einem Fahrzeug montierte Plattform außerhalb der Baugrube in Vorwärtsrichtung entlang der freiliegenden Pipeline mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Über eine herkömmliche LIDAR-Messvorrichtung, die über eine
10 mechanische Vorrichtung mit der mobilen Plattform verbunden ist, wird eine lokale Punktwolke erzeugt. In der lokalen Punktwolke wird mit Hilfe eines Kantenerkennungs-Algorithmus ein geometrisches Merkmal, beispielsweise eine Längsachse einer Pipeline, identifiziert. In einem weiteren Schritt kann das geometrische Merkmal mit absoluten Positionsdaten, die über ein globales Navigationssatellitensystem erhalten werden, verknüpft werden. Dieses System ist
15 zur Prüfung der regulatorisch vorgeschriebenen Verlegetiefen von Pipelines, die über einen längeren Zeitraum im ländlichen Raum freiliegen, mit vergleichsweise großen Durchmessern von ca. 1 m und geradlinigen, vorhersehbaren Verläufen ausgelegt. Zur lagerichtigen Erfassung von Infrastrukturelementen unterirdischer Verteilnetze, wie beispielsweise Glasfaserleitungen mit geringem Querschnitt und verzweigtem Verlauf, insbesondere im
20 städtischen Umfeld ist dieses Verfahren jedoch nicht geeignet. Denn die Abläufe von Tiefbauvorhaben in städtischen und vorstädtischen Verteilnetzen verlaufen angesichts verkehrsrechtlicher Anordnungen im Straßenraum und der oftmals begrenzt verfügbare Trassenfläche unter der Erde kleinteiliger als im Pipelinebau und die Baugruben sind typischerweise zwischen 0,3 und 2 m tief. Bei solchen Tiefbauvorhaben ist eine Erfassung der
25 Infrastrukturelemente mit einer absoluten Genauigkeit im Bereich weniger Zentimeter erforderlich. Aufgrund des enormen Termindrucks zur fristgerechten Fertigstellung der Baumaßnahme finden während der Einmessung typischerweise weitere Arbeiten sowohl außerhalb als auch in der Baugrube durch die Baustellenmitarbeiter statt. Ferner ist eine Zugänglichkeit neben und oberhalb der Baugrube wie zum Beispiel durch Bäume, parkende
30 Autos oder Baustellenmaterialien häufig nicht gegeben, wodurch die Baugrube zwischenzeitlich bei der Einmessung überquert werden muss. Die ständig veränderlichen Umgebungsbedingungen gestalten die Erfassung der Infrastrukturelemente somit deutlich unvorhersehbarer. Hinzu kommen sensortypische und äußere Störeinflüsse, die die relative Genauigkeit einer inertialen Messeinheit (engl. Inertial Measurement Unit, (IMU)) sowie die
35 absolute Genauigkeit der Messungen des globalen Navigationssatellitensystems aufgrund begrenzter Satellitensichtbarkeit und schlechter Mobilfunkabdeckung sehr negativ beeinflussen. Eine inertielle Messeinheit ist weiterhin nicht dafür ausgelegt, Ausfälle des

- Empfängers für das globale Navigationssatellitensystem hinreichend genau zu kompensieren. Dies bedeutet, dass in manchen Regionen und Bereichen entweder keine oder nur punktuell, hochgenaue satellitengestützte Positionsbestimmung möglich ist. Deshalb ist die aus der WO 2018/213 927 A1 bekannte mobile Plattform, welche auf einem Fahrzeug, einem Roboter oder einem unbenannten Flugsystem montiert ist, zur Erfassung von Infrastrukturelementen unterirdischer Leitungsnetzwerke im Verteilnetz nicht geeignet, bzw. kann eine zusätzliche Gefahr für die Baustellenmitarbeiter und/oder umliegende Passanten darstellen. Aus technischer Sicht ist dieses Verfahren zudem insbesondere im städtischen Raum, unzureichend, da bei der Erzeugung von lokalen Punktwolken allein mit LIDAR sensortypische und unerwünschte Drifteffekte sowie daraus resultierende Ungenauigkeiten auftreten. Diese machen eine Erfassung mit einer absoluten Genauigkeit im einstelligen Zentimeterbereich – wie sie bei der Kartierung von freiliegenden Infrastrukturelementen unterirdischer Leitungsnetzwerke im Verteilnetz erforderlich sind, unmöglich.
- Die US 9 230 453 B2 beschreibt ein Verfahren zur Erfassung eines freiliegenden Infrastrukturelements, bei welchem ein auf den Infrastrukturelement händisch angebrachter QR-Code mittels eines LIDAR-Scanners oder einer oder mehrerer Kameras ausgelesen werden, um deren Attribute zu ermitteln. Ein Verfahren zur Erfassung von freiliegenden Infrastrukturelementen mit absoluter Georeferenzierung wird nicht beschrieben. Um die Infrastrukturelemente mit einer absoluten Position zu verknüpfen, müssen umgebungsrelevante Objekte, deren Koordinaten im jeweils amtlichen Koordinatensystem im Vorfeld bereits bekannt sind, mit Zielmarkern versehen und mit einer oder mehreren Kameras oder LIDAR erfasst werden. Diese umgebungsrelevanten Objekte sind somit wiederum in einem weiteren vorherigen Schritt von Experten mit zusätzlichen, herkömmlichen und teuren GNSS-Vermessungsgeräten oder Tachymetereinrichtungen einzumessen. Hieraus ergeben sich insgesamt nicht nur viele fehleranfällige Arbeitsschritte, sondern es werden auch Expertenwissen im Georeferenzierungsbereich vorausgesetzt sowie zahlreiche sensorspezifische Drifteffekte und daraus resultierende Ungenauigkeiten in Kauf genommen, die eine Erfassung mit einer absoluten Genauigkeit im einstelligen Zentimeterbereich – wie sie bei der Kartierung von freiliegenden Infrastrukturelementen unterirdischer Leitungsnetzwerke im Verteilnetz erforderlich sind, unmöglich machen. Darüber hinaus hat das Verfahren durch die Abhängigkeit der Erkennung der QR-Codes einen gravierenden Nachteil. Falls eine Erkennung der QR-Codes aufgrund baustellenüblicher Verschmutzung etwa durch Staub, Dreck oder Niederschlagsablagerung nicht möglich ist, kann das Verfahren nicht eingesetzt werden. Die in US 9 230 453 B2 beschriebene Vorrichtung besteht aus mehreren separaten Komponenten: Hierbei werden die Daten zunächst von einer Vorrichtung wie zum Beispiel einem LIDAR-System oder einem Kamera-System mit mehreren Kameras erfasst und

anschließend über ein Kommunikationsnetzwerk an ein Datenverarbeitungssystem verschickt. Die separate Datenverarbeitungseinrichtung überführt die Daten mittels der Software „AutoCAD“ in eine 3D-Punktwolke, anschließend wird die Software „Photo Soft“ und noch eine zusätzliche Software zur Erkennung von QR-Codes und Zielmarkern verwendet. Dabei
5 müssen diese Daten manuell zwischen den Programmen importiert/exportiert werden. Sofern eine absolute Georeferenzierung erforderlich ist, muss zusätzlich ein Vermessungssystem und ein Zielmarker eingesetzt werden.

10 Vor diesem Hintergrund stellt sich die Aufgabe, eine lagerichtige Erfassung von Infrastrukturelementen eines unterirdischen Leitungsnetzwerks, insbesondere in einem Verteilnetz, mit einer absoluten Genauigkeit weniger Zentimeter, mit reduzierter Anzahl an Arbeitsschritten, ohne Expertenwissen und unter Kompensation nahezu aller Störeinflüsse und sensortypischen Messunsicherheiten zu ermöglichen.

15 Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zur Erfassung von freiliegenden Infrastrukturelementen eines unterirdischen Leitungsnetzwerks, insbesondere in einer geöffneten Baugrube, mit einer mobilen Erfassungsvorrichtung vorgeschlagen, wobei:

- 20 – mittels einer 3D-Rekonstruktionseinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung Bilddaten und/oder Tiefendaten einer Szene erfasst werden, die mindestens ein im Untergrund angeordnetes, freiliegendes Infrastrukturelement enthält und anhand dieser Bilddaten und/oder Tiefendaten eine 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten erzeugt wird;
- 25 – mittels einem oder mehreren Empfängern der mobilen Erfassungsvorrichtung Signale eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme empfangen werden und eine erste Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in einem globalen Bezugssystem ermittelt wird; und
- 30 – mehrere zweite Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung in einem lokalen Bezugssystem und mehrere Orientierungsangaben der Orientierung der Erfassungsvorrichtung in dem jeweiligen lokalen Bezugssystem ermittelt werden,
 - 35 a. wobei die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels einer inertialen Messeinheit der mobilen Erfassungsvorrichtung erfolgt, welche lineare Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und

- Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung um diese Hauptachsen erfasst, und
- 5 b. wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung eine oder mehrere 2D-Kameras aufweist, mittels derer die Bilddaten und/oder die Tiefendaten der Szene erfasst werden und die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Bilddaten und/oder der Tiefendaten erfolgt; und
- 10 c. wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung eine LIDAR-Messeinrichtung aufweist, mittels derer die Tiefendaten der Szene erfasst werden und die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Tiefendaten erfolgt;
- 15 – den Punkten der 3D-Punktwolke, anhand der ersten Positionsangabe und mehrerer der zweiten Positionsangaben sowie mehrerer der Orientierungsangaben jeweils eine Georeferenz zugewiesen wird,
- 20 – wobei die mobile Erfassungsvorrichtung von einer Person tragbar ist, wobei die mobile Erfassungsvorrichtung mit beiden Händen einer Person, bevorzugt mit einer Hand einer Person, haltbar ist und ein Gehäuse aufweist, dessen größte Kantenlänge kleiner ist als 50 cm, wobei der oder die Empfänger, die inertielle Messeinheit und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung in dem Gehäuse angeordnet sind.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine mobile Erfassungsvorrichtung zur lagerichtigen Erfassung von im Untergrund angeordneten, freiliegenden Infrastrukturelementen, insbesondere in einer geöffneten Baugrube, umfassend:

25

- 30 – eine 3D-Rekonstruktionseinrichtung zur Erfassung von Bilddaten und/oder Tiefendaten einer Szene, die mindestens ein im Untergrund angeordnetes, freiliegendes Infrastrukturelement enthält, und zum Erzeugen einer 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten anhand dieser Bilddaten und/oder Tiefendaten;
- 35 – einen oder mehrere Empfänger zum Empfangen von Signalen eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme und zur Ermittlung einer ersten Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in einem globalen Bezugssystem;
- eine inertielle Messeinheit zur Ermittlung einer zweiten Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in einem lokalen Bezugssystem und einer

- 5 Orientierungsangabe der Orientierung der Erfassungsvorrichtung in dem lokalen Bezugssystem, wobei die inertielle Messeinheit eingerichtet ist, lineare Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung um diese Hauptachsen zu erfassen;
- und
- 10 wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung eine oder mehrere 2D-Kameras aufweist, mittels derer Bilddaten der Szene erfassbar sind, wobei eine zweite Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in dem lokalen Bezugssystem und die Orientierungsangabe mittels visueller Odometrie anhand der Bilddaten ermittelbar ist;
- und
- 15 wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung eine LIDAR-Messeinheit aufweist, mittels derer Tiefendaten der Szene erfassbar sind, wobei eine zweite Positionsangabe der Position der Erfassungsvorrichtung in dem lokalen Bezugssystem und die Orientierungsangabe mittels visueller Odometrie anhand der Tiefendaten erfolgt;
- wobei die Erfassungsvorrichtung eingerichtet ist, den Punkten der 3D-Punktwolke, anhand der ersten Positionsangabe und mehrerer der zweiten Positionsangaben sowie mehrerer der Orientierungsangaben jeweils eine Georeferenz zuzuweisen;
 - wobei die mobile Erfassungsvorrichtung von einer Person tragbar ist, wobei die mobile Erfassungsvorrichtung mit beiden Händen einer Person, bevorzugt mit einer Hand einer Person, haltbar ist und ein Gehäuse aufweist, dessen größte Kantenlänge kleiner ist als 50 cm, wobei der oder die Empfänger, die inertielle Messeinheit und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung in dem Gehäuse angeordnet sind.
- 20
- 25
- 30 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die freiliegenden Infrastrukturelemente mittels der mobilen Erfassungsvorrichtung erfasst, wobei diese einen oder mehrere Empfänger zum Empfang von Signalen eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme sowie die 3D-Rekonstruktionseinrichtung und die inertielle Messeinheit umfasst. Diese Kombination aus dem oder den Empfängern für die Signale eines oder mehrerer globaler
- 35 Navigationssatellitensysteme und der 3D-Rekonstruktionseinrichtung und der inertialen Messeinheit ermöglicht eine einfache Erfassung der Position und Orientierung der Infrastrukturelemente in einem geodätischen Referenzsystem mit hoher Genauigkeit. Erzeugt

wird hierbei eine 3D-Punktwolke der aufgenommenen Szene, welche das gegebene Infrastrukturelement oder die gegebenen Infrastrukturelemente beinhaltet. Deren Punkten wird jeweils eine Georeferenz zugewiesen. Als Georeferenz wird in diesem Zusammenhang eine Positionsangabe eines Punkts der 3D-Punktwolke in einem geodätischen Referenzsystem, bevorzugt in einem amtlichen Lagebezugssystem, beispielsweise ETRS89/UTM, insbesondere zzgl. geometrischem und/oder physikalischem Höhenbezug, verstanden.

Den Punkten der 3D-Punktwolke wird die Georeferenz anhand der ersten Positionsangabe – also der ermittelten Position der mobilen Erfassungsvorrichtung in dem globalen Bezugssystem – und anhand der mehreren zweiten Positionsangaben – also der geschätzten Positionen der Erfassungsvorrichtung im lokalen Bezugssystem – und anhand der Orientierungsangaben – also Angaben der geschätzten Orientierung der Erfassungsvorrichtung im lokalen Bezugssystem – zugewiesen. Somit können die Bilddaten eine Positionsangabe aufweisen, die unabhängig von Referenzpunkten im Bereich der jeweiligen Infrastrukturelemente bzw. Baugrube ist. Hierdurch kann die Ermittlung der Georeferenz mit erhöhter Genauigkeit und Zuverlässigkeit erfolgen. Gemäß der Erfindung ist das Anordnen und Erfassen eines Kontrollpunkts oder eines Markers – etwa gemäß US 2014 210 856 A1 – nicht erforderlich, so dass Arbeitsschritte beim Einmessen eingespart werden können. Folglich kann eine möglichst genaue und lagerichtige Erfassung der freiliegenden Infrastrukturelemente mit einer reduzierten Anzahl an Arbeitsschritten ermöglicht werden.

Durch das gemeinsame Gehäuse kann eine kompakte, robuste und baustellentaugliche mobile Erfassungsvorrichtung zur Erfassung der freiliegenden Infrastrukturelemente bereitgestellt werden, welche sowohl neben einer geöffneten Baugrube verwendet werden kann als auch eine Verwendung der mobilen Erfassungsvorrichtung ermöglicht, bei welcher eine sich in der geöffneten Baugrube befindende Person die mobile Erfassungsvorrichtung in einer oder zwei Händen haltend verwendet, um das freigelegte Infrastrukturelement oder die freiliegenden Infrastrukturelemente zu erfassen. Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße mobile Erfassungsvorrichtung können daher besonders vorteilhaft zur Erfassung von im Untergrund angeordneten, freiliegenden Infrastrukturelementen von Verteilnetzen insbesondere im städtischen Umfeld eingesetzt werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und betreffen gleichermaßen das Verfahren zur Erfassung von Infrastrukturelementen als auch die mobile Vorrichtung zur Erfassung von Infrastrukturelementen.

Unter unterirdischen Infrastrukturelementen werden im Sinne der Erfindung insbesondere Leitungs- bzw. Kabelelemente wie beispielsweise Glasfaser-, Gas-, Fernwärme-,

- Wasserleitungen, Strom- oder Telekommunikationskabel sowie dazugehörige Leerrohre, Kabelschächte und Verbindungselemente verstanden. Die Verbindungselemente können beispielsweise als Verbinder für genau zwei Leitungs- bzw. Kabelelemente, als Verteiler zum Verbinden von drei oder mehr Leitungs- bzw. Kabelelementen, oder als Verstärkerelemente ausgebildet sein. Bevorzugt handelt es sich bei den zu erfassenden, unterirdischen Infrastrukturelementen, um solche unterirdischen Infrastrukturelemente, die Teil eines Verteilnetzes sind, insbesondere Teil eines Glasfaser-, Strom- oder Telekommunikationskabel-Verteilnetzes.
- 10 Die unterirdischen Infrastrukturelemente weisen bevorzugt einen Durchmesser von kleiner als 30 cm, bevorzugt kleiner als 20 cm, besonders bevorzugt kleiner als 10 cm, beispielsweise kleiner als 5 cm, auf.
- 15 Bevorzugt werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Bilddaten und/oder Tiefendaten mehrerer Frames einer Szene erfasst, die mehrere im Untergrund angeordnete, freiliegende Infrastrukturelemente enthält und anhand dieser Bilddaten und/oder Tiefendaten eine 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten erzeugt.
- 20 Bevorzugt sind der oder die Empfänger dazu eingerichtet, Signale eines globalen Navigationssatellitensystems zu empfangen und zu verarbeiten. Besonders bevorzugt ist es, wenn der oder die Empfänger dazu eingerichtet sind, Signale mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme (GNSS), insbesondere Signale von Satelliten verschiedener globaler Navigationssatellitensysteme und mehrerer Frequenzbänder gleichzeitig zu erfassen und zu verarbeiten. Bei den globalen Navigationssatellitensystemen kann es sich
- 25 beispielsweise um GPS, GLONASS, Galileo oder Beidou handeln. Der oder die Empfänger können alternativ oder zusätzlich dazu eingerichtet sein, Signale, insbesondere Referenz- oder Korrektursignale, von landbasierten Referenzstationen zu empfangen. Beispielsweise können der oder die Empfänger dazu eingerichtet sein, die Signale der landbasierten Sendestation über ein Mobilfunknetz zu empfangen. Bei den Korrektursignalen kann es sich
- 30 beispielsweise um SAPOS-Korrektursignale (deutscher Satellitenpositionierungsdienst) oder um Signale des globalen HxGN SmartNet handeln. Bevorzugt wird zur Ermittlung der Position der Erfassungsvorrichtung eines oder mehrere der folgenden Verfahren eingesetzt: Echtzeitkinematik (engl. *real time kinematic* (RTK), *precise point positioning* (PPP), *post processed kinematic* (PPK)). Durch den Einsatz eines oder mehrerer dieser Verfahren kann
- 35 die Genauigkeit bei der Bestimmung der Position der Erfassungsvorrichtung auf einen Bereich von kleiner 10 cm, bevorzugt kleiner 5 cm, besonders bevorzugt kleiner 3 cm, beispielsweise kleiner 2 cm, reduziert werden. Zur Gewährleistung der Qualität der ermittelten ersten

Positionsangaben im globalen Bezugssystem kann, für den Benutzer nicht sichtbar, eine Qualitätsuntersuchung der Georeferenzierung durchgeführt werden. Hierzu werden vorzugsweise ein oder mehrere Qualitätsparameter der globalen Satellitennavigationssysteme, beispielsweise DOP (*Dilution of Precision*), überwacht.

5

Die inertielle Messeinheit (engl. *Inertial Measurement Unit*, (IMU)) ist bevorzugt dazu eingerichtet, jeweils eine translatorische Bewegung in drei zueinander orthogonalen Raumrichtungen – z. B. entlang einer x-Achse, einer y-Achse und einer z-Achse – und jeweils eine Drehbewegung um diese drei Raumrichtungen – z. B. um die x-Achse, die y-Achse und die z-Achse – zu erfassen, insbesondere diese Datenerfassungen mehrfach in zeitlichen Abständen zu wiederholen. Beispielsweise kann die inertielle Messeinheit als Beobachtungsgrößen drei lineare Beschleunigungswerte für die translatorische Bewegung und drei Winkelgeschwindigkeiten für die Drehraten der Drehbewegung erfassen. Anhand proportionaler Verhältnisse von gemessenen Spannungsunterschieden lassen sich diese Beobachtungsgrößen ableiten. Mit Hilfe weiterer Verfahren wie beispielsweise dem Strapdown-Algorithmus (SDA) kann durch die gemessene spezifische Kraft und der Drehraten auf Änderungen in der Position, in der Geschwindigkeit und in der Orientierung geschlossen werden.

20 Die 3D-Rekonstruktionseinrichtung kann eine Time-of-Flight-Kamera, eine Structured-Light-Kamera, eine Stereokamera, eine LIDAR-Messeinrichtung, eine RADAR-Messeinrichtung und/oder eine Kombination derer untereinander, insbesondere mit einer oder mehreren 2D-Kameras, aufweisen.

25 Die LIDAR-Messeinrichtung der 3D-Rekonstruktionseinrichtung ist bevorzugt als Festkörper-LIDAR-Messeinrichtung (engl. Solid-State-LIDAR oder Flash-LIDAR) ausgestaltet. Derartige Festkörper-LIDAR-Messeinrichtungen bieten den Vorteil, dass sie ohne mechanische Komponenten ausgestaltet werden können. Ein weiterer Vorteil der Festkörper-LIDAR-Messeinrichtung besteht darin, dass diese Bild- und/oder Tiefeninformationen mehrerer Punkte zu demselben Zeitpunkt erfassen kann, so dass bei der Festkörper-LIDAR-Messeinrichtung Verzerrungseffekte aufgrund sich bewogender Objekte im Blickfeld nicht auftreten können. Auf Maßnahmen zur Korrektur solcher bei scannenden LIDAR-Messeinrichtungen mit sich drehendem Blickfeld auftretenden Verzerrungen kann daher verzichtet werden.

35

Gemäß der Erfindung umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung ein Gehäuse, wobei der oder die Empfänger, die inertielle Messeinheit und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung in dem

Gehäuse angeordnet sind. Es ist vorteilhaft, wenn die mobile Erfassungsvorrichtung kein Gestell aufweist, auf dem der oder die Empfänger, die inertielle Messeinheit und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung freiliegend angeordnet sind. Durch das gemeinsame Gehäuse kann eine kompakte und robuste, mobile und baustellentaugliche Erfassungsvorrichtung zur Erfassung der freiliegenden Infrastrukturelemente bereitgestellt werden.

Die Erfindung sieht vor, dass die mobile Erfassungsvorrichtung von einer Person tragbar ist, wobei die Erfassungsvorrichtung mit beiden Händen einer Person, bevorzugt mit einer Hand einer Person, haltbar ist, so dass die mobile Erfassungsvorrichtung durch den Benutzer zu einer geöffneten Baugrube mitgeführt und dort verwendet werden kann, um freiliegende Infrastrukturelemente zu erfassen. Erfindungsgemäß weist die mobile Erfassungsvorrichtung ein Gehäuse auf, dessen größte Kantenlänge kleiner ist als 50 cm, bevorzugt kleiner ist als 40 cm, besonders bevorzugt kleiner ist als 30 cm, beispielsweise kleiner ist als 20 cm. Die Erfindung sieht insbesondere vor, dass die mobile Erfassungsvorrichtung nicht als unbemanntes Luftfahrzeug ausgebildet ist. Die Erfindung sieht insbesondere vor, dass die mobile Erfassungsvorrichtung nicht an einer Bodenmaschine oder einem Bodenfahrzeug befestigt werden kann, bevorzugt nicht befestigt ist.

Bevorzugt wird die Georeferenz ausschließlich mittels der mobilen Erfassungsvorrichtung ermittelt – beispielsweise mittels dem einen oder den mehreren Empfängern für Signale eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme, der inertialen Messeinheit und der 3D-Rekonstruktionseinrichtung. Bevorzugt umfassen mehrere, insbesondere alle Punkte der 3D-Punktwolke durch die Georeferenzierung eine Positionsangabe in einem geodätischen Referenzsystem. Das geodätischen Referenzsystem kann identisch mit dem globalen Bezugssystem sein.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass den Punkten der 3D-Punktwolke jeweils eine Farb- oder Grauwertinformationen zugeordnet ist, wobei die Farb- oder Grauwertinformation bevorzugt mittels der einen oder mehreren 2D-Kameras der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfasst wird. Die Farb- oder Grauwertinformation kann beispielsweise als RGB-Farbinformation im RGB-Farbraum oder HSV-Farbinformation im HSV-Farbraum vorliegen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird auf Grundlage der 3D-Punktwolke und der Bilddaten der einen oder mehreren 2D-Kameras ein texturiertes Gittermodell (engl. „mesh“) erzeugt. Durch die Verwendung eines texturierten Gittermodells kann die zu speichernde Datenmenge reduziert werden,

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass

- die erste Positionsangabe der Position in dem globalen Bezugssystem und/oder dieser Positionsangabe zugeordnete Rohdaten; und
- 5 – die einen oder mehreren zweiten Positionsangaben; und
- die einen oder mehreren zweiten Orientierungsangaben; und
- die erfassten Bilddaten und/oder die erfassten Tiefendaten und/oder die erfassten linearen Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems
- 10 sowie die Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung um diese Hauptachsen;

zeitlich synchronisiert abgespeichert werden, insbesondere in einer Speichereinheit der Erfassungsvorrichtung. Zur Synchronisation kann vorgesehen sein, dass hierbei ein gemeinsamer Zeitstempel und/oder eine gemeinsame Framebezeichnung abgespeichert wird.

- 15 Die mobile Erfassungsvorrichtung weist bevorzugt eine Speichereinheit auf, die dazu eingerichtet ist, die erste Positionsangabe der Position in dem globalen Bezugssystem und/oder dieser Positionsangabe zugeordnete Rohdaten; und die eine oder mehreren zweiten Positionsangaben; und die eine oder mehreren zweiten Orientierungsangaben; und die erfassten Bilddaten und/oder die erfassten Tiefendaten und/oder die erfassten linearen Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems sowie die Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung um diese Hauptachsen zeitlich synchronisiert abzuspeichern.

- 25 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass, insbesondere zur Ermittlung und/oder zum Zuweisen der Georeferenz, die eine oder mehreren zweiten Positionsangaben von dem jeweiligen lokalen Bezugssystem in das globale Bezugssystem transformiert werden, bevorzugt mittels einer Rigid Body Transformation oder Helmert-Transformation oder mittels einer Hauptachsentransformation. Optional können die erste Positionsangabe in dem globalen
- 30 Bezugssystem und die eine oder mehreren zweiten Positionsangaben in dem jeweiligen lokalen Bezugssystem in ein weiteres Bezugssystem transformiert werden.

- Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der
- 35 Bilddaten und/oder der Tiefendaten und/oder mittels inertialer Messeinheit durch simultane Positionsbestimmung und Kartenerstellung erfolgt. Die Ermittlung der einen oder mehreren

zweiten Positionsangaben und der Orientierungsangaben trägt zu einer verbesserten Georeferenzierung der Punkte der 3D-Punktwolke bei, indem eine genauere Bestimmung der Trajektorie der Erfassungsvorrichtung ermöglicht wird.

- 5 Vorteilhaft ist es, wenn das Zuweisen der Georeferenz zu den Punkten der 3D-Punktwolke mittels Sensordatenfusion erfolgt, wobei bevorzugt zu Optimierung ein Faktorgraph als grafisches Modell und/oder ein angewandtes Schätzungsverfahren verwendet wird, wobei bevorzugt die ersten Positionsangaben der Position in dem globalen Bezugssystem verwendet werden. So lassen sich insbesondere Drifteffekte und Abweichungen zwischen den zweiten
10 Positionsangaben und den ersten Positionsangaben in dem globalen Bezugssystem der Erfassungsvorrichtung erkennen und korrigieren. Die Erfassung der ersten Positionsangaben vom einen oder mehreren eingebundenen Empfängern in einem globalen Bezugssystem kann die kurzzeitstabilen limitierenden Faktoren der relativen Sensoriken kompensieren und mit Hilfe einer Transformation ins übergeordnete Koordinatensystem zur Georeferenzierung der
15 mobilen Erfassungsvorrichtung führen.

- Vorteilhaft ist eine Ausgestaltung, bei welcher die Sensordatenfusion auf einem nichtlinearen Gleichungssystem basiert, auf dessen Grundlage eine Schätzung der Position und der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung erfolgt. Bevorzugt erfolgt auf Grundlage des
20 nichtlinearen Gleichungssystems eine Schätzung der Trajektorie, also des zeitlichen Verlaufs der Position der mobilen Erfassungsvorrichtung und eine Schätzung des zeitlichen Verlaufs der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung. Durch die Schätzung von Position und Orientierung bzw. Trajektorie und Verlauf der Orientierung kann einerseits eine hohe absolute Genauigkeit der Georeferenzierung im Bereich weniger Zentimeter und andererseits der
25 Vorteil erreicht werden, dass ein zeitweiser Ausfall eines Sensors, z.B. wenn aufgrund begrenzter Satellitensichtbarkeit keine verlässlichen ersten Positionsangaben ermittelt werden können, kompensiert werden kann.

- Bevorzugt ist es, wenn anhand der mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfassten Bilddaten und/oder Tiefendaten, mindestens ein Infrastrukturelement, insbesondere eine Leitung oder ein Verbindungselement, detektiert und klassifiziert wird und die Schätzung der Position und der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung auf Grundlage des nichtlinearen Gleichungssystems zusätzlich anhand der Ergebnisse der Detektion und Klassifizierung des
30 Infrastrukturelements erfolgt, insbesondere anhand Ergebnis-Angaben enthaltend Farbinformationen und/oder Leitungsdurchmesser und/oder einen Verlauf und/oder einen Biegeradius und/oder Georeferenz. Bei einer solchen Ausgestaltung kann eine besonders robuste und präzise Georeferenzierung der Infrastrukturelemente erreicht werden.

Zur Sensordatenfusion wird bevorzugt ein Faktorgraph verwendet, der die komplexen Beziehungen zwischen verschiedenen Variablen und Faktoren abbildet. In diesem Zusammenhang können die für jedes Frame sequentiell hinzugefügten Bewegungsinformationen (Winkelgeschwindigkeiten, Orientierungsangaben, etc.) mit

5 Trägerphasenbeobachtungen (GNSS-Faktoren) in einer Bündelblockausgleichung fusioniert werden. Die GNSS-Faktoren stellen hierbei direkte Beobachtungen der georeferenzierten Position eines Frames dar, die relativen-Posen-Faktoren liefern hingegen eine Information über die Änderungen der Pose zwischen den Frames und Feature Point Faktoren verknüpfen die in den Bildaufnahmen detektierten lokalen Ortsbezüge (z. B. wiedererkennbare Strukturen

10 und/oder Objekte) und stellen den räumlichen Bezug zur Umgebung her. Ferner können die Ergebnisse der Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung von Infrastrukturelementen (Farbinformationen, geometrische anwendungsspezifische Merkmale wie z. B. Durchmesser, Verlauf, Biegeradien, erste/zweite Positionsangaben der mobilen Erfassungsvorrichtung etc.) in die o. g. Sensordatenfusion mit einfließen. Als Ergebnis entsteht eine zusammenhängende,

15 global vollständig, neu ausgerichtete 3D-Punktwolke aufgenommenen Frames einer Szene, auf Basis dessen sich alle Infrastrukturelemente dreidimensional, georeferenziert mit einer absoluten Genauigkeit weniger Zentimeter extrahieren lassen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass mittels dem einen oder den mehreren Empfängern der mobilen Erfassungsvorrichtung Signale von maximal drei

20 Navigationssatelliten des globalen Navigationssatellitensystems empfangen werden, wobei den Punkten der 3D-Punktwolke jeweils eine Georeferenz mit einer Genauigkeit im Bereich kleiner als 10 cm, bevorzugt kleiner als 5 cm, besonders bevorzugt kleiner als 3 cm zugewiesen wird. Aufgrund der Nutzung mehrerer Sensordatenquellen können dreidimensionale absolute Geokoordinaten von Infrastrukturelementen in Umgebungen, in

25 denen die Satellitensichtbarkeit nur eingeschränkt und/oder schlechte Mobilfunkabdeckung gegeben ist, im Bereich weniger Zentimeter bestimmt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die zweiten Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung und/oder die Orientierungsangaben der mobilen

30 Erfassungsvorrichtung als Vorinformationen die Lösung von Mehrdeutigkeiten von Differenzmessungen von Trägerphasen unterstützen, um Infrastrukturelemente auch dann zu georeferenzieren, wenn der Empfänger einen Ausfall meldet oder mittels der inertialen Messeinheit nur kurzzeitig eine verwertbare zweiten Positionsangabe und/oder Orientierungsangabe ermittelt.

35

Vorteilhaft ist es, wenn mit Hilfe der Sensordatenfusion mehrfach bzw. zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommene Bereiche von Infrastrukturelementen wie zum Beispiel Überlappungen

zwischen zwei Szenen erkannt und auf den zeitlich jüngsten, erfassten Bereich der Infrastrukturelemente reduziert werden.

5 Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass eine Plausibilität einer zeitlichen Abfolge von ersten Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung in dem globalen Bezugssystem ermittelt wird, bevorzugt indem anhand der zeitlichen Abfolge von ersten Positionsangaben eine erste Geschwindigkeitsangabe ermittelt wird, anhand der erfassten linearen Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten eine zweite Geschwindigkeitsangabe berechnet wird und mit der ersten Geschwindigkeitsangabe
10 verglichen wird. Hierzu kann ein Vergleich mit dem Zeitintegral der linearen Beschleunigungen erfolgen. Hierdurch kann die Zuverlässigkeit der ermittelten bzw. den Punkten zugewiesenen Georeferenz erhöht werden. Bevorzugt wird den Punkten der 3D-Punktwolke somit anhand einer oder mehrerer ersten Positionsangaben und einer oder mehrerer der zweiten Positionsangaben und einer oder mehrerer der Orientierungsangaben und der gemessenen
15 Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung entlang der Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und der gemessenen Winkelgeschwindigkeiten der Drehungen der mobilen Erfassungsvorrichtung um diese Hauptachsen jeweils eine Georeferenz zugewiesen.

20 Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass anhand der 3D-Punktwolke und/oder anhand der Bilddaten, mindestens ein Infrastrukturelement, insbesondere eine Leitung oder ein Verbindungselement, detektiert und/oder klassifiziert und/oder segmentiert wird.

In diesem Zusammenhang wird bevorzugt, wenn zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung eines Infrastrukturelements ein oder mehrere Verfahren der
25 Bildsegmentierung, wie beispielsweise Schwellwertverfahren, insbesondere Histogrammbasierte Verfahren, oder texturorientierte Verfahren, oder Region-basierte Verfahren, oder auch pixelbasierte Verfahren wie beispielsweise Support Vector Maschine, Entscheidungsbäume und Neuronale Netze eingesetzt werden. Beispielsweise können zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung der Infrastrukturelemente
30 Farbinformationen der erfassten Bilddaten mit einer vorgegebenen Farbinformation verglichen werden. Da Infrastrukturelemente unterschiedlicher Leitungsnetzwerke in der Regel eine unterschiedliche Farbgebung und/oder unterschiedliche Geometrieinformation aufweisen, können Farbinformationen und/oder Geometrieinformationen der erfassten Bilddaten mit beispielsweise in einer Datenbank hinterlegten vorgegebenen Farbinformation und/oder
35 Geometrieinformation verglichen werden, um die Infrastrukturelemente einerseits von ihrer Umgebung in der Szene zu unterscheiden, und andererseits den Typ des Infrastrukturelements zu erkennen, beispielsweise, ob es sich eine Glasfaserleitung oder ein

Fernwärmeleitung handelt. Bevorzugt werden Farbinformationen der Punkte der 3D-Punktwolke mit einer vorgegebenen Farbinformation verglichen, so dass Punkte der 3D-Punktwolke unmittelbar einem erkannten Infrastrukturelement zugeordnet werden können.

- 5 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung mindestens ein Histogramm von Farb- und/oder Grauwertinformationen, und/oder Sättigungswertinformationen und/oder Helligkeitswertinformationen und/oder eines elektromagnetischen Wellenspektrums mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke erzeugt wird. Das Erzeugen eines Histogramms der Farb- oder
- 10 Grauwertinformationen ermöglicht in einem ersten Schritt die Zuordnung der Punkte der Punktwolke, die der vordefinierten Farb- und/oder Grauwertinformationen, und/oder Sättigungswertinformationen und/oder Helligkeitswertinformationen und/oder eines elektromagnetischen Wellenspektrums am ehesten ähneln und somit die Basis für eine verbesserte Erkennung von Infrastrukturelementen bei einer Szene legen. Bevorzugt wird ein
- 15 Histogramm von Farb- oder Grauwertinformationen der Bilddaten im HSV-Farbraum erzeugt, beispielsweise nach einer vorhergehenden Transformation der Bilddaten in den HSV-Farbraum. Besonders bevorzugt wird das Histogramm des Farbwerts (engl. *hue*) erzeugt, der auch als Farbwinkel bezeichnet wird.
- 20 Bevorzugt werden in dem Histogramm oder in den Histogrammen lokale Maxima detektiert und unter den lokalen Maxima solche Maxima mit den geringsten Abständen zu einem vorgegebenen Farb-, Sättigung- und Helligkeits-Schwellenwert eines Infrastrukturelements bestimmt oder detektiert.
- 25 Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn eine Gruppe von Punkten, deren Punkte einen vorgegebenen Abstands-Schwellenwert zu den aus den detektierten lokalen Maxima zusammengesetzten Farbinformationen nicht überschreiten, iterativ durch weitere Punkte, die einen definierten geometrischen und farblichen Abstand zu den dazugehörigen Nachbarpunkten nicht überschreiten, erweitert wird, um einen örtlich zusammenhängenden
- 30 Bereich eines Infrastrukturelements mit ähnlichen Farbinformationen zu bilden. Auf diese Weise ist es möglich, örtlich zusammenhängende Bereiche eines Infrastrukturelements mit einem ähnlichen Farbwert zu detektieren. Auch ein Infrastrukturelement, dessen Farbwert sich im geometrischen Verlauf des Infrastrukturelements allmählich ändert kann als zusammenhängendes Infrastrukturelement in den Bilddaten erkannt werden. Bevorzugt kann
- 35 ein Vorzugsrichtung-Abstands-Schwellenwert für eine Vorzugsraumrichtung vorgegeben sein, die einer Bewegungsrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung beim Erfassen des Infrastrukturelements entspricht. Der Vorzugsrichtung-Abstands-Schwellenwert kann größer

sein als der Abstands-Schwellenwert für andere Raumrichtungen, da davon ausgegangen werden kann, dass sich der Benutzer beim Erfassen der Infrastrukturelemente in der geöffneten Baugrube die mobile Erfassungsvorrichtung in einer Richtung bewegt, die der Haupterstreckungsrichtung der Infrastrukturelemente entspricht.

5

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung der Infrastrukturelemente und/oder zur verbesserten Distanzmessung und/oder zur Initialisierung der absoluten Orientierung ein Lichtpunkt eines Laserpointers der Erfassungsvorrichtung erfasst und/oder in der Anzeigerichtung angezeigt wird. Hierzu weist die mobile Erfassungsvorrichtung bevorzugt einen Laserpointer zur optischen Markierung von Infrastrukturelementen auf, mit dem bevorzugt ein Laserstrahl erzeugbar ist, der in Richtung der mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfassten Szene gerichtet ist. Mittels des Laserpointers kann ein Benutzer der Erfassungsvorrichtung einen Punkt in der erfassten Szene markieren, der einen Teil des Infrastrukturelements darstellt. Der mittels des Laserpointers markierte Punkt kann in den erfassten Bilddaten identifiziert werden und Punkte, die einen geometrischen Abstand von dem markierten Punkt aufweisen können Kandidaten-Punkte darstellen, die vermutlich ebenfalls Teil des Infrastrukturelements sind. In einem weiteren Schritt können die Farbwerte der Kandidaten-Punkte miteinander verglichen werden, beispielsweise mittels eines oder mehrerer Histogramme. Hieraus können die lokalen Maxima mit den geringsten Abständen zu den zuvor definierten Farbwert-, Sättigung- und Helligkeitswerten des Infrastrukturelements detektiert werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass zur Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung der Infrastrukturelemente Farb- oder Grauwertinformationen der erfassten Bilddaten, insbesondere Farb- oder Grauwertinformationen der Punkte der 3D-Punktwolke, und/oder die erfassten Tiefendaten und zugehörige Label-Informationen einem oder mehreren künstlichen neuronalen Netzen zum Trainieren zugeführt werden. Im Rahmen eines Trainings des künstlichen neuronalen Netzes können die Bilddaten als Trainingsdaten für das künstliche neuronale Netz verwendet werden, wobei zusätzlich Korrekturdaten durch einen Benutzer der Erfassungsvorrichtung bereitgestellt werden, um das künstliche neuronale Netz zu trainieren. Das künstliche neuronale Netz kann als Teil einer Datenverarbeitungseinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung, insbesondere als Software und/oder Hardware, ausgebildet sein. Alternativ ist es möglich, dass das künstliche neuronale Netz als Teil eines Servers vorgesehen ist, mit welchem die mobile Erfassungsvorrichtung über eine drahtlose Kommunikationsverbindung in Verbindung steht. Über das trainierte neuronale Netz kann eine

Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung von Infrastrukturelementen mit verringertem Rechenaufwand ermöglicht werden.

5 Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass für jedes detektierte Infrastrukturelement ein dazugehöriges 3D-Objekt erzeugt wird, insbesondere anhand der 3D-Punktwolke. Das Erzeugen des 3D-Objekts erfolgt bevorzugt ausgehend von der 3D-Punktwolke im geodätischen Referenzsystem und ist somit georeferenziert. Das 3D-Objekt kann eine Textur aufweisen. Bevorzugt umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung einen Grafikprozessor (GPU), der dazu eingerichtet ist, das dem erfassten Infrastrukturelement entsprechende 3D-
10 Objekt darzustellen.

Bei der Erfassung von Infrastrukturelementen im Verteilnetz kann aus unterschiedlichen Gründen die Situation entstehen, dass ein Teil des im Untergrund angeordneten Infrastrukturelements aufgrund einer Verdeckung durch die mobile Erfassungsvorrichtung
15 nicht optisch erfassbar ist. In der 3D-Punktwolke bzw. dem durch die 3D-Objekte definierten Netzwerk entstehen somit optische Fehlstellen. Eine solche Situation kann beispielsweise dann entstehen, wenn das Infrastrukturelement durch eine über die Baugrube reichende Platte abgedeckt ist, beispielsweise eine Stahlplatte, welche einen Überweg über die Baugrube bildet. Ferner ist es möglich, dass das freiliegende Infrastrukturelement mit einem weiteren
20 Infrastrukturelement verbunden ist, welches in geschlossener Bauweise verlegt wurde, so z. B. durch eine Pressbohrung. Des Weiteren kann es z.B. durch unachtsame Bewegungen eines Benutzers der mobilen Erfassungsvorrichtung dazu kommen, dass Infrastrukturelemente oder Teile davon durch Sand oder Erde verdeckt werden oder es kann Laub von umstehenden Bäume herabfallen und zu Verdeckungen führen. Um die zusätzliche
25 Erfassung solcher durch die mobile Erfassungsvorrichtung nicht optisch erfassbarer Infrastrukturelemente zu ermöglichen, können Maßnahmen getroffen werden, die nachfolgend vorgestellt werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass eine optische Fehlstelle zwischen
30 zwei 3D-Objekten erkannt wird und zur Schließung der optischen Fehlstelle ein Verbindungs-3D-Objekt, insbesondere als 3D-Spline, erzeugt wird.

Bevorzugt wird zum Erkennen der optischen Fehlstelle ein Merkmal eines ersten Endes eines ersten 3D-Objekts und dasselbe Merkmal eines zweiten Endes eines zweiten 3D-Objekts
35 ermittelt wird, wobei das erste und zweite Merkmal miteinander verglichen werden und das erste und zweite Merkmal ein Durchmesser oder eine Farbe oder eine Orientierung oder eine Georeferenz ist. Besonders bevorzugt werden zum Erkennen der optischen Fehlstelle

mehrere Merkmale eines ersten Endes eines ersten 3D-Objekts und dieselben Merkmale eines zweiten Endes eines zweiten 3D-Objekts ermittelt, wobei die ersten und zweiten Merkmale miteinander verglichen werden und die ersten und zweiten Merkmale ein Durchmesser und/oder eine Farbe und/oder eine Orientierung und/oder eine Georeferenz
5 sind.

Alternativ kann vorgesehen sein, dass die mobile Erfassungsvorrichtung in einen optischen Fehlstellenmodus versetzt wird und ausgehend von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende bewegt wird. Der optische Fehlstellenmodus kann durch ein Bedienelement der
10 Erfassungsvorrichtung aktivierbar sein.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die mobile Erfassungsvorrichtung eine Einrichtung zur Sprachbedienung aufweist. Über die Einrichtung zur Sprachbedienung kann eine auditive Eingabe von Befehlen und/oder Informationen
15 erfolgen. Durch eine auditive Eingabe kann ein unerwünschtes Verwackeln durch das Betätigen von Bedienelementen während der Erfassung von Infrastrukturelemente verhindert werden, was zu verbesserten Erfassungsergebnissen beiträgt. Ferner kann mittels der Einrichtung zur Sprachbedienung eine akustische Ausgabe von Eingabeaufforderungen und/oder Informationen, insbesondere Rückmeldungen und/oder Warnungen, erfolgen. Die
20 Einrichtung zur Sprachbedienung kann ein oder mehrere Mikrofone und/oder ein oder mehrere Lautsprecher umfassen.

Bevorzugt werden mittels der Einrichtung zur Sprachbedienung auditive Informationen erkannt und den Punkten der 3D-Punktwolke wird die Georeferenz zusätzlich anhand der auditiven
25 Informationen zugewiesen. Besonders bevorzugt werden die auditiven Informationen, insbesondere bei der Sensordatenfusion, zur Schätzung der Position und der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung herangezogen. Alternativ oder zusätzlich können die auditiven Informationen zur Detektion und Klassifizierung der Infrastrukturelemente herangezogen werden. Beispielsweise können mittels der Einrichtung zur Sprachbedienung auditive
30 Informationen eines Benutzers betreffend den Typ des zur erkennenden Infrastrukturelements („die Leitung ist ein Glasfaserkabel“) und/oder betreffend die Anzahl der zu erkennenden Infrastrukturelemente („es sind drei Leitungen verlegt“) und/oder zur Anordnung der Infrastrukturelemente („links liegt eine Gasleitung, rechts ein Glasfaserkabel“) erkannt werden. Bevorzugt ist vorgesehen, dass anhand der mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfassten
35 Bilddaten und/oder Tiefendaten, mindestens ein Infrastrukturelement, insbesondere eine Leitung oder ein Verbindungselement, detektiert und klassifiziert wird und die Schätzung der

Position und der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung auf Grundlage des nichtlinearen Gleichungssystems zusätzlich anhand auditiver Informationen erfolgt

5 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird vorgesehen, dass mittels einer Anzeigeeinrichtung der mobilen Erfassungseinheit eine Darstellung der 3D-Punktwolke und/oder 3D-Objekte, die Infrastrukturelementen entsprechen, angezeigt wird bzw. werden. Dies bietet den Vorteil, dass der Benutzer der mobilen Erfassungsvorrichtung, die 3D-Punktwolke und/oder 3D-Objekte, die Infrastrukturelementen entsprechen, vor Ort, beispielsweise unmittelbar nach dem Erfassen der Infrastrukturelemente in der geöffneten
10 Baugrube, betrachten und ggf. überprüfen kann.

Alternativ oder zusätzlich kann mittels der Anzeigeeinrichtung ein auf Grundlage der 3D-Punktwolke und der Bilddaten der einen oder mehreren 2D-Kameras erzeugtes texturiertes Gittermodell angezeigt werden.

15 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird vorgesehen, dass mittels einer Anzeigeeinrichtung der mobilen Erfassungseinheit ein 2D-Lageplan angezeigt wird. Der 2D-Lageplan kann mittels einer Datenverarbeitungseinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung erzeugt werden, beispielsweise anhand der insbesondere
20 georeferenzierten 3D-Punktwolke. Bevorzugt kann der 2D-Lageplan in einer Datei gespeichert werden, beispielsweise im .dxf-Dateiformat oder Shapefiles mit individuellen Attributen. Die Ausgestaltung eines solchen 2D-Lageplans dient dazu, die Infrastrukturelemente digital in die individuellen Geoinformationssysteme der zuständigen Inhaber zu integrieren.

25 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass mittels einer Anzeigeeinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung eine Stückliste von Infrastrukturelementen, insbesondere von Leitungselementen und Verbindungselementen, angezeigt wird. Die Stückliste kann mittels einer Datenverarbeitungseinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung anhand der detektierten, klassifizierten und/oder segmentierten
30 Infrastrukturelemente erzeugt und durch den Benutzer manuell angepasst werden. Die Stückliste kann beispielweise Infrastrukturelemente unterschiedlicher Leitungsnetzwerke umfassen. Die Stückliste kann beispielsweise Informationen über die Anzahl der jeweiligen Infrastrukturelemente und/oder die Anzahl an verlegten Längeneinheiten der jeweiligen Infrastrukturelemente und/oder die Positionsangabe des jeweiligen Infrastrukturelements in
35 einem geodätischen Referenzsystem und/oder den Baufortschritt umfassen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass mittels einer Anzeigeeinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion eines oder mehrerer 3D-Objekte, die einem Infrastrukturelement entsprechen, angezeigt wird. Zur Projektion des 3D-Objektes des Infrastrukturelementes auf die Baugrube muss zunächst die Orientierung der Kamerablickrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung initialisiert werden. Dazu muss der Benutzer die mobile Erfassungsvorrichtung beispielsweise über einen Bereich weniger Meter zur Örtlichkeit bewegen oder ein bestimmtes Bewegungsmuster/Prozedur ausführen, um über ausreichende Sensordaten der mobilen Erfassungsvorrichtung die Orientierung im Raum zu verfügen. Bevorzugt wird eine Überlagerung der Bilddaten der als Teil der 3D-Rekonstruktionseinrichtung vorgesehenen 2D-Kamera mit mehreren Projektionen der 3D-Objekten angezeigt, die mehreren, insbesondere miteinander verbundenen Infrastrukturelementen, entsprechen. Eine derartige Darstellung kann auch als „*augmented reality*“-Darstellung bezeichnet werden und ermöglicht eine realitätsnahe bzw. lagerichtige Darstellung der verdeckt angeordneten Infrastrukturelemente auch im geschlossenen Zustand. Das bedeutet, dass mittels der mobilen Erfassungsvorrichtung einem Benutzer auch nach dem Schließen der Baugrube eine realitätsnahe Darstellung der unter der Erde verlegten Infrastrukturelemente dargestellt werden kann. Aufgrund der georeferenzierten Bilddaten muss der Benutzer die Infrastrukturelemente nicht freilegen, um deren Verlauf mit hoher Genauigkeit wahrnehmen zu können.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass mittels einer Anzeigeeinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung eine Überlagerung von Bilddaten einer als Teil der 3D-Rekonstruktionseinrichtung vorgesehenen 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke angezeigt wird. Wird eine Projektion der 3D-Punktwolke in der Anzeigevorrichtung angezeigt, ergibt sich gegenüber der Darstellung der Projektion eines 3D-Objekts zwar ein erhöhter Rechenaufwand bei der Darstellung. Allerdings kann dann auf eine vorhergehende Erzeugung des 3D-Objekts verzichtet werden.

30

Die mobile Erfassungsvorrichtung umfasst bevorzugt eine Anzeigeeinrichtung zur Anzeige von Anzeigedaten und eine Datenverarbeitungseinrichtung, die dazu eingerichtet ist, Anzeigedaten bereitzustellen, die

- eine Darstellung der 3D-Punktwolke und/oder
- ein auf Grundlage der 3D-Punktwolke und der Bilddaten der einen oder mehreren 2D-Kameras erzeugtes texturiertes Gittermodell und/oder

35

- 3D-Objekte, die Infrastrukturelementen entsprechen, und/oder
- ein 2D-Lageplan und/oder
- eine Stückliste von Infrastrukturelementen und/oder
- eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion eines oder mehrerer 3D-Objekte, die einem Infrastrukturelement entsprechen, und/oder
- eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke

umfassen. Die Anzeigeeinrichtung kann als kombinierte Anzeige- und Bedieneinrichtung ausgebildet sein, über welche Eingaben eines Benutzers erfasst werden können, beispielsweise als Touchscreen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung einen Laserpointer zur optischen Markierung von Infrastrukturelementen und/oder zur erweiterten Distanzmessung und/oder zur Initialisierung der Orientierung in der Anzeigeeinrichtung.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung einen Polarisationsfilter zur Vermeidung von Glanz, Spiegelung und Reflexionen zur Qualitätssteigerung und Optimierung der Beobachtungsdaten.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung eine oder mehrere Beleuchtungseinrichtungen zur verbesserten Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung von Infrastrukturelementen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung weist die mobile Erfassungsvorrichtung eine Einrichtung zur Sprachbedienung auf.

Bevorzugt ist die Einrichtung zur Sprachbedienung dazu eingerichtet, eine akustische Ausgabe von Eingabeaufforderungen und/oder Informationen, insbesondere Rückmeldungen und/oder Warnungen, zu ermöglichen.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sollen nachfolgend anhand der in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiele erläutert werden. Hierin wird folgendes gezeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer mobilen Erfassungsvorrichtung gemäß der Erfindung in einer schematischen Blockdarstellung;

- Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erfassung von freiliegenden und sich im Untergrund befindlichen Infrastrukturelementen in einem Ablaufdiagramm;
- 5 Fig. 3 eine beispielhafte Projektion einer 3D-Punktwolke;
- Fig. 4 eine beispielhafte Darstellung einer Szene;
- 10 Fig. 5, 6 Darstellungen von Baumaßnahmen, bei denen die Erfindung Einsatz finden kann;
- Fig. 7 ein Blockdiagramm zu Veranschaulichung der Vorgänge beim Zuweisen der Georeferenz zu den Punkten der 3D-Punktwolke;
- 15 Fig. 8 eine schematische Darstellung mehrerer Szenen;
- Fig. 9a eine Draufsicht auf eine Baugrube mit mehreren zumindest teilweise optisch verdeckten Infrastrukturelementen; und
- 20 Fig. 9b eine Draufsicht auf die Baugrube gemäß Fig. 7a mit erkannter und geschlossener optischer Fehlstelle.

In **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels einer mobilen Erfassungsvorrichtung 1 zur Erfassung von freiliegenden, sich im Untergrund befindlichen

25 Infrastrukturelementen, insbesondere in einer geöffneten Baugrube, dargestellt. Die mobile Erfassungsvorrichtung 1 umfasst unter anderem einen oder mehrere Empfänger 2, bestehend aus einer Empfangsanlage zum Empfangen und Verarbeiten von Signalen eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme und zur Ermittlung einer ersten Position der Erfassungsvorrichtung im globalen Bezugssystem anhand von Laufzeitmessungen der

30 Satellitensignale. Der Empfänger 2, insbesondere die Empfangsanlage des Empfängers 2, kann mit einer oder mehreren Antenne verbunden sein, die bevorzugt außerhalb des Gehäuses 9 der mobilen Erfassungsvorrichtung 1, besonders bevorzugt an einer Außenkontur des Gehäuses 9, angeordnet ist. Alternativ kann die Antenne innerhalb des Gehäuses 9 angeordnet sein. Insbesondere mittels einer Referenzstation oder dem Dienst eines

35 Referenznetzwerks kann diese erste Position der Erfassungsvorrichtung 1 im globalen Bezugssystem verbessert werden. Die mobile Erfassungsvorrichtung 1 enthält auch eine 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 zur Erfassung von Bilddaten und/oder Tiefendaten einer Szene,

- insbesondere eines Frames einer Szene, die freiliegende, sich im Untergrund befindliche Infrastrukturelemente enthält. Weiterhin umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung 1 eine inertielle Messeinheit 3 zur Messung der Beschleunigungen entlang der Hauptachsen und der Winkelgeschwindigkeiten der Drehungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1. Darüber hinaus werden mehrere, zweite Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung mittels visueller Odometrie der Bilddaten und/oder Tiefendaten und mittels einer inertialen Messeinheit 3 durch simultane Positionsbestimmung und Kartenerstellung geschätzt. Insbesondere werden die mehreren zweiten Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung 1 in einem lokalen Bezugssystem und die mehreren Orientierungsangaben der Orientierung der Erfassungsvorrichtung 1 in dem jeweiligen lokalen Bezugssystem ermittelt,
- a. wobei die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels einer inertialen Messeinheit 3 der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 erfolgt, welche lineare Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 um diese Hauptachsen erfasst, und/oder
 - b. wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 eine oder mehrere 2D-Kameras aufweist, mittels derer die Bilddaten und/oder die Tiefendaten der Szene erfasst werden und die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Bilddaten und/oder der Tiefendaten erfolgt; und/oder
 - c. wobei die 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 eine LIDAR-Messeinrichtung aufweist, mittels derer die Tiefendaten der Szene erfasst werden und die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Tiefendaten erfolgt.

Der oder die Empfänger 2, die inertielle Messeinheit 3 und die 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 sind in einem gemeinsamen Gehäuse 9 angeordnet.

30

Das Gehäuse 9 weist Abmessungen auf, die es ermöglichen, dass die mobile Erfassungsvorrichtung 1 durch einen Benutzer mit beiden Händen, bevorzugt in einer einzigen Hand gehalten werden kann. Das Gehäuse 9 weist eine größte Kantenlänge auf, die kleiner ist als 50 cm, bevorzugt kleiner ist als 40 cm, besonders bevorzugt kleiner ist als 30 cm, beispielsweise kleiner ist als 20 cm.

35

Weitere Bestandteile der mobilen Erfassungsvorrichtung 1, die ebenfalls in dem Gehäuse 9 angeordnet sind, sind ein Laserpointer 5, eine Datenverarbeitungseinrichtung 6, eine Speichereinheit 7, eine Kommunikationseinrichtung 10 und eine Anzeigeeinrichtung 8.

- 5 Der Laserpointer 5 kann zur optischen Markierung von Infrastrukturelementen und/oder zur ergänzenden Distanzmessung verwendet werden und ist derart in dem Gehäuse oder Gestell 9 angeordnet, dass mit ihm ein Laserstrahl erzeugbar ist, der in Richtung des mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 erfassten Szene zeigt, beispielsweise in die Mitte der mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 erfasste Szene.

10

Die Datenverarbeitungseinrichtung 6 ist mit dem oder den Empfängern 2, der inertialen Messeinheit 3 und der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 verbunden, so dass die einzelnen gemessenen und geschätzten Daten sowie die Bilddaten der Datenverarbeitungseinrichtung 6 zugeführt werden können. Ferner sind der Laserpointer 5, die Speichereinheit 7 und die

15 Anzeigeeinrichtung 8 mit der Datenverarbeitungseinrichtung 6 verbunden.

Die Erfassungsvorrichtung 1 enthält eine Kommunikationseinrichtung 10, die insbesondere als Kommunikationseinrichtung zur drahtlosen Kommunikation, beispielsweise mittels Bluetooth, WLAN oder Mobilfunk, ausgestaltet ist.

20

Die Anzeigeeinrichtung 8 dient der Visualisierung der mittels der Erfassungsvorrichtung 1 erfassten Infrastrukturelemente. Die Anzeigeeinrichtung 8 ist bevorzugt als kombinierte Anzeige- und Bedieneinrichtung, beispielsweise nach Art eines berührungsempfindlichen Bildschirms, (engl. *touchscreen*) ausgebildet.

25

Die in **Fig. 1** gezeigte mobilen Erfassungsvorrichtung 1 kann in einem Verfahren zur Erfassung von freiliegenden, sich im Untergrund befindlichen Infrastrukturelementen Verwendung finden. Ein Ausführungsbeispiel eines solchen Verfahrens 100 soll nachfolgend anhand der Darstellung in **Fig. 2** erläutert werden.

30

Bei dem Verfahren 100 zur Erfassung von Infrastrukturelementen eines unterirdischen Leitungsnetzwerks in einer geöffneten Baugrube mit einer mobilen Erfassungsvorrichtung 1 werden in einem Erfassungsschritt 101 mittels einem oder mehrerer Empfänger 2 der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 Signale eines oder mehrerer globaler Navigationssatellitensysteme empfangen und verarbeitet sowie eine oder mehrere Positionsangaben der Position der

35 Erfassungsvorrichtung 1 im globalen Bezugssystem ermittelt. Gleichzeitig werden mittels einer als Teil der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 vorgesehenen 2D-Kamera der mobilen

Erfassungsvorrichtung 1 Bilddaten einer Szene, die freiliegende, sich im Untergrund befindliche Infrastrukturelemente enthält, erfasst. Eine LIDAR-Messeinrichtung der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfasst Bilddaten und/oder Tiefendaten der Szene. Darüber hinaus werden mehrere, zweite Positionsangaben der Position der Erfassungsvorrichtung mittels visueller Odometrie der Bilddaten und/oder Tiefendaten und mittels einer inertialen Messeinheit 3 durch simultane Positionsbestimmung und Kartenerstellung geschätzt. Die inertiale Messeinheit 3 ist dazu eingerichtet, lineare Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 in drei orthogonal aufeinander stehenden Hauptachsen des lokalen Bezugssystems und Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 um diese Hauptachsen zu erfassen. Die Erfassungsvorrichtung 1 wird von einer Person, bevorzugt mit beiden Händen einer Person, besonders bevorzugt mit einer Hand einer Person, getragen.

Die geschätzten zweiten Positionsangaben im lokalen System, die geschätzten Orientierungsangaben im lokalen Bezugssystem, die gemessene erste Position im globalen Bezugssystem, die gemessenen Beschleunigungen entlang der Hauptachsen und die gemessenen Winkelgeschwindigkeiten der Drehungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 um die Hauptachsen und die erfassten Bilddaten werden synchronisiert in der Speichereinheit 7 der Erfassungsvorrichtung 1 abgespeichert. Der Benutzer kann sich mit der Erfassungsvorrichtung 1 während des Erfassungsschritts 101 bewegen, beispielsweise entlang eines freiliegendes Infrastrukturelements. Durch die synchronisierte Speicherung dieser Daten wird sichergestellt, dass die Daten in den nachfolgenden Verfahrensschritten korrekt verarbeitet werden können. Die von der 3D-Rekonstruktionseinrichtung erfassten Bilddaten werden in einem nachfolgenden Rekonstruktionsschritt 102 derart aufbereitet, dass sie eine 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten und Farbinformationen für die Punkte erzeugen. Insofern wird hier von einer kolorierten 3D-Punktwolke gesprochen.

In einem Georeferenzierungsschritt 103 wird danach den Punkten der 3D-Punktwolke anhand der geschätzten zweiten Positionsangaben der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 im lokalen Bezugssystem, der geschätzten Orientierungen der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 im lokalen Bezugssystem und der gemessenen ersten Positionen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 im globalen Bezugssystem und der gemessenen Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 entlang der Hauptachsen und der gemessenen Winkelgeschwindigkeiten der Drehungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 um die Hauptachsen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 eine erste Positionsangabe in einem geodätischen Referenzsystem, beispielsweise einem amtlich anerkannten Koordinatensystem

zugewiesen. Insofern wird nach dem Georeferenzierungsschritt 103 eine kolorierte, georeferenzierte 3D-Punktwolke errechnet und bereitgestellt.

5 Danach werden in einem Erkennungsschritt 104 anhand der Farbinformationen der Daten, Infrastrukturelemente detektiert. Zur Detektion Klassifikation und/oder Segmentierung der Infrastrukturelemente werden Farbinformationen der erfassten Bilddaten mit einer vorgegebenen Farbinformation verglichen. Alternativ oder zusätzlich kann eine Markierung der Infrastrukturelemente durch den Benutzer bei der Erfassung der Szene mittels des Laserpointers 5 erfolgt sein. Die Markierung durch den Laserpointer 5 kann in den Bilddaten
10 detektiert und zur Detektion der Infrastrukturelemente herangezogen werden. Als Ergebnis des Erkennungsschritts 104 sind mehrere Bildpunkte der Bilddaten, insbesondere mehrere Punkte der kolorierten, georeferenzierten 3D-Punktwolke, jeweils einem gemeinsamen Infrastrukturelement zugewiesen, beispielsweise einem Leitungselement oder einem Leitungsverbindungselement. Die Darstellung in **Fig. 3** zeigt eine beispielhafte Abbildung
15 eines erkannten Infrastrukturelements in einer 2D-Projektion.

In einem nachfolgenden Datenaufbereitungsschritt 105 werden die erzeugten Daten des einzelnen Erkennungsschritt aufbereitet und dessen Infrastrukturelemente detektiert. Die Aufbereitung kann mittels der Datenverarbeitungseinrichtung 6 erfolgen. Hierbei sind
20 verschiedene Arten der Aufbereitung möglich, die alternativ oder kumulativ durchgeführt werden können: In dem Datenaufbereitungsschritt 105 können 3D-Objekte erzeugt werden, die den erfassten Infrastrukturelementen entsprechen, so dass ein 3D-Modell des unterirdischen Leitungsnetzwerks erzeugt wird. Ferner kann eine Projektion der 3D-Punktwolke berechnet werden. Es ist möglich, dass ein 2D-Lageplan erzeugt wird, in welchen
25 die detektierten Infrastrukturelemente wiedergegeben sind. Darüber hinaus kann eine Stückliste der erkannten Infrastrukturelemente erzeugt werden.

In einem Visualisierungsschritt 106 kann dann mittels der Anzeigeeinrichtung 8 der mobilen Erfassungsvorrichtung 1
30

- eine Darstellung der 3D-Punktwolke und/oder
- ein 2D-Lageplan und/oder
- eine Stückliste von Infrastrukturelementen und/oder
- eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion eines oder mehrerer 3D-Objekte, die einem Infrastrukturelement
35 entsprechen, und/oder

– eine Überlagerung von Bilddaten einer 2D-Kamera der Erfassungsvorrichtung mit einer Projektion mehrerer Punkte der 3D-Punktwolke angezeigt werden.

5 Die **Fig. 4** visualisiert einen Anwendungsfall des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dargestellt sind mehrere Frames einer aufgenommenen Szene, die eine Vielzahl von Infrastrukturelementen 200, 200' eines Verteilnetzes enthält. Bei den Infrastrukturelementen 200, 200' handelt es sich um Glasfaserleitungen und Telekommunikationskabel, die teilweise ohne Abstand zueinander in einer gemeinsamen
10 Baugrube verlegt sind. Der Durchmesser dieser Infrastrukturelemente 200, 200' ist kleiner als 30 cm, teilweise kleiner als 20 cm. Einige Infrastrukturelemente 200' weisen einen Durchmesser von kleiner als 10 cm auf. Eine Person 201 steht in der geöffneten Baugrube und benutzt eine (in **Fig. 4** nicht sichtbare) mobile Erfassungsvorrichtung 1 zur Erfassung der freiliegenden Infrastrukturelemente 200, 200' mit dem erfindungsgemäßen Verfahren.

15

Die Darstellungen in **Fig. 5 und 6** zeigen typische Baustellen zur Verlegung von Infrastrukturelementen unterirdischer Verteilnetzwerke im städtischen Umfeld. Diese Baustellen befinden sich im städtischen Straßenraum und zeichnen sich durch Baugruben mit einer Tiefe von 30 cm bis 2 m aus. Um die Baugrube herum sind die Platzverhältnisse beengt und die Zugänglichkeit der Baugrube teilweise durch parkende Autos bzw. den laufenden Straßenverkehr eingeschränkt. Das städtische Umfeld der Baugrube ist oftmals durch Abschattungen der GNSS-Signale und des Mobilfunkempfangs gekennzeichnet.

In der **Fig. 7** ist ein Blockdiagramm gezeigt, in welchem der Datenfluss zur Erzeugung der 3D-Punktwolke und der Zuweisung der Georeferenzen zu den Punkten der Punktwolke dargestellt ist. Als Datenquellen bzw. Sensoren umfasst die mobile Erfassungsvorrichtung 1 die inertiale Messeinheit 3, den Empfänger 2 für die Signale des globalen Navigationssatellitensystems inklusive Mobilfunkschnittstelle 302, eine – hier als Festkörper-LIDAR-Messeinrichtung ausgebildete LIDAR-Messeinrichtung 303 der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 sowie eine
25 erste 2D-Kamera 304 der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 und optional eine zweite 2D-Kamera 305 der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4.

Die von diesen Datenquellen bzw. Sensoren bereitgestellten Daten werden synchronisiert in einer Speichereinheit 7 der mobilen Erfassungsvorrichtung abgespeichert (Schritt 306). Das
35 bedeutet, dass

- die erste Positionsangabe der Position in dem globalen Bezugssystem und/oder dieser Positionsangabe zugeordnete Rohdaten; und

- die eine oder mehreren zweiten Positionsangaben; und
- die eine oder mehreren zweiten Orientierungsangaben; und
- die erfassten Bilddaten und/oder die erfassten Tiefendaten und/oder die erfassten linearen Beschleunigungen der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 in drei orthogonal aufeinander stehenden Achsen des lokalen Bezugssystems sowie die Winkelgeschwindigkeiten der Drehung der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 um diese Achsen;

zeitlich synchronisiert in der Speichereinheit 7 der Erfassungsvorrichtung 1 abgespeichert werden.

10

Mittels der LIDAR-Messeinrichtung 303 werden die Tiefendaten der Szene erfasst und es erfolgt die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der Tiefendaten. Anhand der durch Die LIDAR-Messeinrichtung 303 ermittelten Bilddaten und/oder Tiefendaten wird eine lokale 3D-Punktwolke mit mehreren Punkten erzeugt, vgl. Block 307.

15

Mittels der ersten 2D-Kamera 304 und ggf. der zweiten 2D-Kamera 305 werden die Bilddaten und/oder die Tiefendaten der Szene 350 erfasst und es erfolgt jeweils die Ermittlung einer der zweiten Positionsangaben und einer der Orientierungsangaben mittels visueller Odometrie anhand der jeweiligen Bilddaten und/oder der Tiefendaten der 2D-Kamera 304 und ggf. 305. Hierzu werden Feature-Punkte extrahiert, vgl. Block 308 und ggf. 309.

20

Ferner wird anhand mit der 3D-Rekonstruktionseinrichtung 4 erfassten Bilddaten und/oder Tiefendaten, mindestens ein Infrastrukturelement, insbesondere eine Leitung oder ein Verbindungselement, detektiert und klassifiziert und ggf. segmentiert, vgl. Block 310. Dabei werden eine oder mehrere der folgenden Informationen gewonnen: Farbe eines Infrastrukturelements, Durchmesser eines Infrastrukturelements, Verlauf eines Infrastrukturelements, Biegeradius eines Infrastrukturelements, erste und zweite Positionsangaben der mobilen Erfassungsvorrichtung. Die Detektion, Klassifikation und ggf. Segmentierung kann mittels eines künstlichen neuronalen Netzes erfolgen, welches als Teil einer Datenverarbeitungseinrichtung der mobilen Erfassungsvorrichtung ausgestaltet ist, insbesondere als Software und/oder Hardware.

25

30

Die mobile Erfassungsvorrichtung kann optional eine Einrichtung zur Sprachbedienung aufweisen. Über die Einrichtung zur Sprachbedienung könne auditive Informationen erfasst

35

werden, die zur Detektion und Klassifizierung der Infrastrukturelemente und/oder zur Zuweisung der Georeferenz zu den Punkten der 3D-Wolke herangezogen werden.

Die als lokale 2D-Daten vorliegenden Ausgangsdaten der Blöcke 307, 308, 309 und 310
5 werden zunächst in 3D-Daten transformiert (Block 311), insbesondere durch Rückprojektion.

Die derart transformierten Daten mehrerer Frames 350, 351, 352 einer Szene werden dann einer Sensordatenfusion 312 zugeführt, welche eine Schätzung der Position und der Orientierung der mobilen Erfassungsvorrichtung 1 auf Grundlage eines nichtlinearen
10 Gleichungssystems durchführt. Zur Sensordatenfusion 312 wird bevorzugt ein Faktorgraph verwendet, der die komplexen Beziehungen zwischen verschiedenen Variablen und Faktoren darstellt. In diesem Zusammenhang können die für jedes Frame sequentiell hinzugefügten Bewegungsinformationen (Winkelgeschwindigkeiten, Orientierungsangaben, etc.) mit Trägerphasenbeobachtungen (GNSS-Faktoren) in einer Bündelblockausgleichung fusioniert
15 werden. Die GNSS-Faktoren stellen hierbei direkte Beobachtungen der georeferenzierten Position eines Frames dar, die relativen-Posen-Faktoren liefern hingegen eine Information über die Änderungen der Pose zwischen den Frames und Feature Point Faktoren verknüpfen die in den Bildaufnahmen detektierten lokalen Ortsbezüge (z. B. wiedererkennbare Strukturen und/oder Objekte) und stellen den räumlichen Bezug zur Umgebung her. Ferner können die
20 Ergebnisse der Detektion, Klassifikation und/oder Segmentierung von Infrastrukturelementen (Farbinformationen, geometrische anwendungsspezifische Merkmale wie z. B. Durchmesser, Verlauf, Biegeradien, erste und zweite Positionsangaben der mobilen Erfassungsvorrichtung, etc.) in die o. g. Sensordatenfusion mit einfließen. Als Ergebnis der Sensordatenfusion 312 entsteht eine zusammenhängende, global vollständig, neu ausgerichtete 3D-Punktvolke aller
25 gesamten Frames einer Szene, auf Basis dessen sich alle Infrastrukturelemente dreidimensional, georeferenziert mit einer absoluten Genauigkeit weniger Zentimeter extrahieren lassen.

Die Darstellung in **Fig. 8** zeigt eine Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Verteilnetzes mit
30 mehreren Infrastrukturelementen 200, die mittels dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung erfasst wurden, Dabei sind Bereiche, die als Teil einer gemeinsamen Szene erfasst wurden, d.h. als Teil einer zusammenhängenden Abfolge mehrerer Frames, durch ein Kästchen 360 markiert. Die Szenen werden zeitlich nacheinander aufgenommen beispielsweise immer dann wenn der jeweilige Abschnitt des Verteilnetzes
35 freigelegt ist. Durch Überlappung sind einige Überlappungs-Bereiche 361 in zwei unterschiedlichen Szenen und damit doppelt enthalten. Die zeitliche Abfolge der Szenen kann sich über mehrere Tage erstrecken. Diese Szenen werden im Rahmen der Sensordatenfusion

zusammengeführt, so dass eine einzige, gemeinsame 3D-Punktwolke des Verteilnetzwerks erzeugt wird, die keine doppelt aufgenommenen Bereiche enthält. Dabei ist es vorteilhaft, wenn mit Hilfe der Sensordatenfusion mehrfach bzw. zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommene Bereiche von Infrastrukturelementen wie zum Beispiel Überlappungen
5 zwischen zwei Aufnahmen erkannt und auf die zeitlich jüngsten, erfassten Bereiche der Infrastrukturelemente reduziert werden.

In **Fig. 9a** ist eine Draufsicht auf einen Teil eines Verteilnetzwerks gezeigt, welches teilweise in geschlossener Bauweise, z.B. durch eine Pressbohrung, verlegt wurde. Bei der Erfassung
10 dieses Teils des Verteilnetzes ist ein Teil des im Untergrund angeordneten Infrastrukturelemente 200 aufgrund einer Verdeckung durch die mobile Erfassungsvorrichtung 1 nicht optisch erfassbar, vgl. verdeckter Bereich 400. In der **Fig. 9a** sind insgesamt vier solche teilweise verdeckten Infrastrukturelemente dargestellt. In der 3D-Punktwolke bzw. dem durch die 3D-Objekte definierten Netzwerk entsteht somit eine optische Fehlstelle. Gemäß einer
15 Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird die optische Fehlstelle zwischen zwei 3D-Objekten 401, 402 erkannt, die einem ersten Infrastrukturelement 200 entsprechen, und zur Schließung der optischen Fehlstelle wird ein Verbindungs-3D-Objekt 403, insbesondere als 3D-Spline, erzeugt, vgl. **Fig. 9b**. Zum Erkennen der optischen Fehlstelle werden ein oder mehrere Merkmale eines ersten Endes eines ersten 3D-Objekts 401 und dasselbe oder
20 dieselben Merkmale eines zweiten Endes eines zweiten 3D-Objekts 402 ermittelt, Die Merkmale der beiden Enden werden miteinander verglichen. Bei den Merkmalen kann es sich beispielsweise um den Durchmesser und/oder die Farbe und/oder die Orientierung und/oder Positionsangaben handeln. Alternativ kann vorgesehen sein, dass der Benutzer der mobile Erfassungsvorrichtung diese in einen optischen Fehlstellenmodus versetzt, beispielsweise
25 durch aktivieren eines Bedienelements der mobilen Erfassungsvorrichtung. In dem optischen Fehlstellenmodus kann der Bediener die mobile Erfassungsvorrichtung oberhalb des verdeckten Infrastrukturelements ausgehend von einem Ende des Infrastrukturelements, das dem ersten Endes des ersten 3D-Objekts 401 entspricht, entlang einer optischen Fehlstellen-Trajektorie bis zu dem Ende des Infrastrukturelements 200 bewegt werden, welches dem
30 zweiten Ende des zweiten 3D-Objekts 402 entspricht. Die mobile Erfassungsvorrichtung 1 kann dann ein in **Fig. 9b** dargestelltes Verbindungs-3D-Objekt 403 erzeugen, welches das erste Ende des ersten 3D-Objekts 401 mit dem zweiten Ende des zweiten 3D-Objekts 402 verbindet.

Bezugszeichen:

	1	Mobile Erfassungsvorrichtung
	2	Ein oder mehrere Empfänger
	3	Inertiale Messeinheit
5	4	3D-Rekonstruktionseinrichtung
	5	Laserpointer
	6	Datenverarbeitungseinrichtung
	7	Speichereinheit
	8	Anzeigeeinrichtung
10	9	Gehäuse
	10	Kommunikationseinrichtung
	100	Verfahren
	101	Datenerfassungsschritt
	102	Rekonstruktionsschritt
15	103	Georeferenzierungsschritt
	104	Erkennungsschritt
	105	Datenaufbereitungsschritt
	106	Visualisierungsschritt
	200, 200', 200''	Infrastrukturelement
20	201	Person
	302	Mobilfunkschnittstelle
	303	LIDAR-Messeinrichtung
	304	2D-Kamera
	305	2D-Kamera
25	306	Synchronisierung
	307	Erzeugung lokale 3D-Punktwolke
	308	Extraktion von Feature-Punkten
	309	Extraktion von Feature-Punkten
	310	Detektion und Klassifikation
30	311	Rückprojektion
	312	Sensordatenfusion
	350, 351, 352	Frame
	360	Szene
	361	Überlappungs-Bereich
35	400	optisch verdeckter Bereich
	401, 402	3D-Objekt
	403	Verbindungs-3D-Objekt